

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**“DISEÑO DE UNA RED DE TUBERÍAS PARA SATISFACER LA  
DEMANDA DE AIRE COMPRIMIDO DE ALTA PRESIÓN EN UNA  
EMPRESA DE ALIMENTOS - LIMA, 2021”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
MECÁNICO

GARCÍA ALARCÓN, PATRICK JOEL

Callao, 2021

PERÚ



# HOJA DE REFERENCIA DEL JURADO Y APROBACIÓN

## INFORMACIÓN BÁSICA

- **FACULTAD:**  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
- **UNIDAD DE INVESTIGACIÓN:**  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA  
MECÁNICA Y DE ENERGÍA
- **TÍTULO:**  
“DISEÑO DE UNA RED DE TUBERÍAS PARA SATISFACER LA DEMANDA  
DE AIRE COMPRIMIDO DE ALTA PRESIÓN EN UNA EMPRESA DE  
ALIMENTOS – LIMA, 2021”
- **AUTOR:**  
PATRICK JOEL GARCÍA ALARCÓN
- **ASESOR:**  
ABEL TAPIA
- **LUGAR DE EJECUCIÓN:**  
CALLAO – PERÚ
- **TIPO DE INVESTIGACIÓN:**  
INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA

## **DEDICATORIA**

La presente tesis está dedicada a mis padres y hermana, quienes me apoyaron a culminar esta investigación con éxito.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mi familia, por apoyarme siempre a alcanzar mis metas. Y a mi asesor Abel Tapia, por haberme guiado en el proceso de la elaboración de esta investigación.

## INDICE

<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	9
<b>RESUMEN</b> .....	10
<b>ABSTRACT</b> .....	11
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	12
<b>I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	14
1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	14
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	16
1.3 OBJETIVOS.....	16
1.4 JUSTIFICACIÓN.....	17
1.4.1 Justificación Teórica .....	17
1.4.2 Justificación Práctica .....	17
1.4.3 Justificación Económica .....	17
1.4.4 Justificación Metodológica.....	18
1.4.5 Justificación Tecnológica.....	18
1.4.6 Justificación Legal .....	18
1.5 LIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	19
<b>II. MARCO TEÓRICO</b> .....	20
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....	20
2.1.1 Antecedentes Internacionales .....	20
2.1.2 Antecedentes Nacionales .....	24
2.2 BASES TEÓRICAS.....	25
2.3 MARCO CONCEPTUAL.....	35
2.4. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS .....	46
<b>III. HIPÓTESIS Y VARIABLES</b> .....	47

3.1. HIPÓTESIS.....	47
3.2. IDENTIFICACIÓN Y DEFINICIÓN DE VARIABLES .....	47
<b>IV. DISEÑO METODOLÓGICO .....</b>	<b>50</b>
4.1. TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN .....	50
4.2. MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN.....	51
4.4. LUGAR DE ESTUDIO Y PERIODO DESARROLLADO.....	52
4.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS ....	53
4.6. ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE DATOS.....	53
<b>V. RESULTADOS.....</b>	<b>89</b>
<b>VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>93</b>
6.1. CONTRASTACIÓN Y DEMOSTRACIÓN DE LA HIPÓTESIS CON LOS RESULTADOS .....	93
6.2. CONTRASTACIÓN DE LOS RESULTADOS CON OTROS ESTUDIOS SIMILARES.....	94
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>97</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>98</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>99</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>107</b>

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables .....	48
Tabla 2. Flujos de generación de compresores de aire de alta presión. ....	57
Tabla 3. Flujos reales de los compresores de aire de alta presión. ....	60
Tabla 4. Líneas de producción y modelos de sopladoras PET .....	61
Tabla 5. Datos de producción de las líneas en la planta Huachipa.....	65
Tabla 6. Formatos, velocidades de producción y demandas calculadas de aire comprimido de la nueva planta .....	67
Tabla 7. Consumos máximos calculados por línea de producción.....	68
Tabla 8. Consumos máximos de las líneas de producción a condiciones normales .....	69
Tabla 9. Consumos máximos corregidos de las líneas de producción a condiciones normales .....	69
Tabla 10. Consumos máximos de las líneas de producción a condiciones de sitio.....	70
Tabla 11. Caídas de presión recomendadas en las tuberías .....	71
Tabla 12. Flujo de generación y demanda de aire comprimido para la red de aire a 38 Bar.....	72
Tabla 13. Flujo de generación y demanda de aire comprimido para la red de aire a 33.5 Bar.....	72
Tabla 14. Caídas de presión de Secadores y Filtros incluidos en los compresores de aire en Bar.....	76
Tabla 15. Tabla de presión de generación y presión real de salida en Bar.....	77
Tabla 16. Tabla de diámetros internos de tuberías comerciales de acero inoxidable.....	79
Tabla 17. Diámetro mínimo requerido para 40 Bar según Norma Asme B31.3	80
Tabla 18. Densidad del aire a diferentes presiones .....	82
Tabla 19. Diámetros de tuberías principales en pulgadas. ....	85
Tabla 20. Pérdidas de presión totales de la red de tuberías. ....	86
Tabla 21. Dimensionamiento de tuberías desde la salida de compresores hasta los usuarios.....	89



## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica satelital de la nueva planta de la empresa de alimentos.....	52
Figura 2. Datos técnicos del compresor ABC Horizon 4700 Plus. ....	54
Figura 3. Catálogo de compresor ABC 4HP-6LT. ....	55
Figura 4. Datos técnicos del manual del compresor 4HP-4LT. ....	56
Figura 5. Presión y temperatura de vapor saturado. ....	57
Figura 6. Propiedades de la atmosfera respecto a la altura.....	58
Figura 7. Datos técnicos de la sopladora SIPA SFR 24.....	61
Figura 8. Datos técnicos de la sopladora TECH LONG – CPX-12HS.....	62
Figura 9. Datos técnicos de la sopladora Sipa SBO 10L .....	62
Figura 10. Calidad de aire requerido por el plano técnico de sopladora Sipa SBO 10L. ....	63
Figura 11. Datos técnicos de la sopladora Sidel SBO 34 XS HS ECO. ....	63
Figura 12. Hoja de datos técnicos de sopladora SIPA SFR20.....	64
Figura 13. Datos de producción calculados por Sidel. ....	66
Figura 14. Caídas de presión recomendada para una presión de generación de 7 Bar. ....	71
Figura 15. Tabla de presión-temperatura para material ASME A182-F. ....	74
Figura 16. Tabla de número de espárragos para bridas de clase 300 .....	75
Figura 17. Tabla de diámetros comerciales de acero inoxidable según Schedule. ....	78
Figura 18. Tabla de masa molar, constante de gas y calores específicos de algunas sustancias.....	81
Figura 19. Tabla de conexiones de flujómetro Vórtex Proline Prowirl F 200....	87
Figura 20. Modelos de filtros según la calidad del aire según ISO 8573-1. ....	88

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación realizado en una empresa de alimentos, tiene por objetivo realizar el diseño de una red de tuberías para satisfacer la demanda de aire comprimido de alta presión. La muestra son 06 equipos sopladoras de preformas de polietilentereftalato (PET), que constituyen la totalidad de la población. La investigación, según Espinoza (2014), es de tipo tecnológica de nivel aplicada, de diseño no experimental y se utiliza el método sistémico. El diseño de la red de tuberías se divide en dos sistemas de 38 y 33.5 bar, cuyas demandas son de 6687 metros cúbicos por hora (m<sup>3</sup>/h) alimentado por 9104 m<sup>3</sup>/h por parte de los compresores y 9896 m<sup>3</sup>/h alimentado por 10903 m<sup>3</sup>/h por parte de los compresores respectivamente. Los parámetros de calidad de aire según ISO 8573-1 es de 1:4:1. Además, las tuberías y accesorios de la red son de acero inoxidable Sch 40 y clase 300. En conclusión, el volumen de aire comprimido demandado por las sopladoras ha sido satisfecho con los parámetros de presión y calidad adecuados para los usuarios y los materiales propuestos para la red de tuberías permiten una baja caída de presión.

**Palabras clave:** Sopladora PET, Diseño, Tuberías, Alta presión.

## ABSTRACT

The objective of this research work carried out in a food company is to design a network of pipes to satisfy the demand for high pressure compressed air. The sample is 06 blowing equipment to preform polyethylene terephthalate (PET), which constitutes the entire population. The research, according to Espinoza (2014), is of a technological type of applied level, of non-experimental design and the systemic method is used. The design of the pipe network is divided into two systems of 38 and 33.5 bar, demands are 6687 cubic meters per hour (m<sup>3</sup>/h) fed by 9104 m<sup>3</sup>/h by the compressors and 9896 m<sup>3</sup>/h fed by 10903 m<sup>3</sup>/h by the compressors respectively. The air quality parameters according to ISO 8573-1 is 1:4:1. In addition, the pipes and accessories of the network are made of stainless steel Sch 40 and class 300. In conclusion, the volume of compressed air demanded by the blowers has been satisfied with the appropriate pressure and quality parameters for the users and the materials proposed for the network allow a low pressure drop.

**Keywords:** PET, Blower, Design, Pipes, High pressure.

## INTRODUCCIÓN

En el Perú, existen industrias que se dedican al rubro de alimentos, específicamente a la producción de bebidas gasificadas, no gasificadas y refrescos. Esta industria ha estado en crecimiento debido a que sus productos están presentes en la vida cotidiana de las personas. Por tanto, cobra importancia el volumen de producción que tienen las empresas y, en consecuencia, la producción de botellas de plástico; y para la producción de estas botellas se utilizan preformas de polietilentereftalato llamados PET. Por tanto, la producción de la empresa debe ir acorde con la producción de botellas PET.

Para este fin, las máquinas sopladoras son de mucha ayuda, ya que producen estas botellas a partir de preformas PET, cuyo proceso pasa por una cabina de precalentado donde se aumenta la temperatura de la preforma y una cabina de soplado donde se inyecta aire comprimido a la preforma PET dándole la forma deseada con la ayuda de moldes. Estas máquinas demandan energía eléctrica y aire comprimido.

Esta investigación se realiza, debido que la empresa de alimentos decidió proyectar un aumento de su capacidad de producción, adicionando líneas de producción de bebidas no alcohólicas y compresores de aire de alta presión. Pero estos cambios están proyectados en una nueva planta en Huaral. Para lo cual, se requiere un diseño de red de tuberías que conecte los compresores de aire y las sopladoras PET, y satisfaga la demanda de aire comprimido de estos equipos.

Con el fin de realizar el diseño de la red de tuberías, determinamos las condiciones de diseño del sistema como presión, temperatura y velocidad, determinamos la capacidad de entrega de fluido de los compresores a condiciones de sitio, utilizando las condiciones atmosféricas del lugar, a fin de comparar con la demanda de aire comprimido de las sopladoras PET y

determinamos la especificación de tuberías y accesorios de la red, dimensionando las mismas con las fórmulas necesarias, seleccionando los materiales requeridos para las necesidades según la norma ASME B31.3, el tipo de Schedule de la tubería, la clase de conexiones según la norma ASME B16.5, las válvulas y flujómetros de la red.

Los resultados de esta investigación permiten el incremento de la capacidad de producción y, por tanto, un incremento en las ganancias. Además, el diseño de la red de tuberías tiene un funcionamiento seguro con una vida útil de larga duración, gracias a los materiales seleccionados y a los puntos de purga de condensado que se colocarán a lo largo del recorrido de la red.

La investigación ha sido estructurada en los siguientes capítulos: En el Capítulo I, se desarrolla el problema y plantea los objetivos de la investigación. El capítulo II, se explica el marco teórico exponiendo los antecedentes, las bases teóricas y el marco conceptual. El capítulo III, se muestra las variables y se plantea las hipótesis. El capítulo IV, se explica la metodología de esta investigación, incluyendo el proceso de cálculo del diseño. El capítulo V, se desarrolla los cálculos del diseño de la red de tuberías. El capítulo VI, se presentan los resultados de la investigación. El capítulo VII, se realiza la discusión de los resultados con los antecedentes y las hipótesis planteadas en esta investigación. Posteriormente, se desarrollan las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos requeridos en la investigación.

# I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

## 1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

Al término de la Segunda Guerra Mundial, el plástico se convirtió en un objeto presente en la vida cotidiana de las personas que todavía lo reutilizaban y cuidaban como lo hacían con otros materiales. Pero a fines de la década de los 50's, la economía empezó a demandar más recursos. En 1978, la empresa Coca-Cola insertó al mercado la botella de plástico PET de un solo uso en reemplazo de su icónica botella de vidrio. Este suceso simboliza el inicio de una nueva era de las bebidas de consumo, según la Fundación Heinrich Böll y Break Free From Plastic (2019). Las bebidas han tomado tal importancia que se han convertido en parte de la cultura de los países. Con el paso del tiempo, esta industria ha optado por usar envases de plástico para bebidas gasificadas, no gasificadas y refrescos, lo cual ha marcado la importancia de las preformas de tereftalato de polietileno (PET) en la escena. Debido a esto, se han diseñado equipos para dar forma a las preformas PET y convertirlos en las botellas que todos conocemos mediante el uso de aire comprimido de alta presión. Estos equipos son llamados Sopladoras PET.

A nivel de Latinoamérica, según The Food Tech (2020), México es el segundo país con mayor consumo per cápita de refrescos después de Estados Unidos. Sin embargo, el consumo de estos refrescos en México se ha frenado y se observa tasas de crecimiento de 2 y 3% a diferencia de las bebidas saludables como el agua que están creciendo a tasas de doble dígito. En Chile, atravesó un crecimiento del consumo, complementado por la reducción de los precios correspondientes a las bebidas refrescantes, además, se experimentó el desarrollo del mercado de aguas vigoroso. Por último, en Argentina, Coca Cola es la bebida preferida por la población según el ranking de marcas desarrollada por iEco que realizó el Clarín y fue verificado por Deloitte, además, el desarrollo de aguas saborizadas es superior que el de las gaseosas.

En el Perú, la producción de bebidas gasificadas, no gasificadas y refrescos ha tenido un crecimiento elevado desde 1997 según el Ministerio de Producción del Perú (2010). Además, según los reportes del INEI (2021), desde la llegada de la pandemia que fue a inicios del año 2020 debido al SARS CoV-2 o popularmente conocido como COVID-19, la industria de bebidas no alcohólicas ha sufrido un duro golpe debido a la disminución de producción en general que no estaba previsto. Sin embargo, para el año 2021, según el diario El Comercio (2020), las industrias en el Perú tendrán una recuperación en la producción significativa pero no igualará las cifras del 2019. Dado que la demanda de bebidas no alcohólicas aumentará, las empresas requieren estar preparadas para abastecer con envases PET para las bebidas.

Esta empresa de alimentos peruana inició sus operaciones hace 30 años produciendo gaseosas. Inició su expansión internacional en 1991, ahora se encuentra en más de 20 países y posee más de 10 marcas de bebidas no alcohólicas. La empresa de alimentos está abriendo una nueva planta en la provincia de Huaral, aumentando la capacidad de producción y aumentando la demanda de fluidos, entre ellos la demanda de aire comprimido de alta presión. La planta de producción ubicada en Huachipa ya no cuenta con área disponible para incrementar su capacidad de producción, por este motivo, se reubicará tres líneas de producción con botellas PET y una línea de producción con botellas de vidrio que se modificará para poder producir con botellas PET de su planta operativa en Huachipa hacia la nueva planta, a fin de incrementar su producción aún más a futuro. Además de las líneas antes mencionadas, se adquirirá una línea de producción y se reubicará una línea más de una planta de producción de esta empresa con sede en Indonesia.

Para la implementación de esta planta de producción, se requiere diseñar una red de tuberías para satisfacer la nueva demanda de aire comprimido de alta presión, debido a que existirá un nuevo conjunto de líneas de producción y un nuevo conjunto de compresores de aire integrado por compresores existentes en la planta Huachipa, en la planta de Indonesia y la planta de México. Para este

fin, se debe considerar las condiciones de diseño, el caudal de los compresores, los accesorios de la red, el consumo específico de los consumidores y los factores de simultaneidad y uso; todo esto en función a la programación de producción proyectada para esta planta y a las características del aire del ambiente.

## 1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Problema General:

- ¿Cómo realizar el diseño de una red de tuberías para satisfacer la demanda de aire comprimido de alta presión en una empresa de alimentos?

Problemas Específicos:

- ¿Cómo determinar las condiciones de diseño del sistema para satisfacer la demanda de aire comprimido de alta presión en una empresa de alimentos?
- ¿Cómo determinar la capacidad de entrega de fluido de compresores para satisfacer la demanda de aire comprimido de alta presión en una empresa de alimentos?
- ¿Cómo determinar la especificación de componentes de tubería para satisfacer la demanda de aire comprimido de alta presión en una empresa de alimentos?

## 1.3 OBJETIVOS

Objetivo General:

- Realizar el diseño de una red de tuberías para satisfacer la demanda de aire comprimido de alta presión en una empresa de alimentos



### Objetivos Específicos:

- Determinar las condiciones de diseño del sistema para satisfacer la demanda de aire comprimido de alta presión en una empresa de alimentos.
- Determinar la capacidad de entrega de fluido de compresores para satisfacer la demanda de aire comprimido de alta presión en una empresa de alimentos.
- Determinar la especificación de componentes de tubería para satisfacer la demanda de aire comprimido de alta presión en una empresa de alimentos.

## 1.4 JUSTIFICACIÓN

### 1.4.1 Justificación Teórica

La razón por la cual un empresario emplea el aire comprimido en su planta industrial es por su versatilidad y rapidez de respuesta en el trabajo; además, no es tóxico ni explosivo, tiene gran capacidad de regulación y control, no están expuestos a golpes de ariete y admite su combinación con otras formas de energía. (Carnicer, 1977)

### 1.4.2 Justificación Práctica

La empresa de alimentos, al incrementar su capacidad producción reubicando líneas de producción en una nueva planta también incrementan su demanda de fluidos, entre ellos aire comprimido de alta presión. Ante esta necesidad, se requiere diseñar una red de tuberías para satisfacer la demanda de aire comprimido de alta presión que requieren las sopladoras PET.

### 1.4.3 Justificación Económica

El diseño de la red de tuberías para satisfacer la demanda de aire comprimido

de las sopladoras PET permite el incremento de la capacidad de producción de la empresa de alimentos, lo cual supone un crecimiento de sus ingresos. Además, se ha considerado materiales correctos para una vida útil prolongada, incidiendo indirectamente en costos a largo plazo.

#### 1.4.4 Justificación Metodológica

El proceso de diseño de la red de tuberías considera la calidad de aire del ambiente, los parámetros de presión, caudal y velocidad del fluido en la red de tuberías y el material junto con la selección de diámetros de la tubería por tramos. La aplicación de este método basado en las normas ASME B31.3 Tuberías de proceso, ISO 8573-1 Aire comprimido – Contaminantes y clase de pureza y autores como Carnicer, Crane y Compressed Air and Gas Institute, permitirán marcar una ruta de cálculo y diseño de la red de tuberías.

#### 1.4.5 Justificación Tecnológica

Espinoza (2014, p. 71) explica que «Se justifica tecnológicamente una investigación cuando se satisface las necesidades sociales». Por tanto, con el diseño de la red de tuberías se prioriza la seguridad del personal que opera los equipos, se considera el recorrido de las tuberías con el fin de evitar un recorrido redundante y se satisface el incremento de la capacidad de producción de la empresa.

#### 1.4.6 Justificación Legal

Para el desarrollo de esta investigación se utilizó las normas ASME B31.3 (2020) con referencia a las características de las tuberías y accesorios de la red de aire comprimido y la norma ISO 8573-1 (2010) con referencia a las características del aire comprimido requeridas por cada usuario en la empresa de alimentos.

## 1.5 LIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Bernal (2010), explica que, en un proyecto de investigación puede haber limitaciones de información y la dificultad de acceso a ella.

Esta investigación presenta las siguientes limitaciones:

1.5.1. Limitación teórica: La escasa cantidad de investigaciones de acceso libre en las diversas bibliotecas virtuales y revistas científicas sobre el aire comprimido de alta presión.

1.5.2. Limitación temporal: La investigación se realizó antes de la etapa de construcción e instalación de tuberías y equipos. Por tanto, no se incluyó en la presente tesis.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

#### 2.1.1 Antecedentes Internacionales

Para Paredes (2016), en su investigación de título “Diseño de las redes de aire comprimido y transporte neumático en un astillero”, el objetivo fue el diseño de la red de aire comprimido y el transporte neumático en un astillero. La población fue las herramientas neumáticas del astillero las cuales son la llave de carraca, martillo neumático, pistola de aire, amoladora angular, taladro rotatorio, pistola de pintura, engrasador, lijadora rotatoria, pulidora, sand blasters, remachadoras y aprieta tuercas y la muestra se considera nula al ser la misma que la población. La investigación es de tipo no experimental, de diseño tecnológico a nivel aplicado. La técnica que utilizaron en la presente investigación fue la selección de los elementos de la red de aire comprimido, recolección de datos de las herramientas consumidoras de aire comprimido del astillero, traza el recorrido de las tuberías en el modelado 3D, cálculo del diámetro de tuberías mediante software CAREAC, reconocimiento de las características del sistema de transporte neumático y diseño y cálculo del transporte neumático en el área. Llegó a las siguientes conclusiones: La red de aire comprimido han sido diseñados para la situación más crítica y de máximo rendimiento en el astillero para las herramientas seleccionadas, de manera que los equipos principales seleccionados sean los adecuados para la situación más desfavorable. Además, se realizó el predimensionamiento de tuberías a través del criterio de velocidad calculando, de este modo, los diámetros de los conductos, al igual que la presión, tanto, de entrada, como de salida, velocidad y flujo másico.

El aporte de esta tesis para la presente investigación es el criterio de diseño de la red de tuberías estudiados en la situación más crítica y de máximo rendimiento. Además, el predimensionamiento teniendo en cuenta la velocidad de diseño.

Ramírez (2018), en su investigación de título “Rediseño de red de distribución de aire comprimido en Planta Geotérmica Pailas I”, el objetivo fue reformular la red de distribución de aire comprimido en la Planta Geotérmica ubicada en Liberia. La población fue los posicionadores y actuadores neumáticos de las válvulas de todos los equipos de la planta geotérmica y la muestra se considera nula al ser la misma que la población. La investigación es de tipo no experimental, de diseño tecnológico a nivel. La técnica que utilizaron en la presente investigación fue el análisis de la situación actual de la red de aire comprimido en la planta geotérmica determinando velocidades, pérdidas de presión y diámetros en todos los tramos, la comprobación de la capacidad del tanque de almacenamiento de aire y la oferta de aire comprimido por parte del conjunto de compresores, filtros y secadores de aire mediante la información de placas de equipos y manuales de los mismos, la realización de un rediseño de la red de tuberías que permita justificar económicamente la viabilidad del proyecto. Llegaron a las siguientes conclusiones: Se planteó un diseño que asegure una estabilidad en la presión de la red y ante picos súbitos de consumo, los compresores instalados cumplen con la demanda estimada de la planta de 4 488,82 NI/min, los diámetros de la tubería no representan problema por caída de presión, las velocidades en los tramos son menores a las recomendadas.

El aporte de esta tesis para la presente investigación es el criterio del sistema de aire comprimido teniendo en cuenta los picos súbitos de consumo, el cálculo de la caída de presión respecto de los diámetros de tubería y las velocidades de fluido recomendadas y aplicó un margen por ampliaciones futuras del 18% de capacidad.

Rivera (2021), en su investigación de título “Selección y montaje de un sistema de tratamiento de aire comprimido en Empacadora Toledo”, el objetivo fue establecer el tipo de tratamiento de aire comprimido que sea técnica y económicamente la mejor opción para solucionar el problema de humedad y contaminación en el aire comprimido generado en la Empacadora Toledo. La población fue los compresores de aire comprimido y la muestra se considera nula al ser la misma que la población. La investigación es de tipo experimental, de

diseño tecnológica a nivel aplicada. La técnica que utilizaron en la presente investigación fue el empleo de técnicas documentarias y de observación para recabar información acerca de compresores instalados, la calidad del aire, los sistemas de tratamiento y distribución hacia las áreas de producción, datos de abastecimiento, horarios de producción y presión de trabajo de los equipos. Se identificó el paro de los equipos por falta de aire comprimido o por humedad del aire con el objetivo de elegir un sistema de tratamiento adecuado para los compresores instalados. Llegaron a la siguiente conclusión: Seleccionó, montó y puso en marcha un sistema de tratamiento de aire comprimido con capacidad para una demanda máxima de aire de 591 cfm, con calidad de aire requerida, según norma la norma ISO 8573-1. La calidad obtenida fue 1.4.1, con una presión mínima de 107 psi.

El aporte de esta tesis para la presente investigación es la inclusión del criterio de calidad del aire al diseño de aire comprimido para satisfacer la demanda máxima de aire.

Torres (2015), en su investigación de título “Diagnóstico de la red de aire comprimido de la Planta de Yogurt de Sigma Alimentos en Cartago”, el objetivo fue estudiar la red de aire comprimido en la planta de yogurt y plantear un diseño de sistema que garantice cumplir la demanda de aire actual en caso de que la red actual no satisfaga la demanda o mejoras que se puedan implementar. La población fue las válvulas neumáticas, equipos de pasteurización, troqueladoras y equipos Tetrapak y la muestra se considera nula al ser la misma que la población. La investigación es de tipo experimental, de diseño tecnológica a nivel descriptiva. La técnica que utilizaron en la presente investigación fue la inspección en planta de los equipos y el flujo del proceso para determinar el flujo y presión requerido de aire comprimido, la calidad de aire y el tiempo de uso de cada usuario, la distribución de equipos en planta y la selección de tuberías, accesorios y dispositivos de control. Llegaron a las siguientes conclusiones: La red de aire comprimido actual tiene dos compresores que satisfacen la demanda en la Planta de Yogurt, pero la tolerancia por ampliaciones futuras es reducida. La capacidad demandada en el sistema es de 8321 Normal litros por minuto

(NI/min). Se calculó que en la distribución de aire al equipo BP802ARV 280R-P, seguida por la acometida de la red, sufre una caída de presión superior a un 3% máximo permitido de la presión absoluta de la red. Del estudio de velocidades en los tramos de tubería, se encontró que ocho de los tramos inspeccionados presentan un problema de velocidad excesiva ya que la velocidad recomendada es de 10m/s para tuberías secundarias, y al ser de acero la casi toda la red se incrementa la pérdida de carga y, por tanto, el costo en electricidad. De los compresores seleccionados solo se quiere reemplazar el modelo ZT22 por el ZT30 de Atlas Copco, para tener disponible un 20% de margen de flujo de aire comprimido para ampliaciones futuras y fugas.

El aporte de esta tesis para la presente investigación es la inclusión de la importancia acerca del porcentaje de ampliación admisible del diseño de la red de tuberías de aire comprimido. Determina una pérdida de presión en tuberías primarias y secundarias admisible de 3%. Además, menciona la velocidad de diseño recomendada en tuberías secundarias de 10 m/s.

Para Valencia (2015), en su investigación de título “Estudio y análisis neumático del sistema de aire comprimido de la planta Kimberly Clark Ecuador”, el objetivo fue diseñar la red de aire comprimido y el recipiente de presión de la empresa Kimberly Clark. La población fue los equipos del área de galpón de producción de papel higiénico, del área de taller de mantenimiento y del taller de montacargas y la muestra se considera nula al ser la misma que la población. La investigación tiene una metodología analítica-descriptiva debido al procedimiento del levantamiento de información, el diseño de la red de aire comprimido y la descripción de las propiedades técnicas de diseño y montaje. Llegaron a las siguientes conclusiones: Se diseñó la red de aire comprimido y el tanque de almacenamiento de aire que asegurará el suministro y almacenamiento de aire comprimido. La red de aire comprimido tiene la capacidad de suministrar 11.52 (m<sup>3</sup>/minuto), restringiendo el uso de los equipos neumáticos considerando que en cierto momento todos los equipos entran en funcionamiento al mismo tiempo, esto significa que si todos los equipos se mantienen en uso simultaneo la red de aire comprimido estará en su límite, la

adición de otro equipo neumático en simultáneo reducirá la eficiencia de la red de aire comprimido. Los diseños mecánicos fueron realizados de acuerdo con los códigos ASME B31.3 para la red de aire comprimido y con el código ASME VIII Div. 1 para el tanque de almacenamiento de aire a presión para asegurar la integridad mecánica de los sistemas, seguridad operativa y un correcto funcionamiento cuando sean implementados. Se seleccionaron dos compresores tipo tornillo que suministrarán aire comprimido al sistema. La revisión del diseño mediante software auxiliar como Compress y AutoCAD P&ID son una buena guía para obtener resultados, pero tenerse en cuenta que siempre habrá pequeñas diferencias entre los resultados obtenidos analítica y numéricamente.

El aporte de esta tesis para la presente investigación es la inclusión de coeficientes de uso y simultaneidad para el diseño de la red de tuberías de aire comprimido. La referencia de la norma ASME B31.3 para el diseño de la red de aire comprimido y el modelado 3D de la distribución de tuberías. Además, utiliza el valor de 1 bar para la comparación de su caída de presión en la red de tuberías.

### 2.1.2 Antecedentes Nacionales

Para Alor (2019), en su investigación de título “Propuesta para la mejora de la eficiencia energética en los sistemas de aire comprimido en plantas cerveceras en el área de soplado de botellas PET según la norma ISO 11011:2013”, el objetivo fue optimizar la eficiencia energética en la generación y distribución de aire comprimido a través de estrategias y métodos establecidos en la norma internacional ISO 11011:2013. La población fue las fábricas que producen botellas PET y la muestra se considera nula al ser la misma que la población. La presente investigación fue de diseño tecnológica, de tipo experimental. Llegaron a las siguientes conclusiones: El diseño de un nuevo sistema de generación y distribución de aire comprimido incrementó la eficiencia del sistema. Se logró mejorar la capacidad en 8.5 m<sup>3</sup>, lo que significa aumentar la capacidad en 425%. Se mejoró los tiempos de carga en 70% y los tiempos de



descarga en 30% en promedio de los compresores de aire. Se implementó una presión uniforme de 31 bar en el sistema y se logró reducir la caída de presión de (1.8 – 2.0) a menos de 1.0 bar.

El aporte de esta tesis para la presente investigación es el estudio de una red de tuberías de aire comprimido a 31 bar y la caída de presión desde la generación hasta el punto de consumo fue de menos de 1 bar

## 2.2 BASES TEÓRICAS

### 2.2.1 Principio de Conservación de la Masa

Riaño (2021), explica que, Euler (1752), en su publicación “Memorias de Academia de Ciencias de Berlín”, exponía los principios que son considerados actualmente leyes que rigen la mecánica de fluidos. Entre estos principios esta el principio de conservación de la masa.

Según Cengel y Cimbala (2018):

Para los sistemas cerrados, el principio de conservación de la masa se usa de manera implícita cuando se establece que la masa del sistema permanezca constante durante el proceso. Sin embargo, para los volúmenes de control, la masa puede cruzar las fronteras y, por consiguiente, se debe considerar la razón de la masa que entra y que sale del volumen de control. (p. 189).

Cengel y Cimbala (2018) muestran un ejemplo en el que cualquier persona puede inferir la cantidad de aderezo de vinagre y aceite se puede obtener si se combina 100g de aceite con 25g de vinagre. Hasta las ecuaciones químicas se balancean empleando el principio de conservación de la masa. En resumen, la mayoría de análisis de ingeniería considera la masa y la energía como entidades conservadas.

### 2.2.2 Densidad de los fluidos

Cengel y Cimbala (2018), explica que, para hallar la densidad de los fluidos se utiliza la ecuación de estado del gas ideal:

$$\rho = \frac{P}{TR} \quad \dots (1)$$

Donde  $\rho$  es la densidad del fluido,  $P$  es la presión absoluta,  $T$  es la temperatura absoluta y  $R$  es la constante del gas.

### 2.2.3 Ecuación de Bernoulli

Riaño (2019), explica que, Bernoulli (1738), en su publicación “Tratado Hydrodynamica”, presentaba los fundamentos matemáticos de la mecánica de fluidos y estableció la relación que existe entre velocidad y la presión en el movimiento del fluido a través de una tubería.

Cengel y Cimbala (2018), explican que la ecuación de Bernoulli expresa una relación entre la presión, la elevación y la velocidad, y es aplicable en regiones de flujo incompresible y estacionario en donde son despreciables las fuerzas netas de fricción. Se considera despreciable la viscosidad del fluido en comparación con los efectos gravitacionales, de inercia y de la presión

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + gz_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + gz_2 \quad \dots (2)$$

Donde:

$V$ : Velocidad del fluido en la sección considerada

$\rho$ : Densidad del fluido

$P$ : Presión a lo largo de la línea de corriente.

$g$ : aceleración gravitatoria

$z$ : altura en la dirección de la gravedad desde una cota de referencia.

De la ecuación anterior, la expresión  $\frac{v^2}{2}$  es la energía cinética,  $gz$  es la energía potencial y  $\frac{p}{\rho}$  es la energía del flujo. Por tanto, se puede interpretar que la ecuación de Bernoulli es un balance de energía mecánica.

#### 2.2.4 Número de Reynolds

Riaño (2019), explica que, Reynolds (1883), en su trabajo de investigación “An Experimental Investigation of the Circumstances Which Determine Whether the Motion of Water in Parallel Channels Shall Be Direct or Sinuous and of the Law of Resistance in Parallel Channels”, dio a conocer sus conocimientos acerca de casos de movimientos sin remolinos observados en tuberías de un diámetro pequeño, la resistencia es proporcional a la velocidad media y para el caso de los movimientos con remolinos, la resistencia es proporcional al cuadrado de la velocidad media. También mencionaba que una fuerte viscosidad contrarresta un fluido que posee una gran velocidad. Además, en el mismo trabajo de investigación, daba a conocer el conocido coeficiente que llevaría su nombre, llamado “Numero de Reynolds”.

Según Cengel y Cimbala (2018):

La transición de flujo laminar a turbulento depende de la geometría, la rugosidad de la superficie, la velocidad del flujo, la temperatura de la superficie y el tipo de fluido, entre otros factores. (...) Osborne Reynolds descubrió que el régimen de flujo depende principalmente de la razón de fuerzas inerciales a fuerzas viscosas en el fluido. (...) Esta razón se llama número de Reynolds y se expresa para flujo interno en una tubería circular como:

$$Re = \frac{\text{Fuerzas inerciales}}{\text{Fuerzas viscosas}} = \frac{V_{prom} D}{\nu} = \frac{\rho V_{prom} D}{\mu} \quad \dots (3)$$

donde  $V_{prom}$  = velocidad de flujo promedio (m/s),  $D$  = longitud característica de la geometría (diámetro en este caso, en m), y  $\nu = \mu/\rho$  = viscosidad cinemática del fluido ( $m^2/s$ ). Note que el número de Reynolds es una cantidad adimensional (...). Además, la viscosidad cinemática tiene la unidad  $m^2/s$  y se puede ver como difusividad viscosa o difusividad de cantidad de movimiento. (p. 352)

Cengel y Cimbala (2018), explican que, el número de Reynolds donde el fluido pasa a ser turbulento es denominado número de Reynolds crítico y es variable según la geometría, las condiciones de flujo, la rugosidad de la superficie, las vibraciones en la tubería y las oscilaciones en el flujo de entrada. Generalmente se utilizan los siguientes valores:

$$\begin{aligned} Re \leq 2300 & \quad \text{flujo laminar} \\ 2300 \leq Re \leq 4000 & \quad \text{flujo de transición} \\ Re \geq 4000 & \quad \text{flujo turbulento} \end{aligned}$$

### 2.2.5 Caídas de presión y pérdidas de carga

Weisbach (1850), en su publicación “Lehrbuch der Ingenieur- und Maschinen – mechanik“, explica los resultados de su estudio de fluidos a través de tuberías y canales.

Darcy (1857), en su publicación “Recherches expérimentales relatives au mouvement de l'eau dans les tuyaux“, explica la pérdida de carga de los fluidos a causa del tipo de flujo y su interacción con las paredes internas de las tuberías. En base a la investigación del doctor Julius Weisbach, desarrolla la ecuación que lleva los nombres de ambos autores Darcy-Weisbach que es una de las ecuaciones principales para entender la pérdida de carga de los fluidos en tuberías.

Según Cengel y Cimbala (2018):

La pérdida de carga  $h_L$  representa la altura adicional que el fluido necesita para elevarse por medio de una bomba con la finalidad de superar las pérdidas por fricción en la tubería. La pérdida de carga se produce por la viscosidad y se relaciona directamente con el esfuerzo de corte de la pared del tubo (p. 358)

Cengel y Cimbala (2018), explican que, la caída de presión es igual a la pérdida de presión para tuberías horizontales y se puede demostrar en la siguiente ecuación:

$$\frac{P_1}{\rho g} + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} + z_1 + h_{Bomba} = \frac{P_2}{\rho g} + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + h_{turbina} + h_L \quad \dots (4)$$

Donde  $h_{Bomba}$  es la carga de bomba útil entregada al fluido,  $h_{turbina}$ , es la carga de turbina extraída del fluido y  $h_L$  es la pérdida de carga entre las secciones 1 y 2. Para este proyecto de investigación, tomaremos la sección 1 a la salida del compresor y sección 2 a la llegada a la sopladora PET; por tanto, se descarta las expresiones  $h_{Bomba}$  y  $h_{turbina}$ .

Se adapta la ecuación (3):

$$\frac{P_1}{\rho g} + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + h_L \quad \dots (5)$$

Donde  $V_1$  y  $V_2$  son las velocidades promedio en las secciones 1 y 2, respectivamente, y « $\alpha_1$  y  $\alpha_2$  son los factores de corrección de energía cinética en las secciones 1 y 2 (se puede demostrar que  $\alpha = 2$  para flujo laminar totalmente desarrollado y alrededor de 1.05 para flujo turbulento totalmente desarrollado)» (Cengel y Cimbala, 2018, p.359)

En la ecuación anterior, podemos observar la presencia de la pérdida de carga, la cual:

[...] representa la altura adicional que el fluido necesita para elevarse por medio de una bomba con la finalidad de superar las pérdidas por fricción en la tubería. La pérdida de carga se produce por la viscosidad y se relaciona directamente con el esfuerzo de corte de la pared del tubo (Cengel y Cimbala, 2018, p. 358)

Cengel y Cimbala (2018), explican que, la fórmula para calcular la pérdida de carga de la tubería se obtiene resolviendo la ecuación:

$$h_L = \frac{\Delta P_L}{\rho g} = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} + K_L \frac{V^2}{2g} \quad \dots (6)$$

De estas variables,  $K_L$  es el coeficiente de resistencia para pérdidas de carga menores, es decir, en accesorios de la tubería y  $f$  es el factor de fricción de Darcy que depende si el fluido tiene un flujo laminar o turbulento. Si posee un flujo laminar, el factor de fricción es función del número de Reynolds y no depende de la rugosidad superficial de la tubería; se calcula con la siguiente ecuación:

$$f = \frac{64}{Re} \quad \dots (7)$$

Pero si posee un flujo en transición o turbulento, según Cengel y Cimbala (2018), el físico Cyril Colebrook (1939), en su publicación "Turbulent Flow in Pipes, with Particular Reference to the Transition between the Smooth and Rough Pipe Laws", aportó conocimientos para la mecánica de fluidos en los flujos con características mencionadas y desarrollo una ecuación del factor de fricción en función del número de Reynolds, el diámetro interno de la tubería y la rugosidad superficial de la misma. A esta ecuación se le llama ecuación de Colebrook en honor a Cyril F. Colebrook y se expresa de la siguiente manera:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2.0 \log\left(\frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}}\right) \quad \dots (8)$$

Donde,  $\epsilon$  es la rugosidad de la superficie interna de la tubería y depende del material comercial de la misma.

Para el coeficiente de resistencia para pérdidas de carga menores, Crane (1989), explica que, el flujo por una válvula o accesorio en la red de tubería también causa una reducción de presión, por ello el coeficiente de resistencia  $K_L$  no depende del factor de fricción ni del número de Reynolds y puede aplicarse para flujo laminar o turbulento. Este coeficiente se puede calcular deduciendo de la ecuación de Darcy-Weisbach:

$$h_L = \left(f \frac{L}{D}\right) \frac{V^2}{2g} \quad \dots (9)$$

$$K_L = f \frac{L}{D} \quad \dots (10)$$

La expresión  $L/D$  es llamada longitud equivalente en diámetros de tuberías recta que produce la misma caída de presión que el accesorio o válvula en las mismas condiciones de flujo. El coeficiente  $K_L$  es una constante, sin embargo, es complicado que ocurra una similitud geométrica debido la diversidad de fabricación, normas, diseño, etc. Por tanto, existe una tabla de factores  $K_L$  que están relacionados con el diámetro interno y cédula de tubería.

Crane (1989), menciona que, la resistencia al fluido ocasionado por ensanchamientos abruptos se puede expresar de la siguiente manera:

$$K = \left(1 - \frac{d_1^2}{d_2^2}\right)^2 \quad \dots (11)$$

Y la resistencia ocasionada por estrechamientos bruscos se puede expresar de la siguiente manera:

$$K = 0.5\left(1 - \frac{d_1^2}{d_2^2}\right) \quad \dots (12)$$

El subíndice 1 representa el diámetro de tubería menor y el subíndice 2 representa el diámetro de tubería mayor.

En el caso de las pérdidas ocasionadas por ensanchamientos graduales en la red de tuberías, fueron estudiadas por A.H. Gibson y se representa mediante un coeficiente  $C_e$ . Los valores aproximados para los coeficientes de Gibson de los ángulos del cono de divergencia  $\theta$ , se calcular por:

$$\text{Para } \theta \leq 45^\circ \rightarrow C_e = 2.6 \sin \frac{\theta}{2} \quad \dots (13)$$

$$\text{Para } 45^\circ < \theta \leq 180^\circ \rightarrow C_e = 1 \quad \dots (14)$$

Crane realizó pruebas utilizando la misma base que Gibson para estudiar las pérdidas por estrechamientos graduales, es decir, se proporcionó un coeficiente de estrechamiento y aplicarlo en la ecuación. Se definen los valores aproximados de los coeficientes de los ángulos de divergencia  $\theta$ , de la siguiente manera:

$$\text{Para } \theta \leq 45^\circ \dots C_c = 1.6 \sin \frac{\theta}{2} \quad \dots (15)$$

$$\text{Para } 45^\circ < \theta \leq 180^\circ \dots C_c = \sqrt{\sin \frac{\theta}{2}} \quad \dots (16)$$

Por tanto, según las ecuaciones anteriores podemos analizar la ecuación de Bernoulli por cada tramo de tuberías, considerando las caídas de presión y la presión requerida de los usuarios finales.

#### 2.2.6 Cálculo de Caudal en Tuberías

ATLAS COPCO (2014), explica que, el caudal que fluye a través de una tubería



puede calcularse de la siguiente manera:

$$Q = V.A = \frac{V\pi D^2}{4} \quad \dots (17)$$

Sin embargo, en ocasiones nos proporcionan el caudal expresado en condiciones FAD, que son las condiciones de aire libre en el lugar de operación. Entonces, para poder convertir el flujo en condiciones normales a condiciones FAD utilizamos la siguiente equivalencia:

$$Q_{FAD} = Q_N \frac{T_{FAD}}{T_N} \frac{P_N}{P_{FAD}} \quad \dots (18)$$

Donde,  $Q_{FAD}$ ,  $T_{FAD}$  y  $P_{FAD}$  son el caudal, temperatura y presión a condiciones ambientales del lugar de operación. Y  $Q_N$ ,  $T_N$  y  $P_N$  son el caudal, temperatura y presión a condiciones normales.

La ecuación (17) no toma en cuenta la humedad relativa. Sin embargo, considerando este factor, la ecuación será:

$$Q_{FAD} = Q_N \frac{T_{FAD}}{T_N} \frac{P_N}{P_{FAD}} \frac{P_{FAD}}{P_{FAD} - (P_{vapor_{35^\circ C}} * HR)} \quad \dots (19)$$

Donde  $P_{vapor_{35^\circ C}}$  es la presión de vapor saturado a 35°C y  $HR$  es la humedad relativa del ambiente.

### 2.2.7 Cálculo de Velocidad Interna en Tuberías

Cengel y Cimbala (2018), mencionan que, para el cálculo de la velocidad, podemos despejar la variable a partir de las ecuaciones (2) y (16), obteniendo las siguientes expresiones:

$$V = \frac{Re \cdot \mu}{D \cdot \rho} \quad \dots (20)$$

$$V = \frac{4Q}{\pi D^2} \quad \dots (21)$$

Se puede utilizar cualquiera de las expresiones según se tenga las demás variables despejadas.

### 2.2.8 Cálculo de Espesor de Tubería

ASME B31.3 (2020), plantea que, el espesor de diseño de presión interna para tubo recto cuando el espesor es menor a la sexta parte del diámetro exterior, se calcula con la siguiente expresión:

$$t = \frac{PD}{2(SEW + PY)} \quad \dots (22)$$

$$t = \frac{P(d + 2c)}{2(SEW - P(1 - Y))} \quad \dots (23)$$

Donde:

t: Espesor de diseño de tubería

P: Presión de diseño interna manométrica

D: Diámetro externo de la tubería

d: Diámetro interno de la tubería

c: Suma de tolerancias (profundidad de los hilos en tuberías roscadas, sería la dimensión h en la norma ASME B1.20.1; y para tuberías sin rosca se supone un valor de 0.5mm más la profundidad del corte) adicional a las tolerancias por corrosión y erosión.

S: Valor de esfuerzo del material (Obtenido de la tabla A-1 de la norma ASME B31.3).

E: Factor de calidad (Obtenido de las tablas A-1A y A-1B de la norma ASME B31.3).

W: Factor de reducción de la resistencia de la junta de soldadura (Según el

párrafo 302.3.5 de la norma ASME B31.3).

Y: Coeficiente obtenido de la tabla 304.1.1 de la norma ASME B31.3.

## 2.3 MARCO CONCEPTUAL

### 2.3.1 Red de Tuberías

Según ASME B31.3 (2020):

Una red de tuberías es el sistema de tuberías interconectadas sujetas al mismo grupo o grupos de condiciones de diseño. La tubería es un cilindro hermético usado para transportar un fluido o para transmitir presión de fluido, normalmente definido como “tubería” en las especificaciones de material correspondientes. (p. 34)

Moliá (2007), explica que, una red de distribución es el conjunto de tuberías, accesorios, equipos e instalaciones que la empresa tiene para transportar fluido desde un punto o puntos de captación y tratamiento, hasta la entrega del suministro al punto de consumo en las condiciones que el equipo requiera.

La empresa ATLAS COPCO (2020), explica que, la distribución de aire comprimido debe cumplir tres requisitos, minimizar las caídas de presión entre el compresor y el equipo usuario, evitar las fugas en las tuberías, y asegurar el drenaje total de los condensados. El ruteo de la red también es importante para la eficiencia, fiabilidad y el coste de producción del aire comprimido.

La red de tuberías es el conjunto de conductos complementados por accesorios y válvulas por los cuales circula el fluido desde la sala de generación hasta los usuarios finales, teniendo en cuenta las caídas de presión, el flujo generado y requerido y las condiciones de diseño de presión, temperatura y velocidad del fluido, para satisfacer la necesidad de los usuarios.

### 2.3.2 Condiciones de Diseño:

Según ASME B31.3 (2020), las condiciones de diseño se definen como «las temperaturas, presiones y fuerzas aplicables al diseño de tuberías, y establece la consideración de que se le dará a varios efectos y sus consiguientes cargas.» En esta investigación, las condiciones de diseño son las características de presión, temperatura y velocidad que tendrá el fluido a través de la red de tuberías.

### 2.3.3 Capacidad de Entrega de Fluido de Compresores

ASME B31.3 (2020) y CAGI (2021), mencionan que, calcular la capacidad correcta del compresor que se instalará para satisfacer la demanda de aire comprimido es un punto importante que se mal interpreta frecuentemente. Es importante entender que los requerimientos del flujo de los equipos que utilizan aire comprimido se expresan en volúmenes de aire libre, el volumen de aire atmosférico, comprimido a la presión demandada, que se requiere para que el equipo opere como se diseñó.

Según la empresa ATLAS COPCO (2014):

La capacidad del compresor se determina esencialmente por el consumo nominal de aire comprimido. El caudal de salida libre del compresor deberá cubrir este consumo. La capacidad de reserva calculada se determina principalmente por el coste de pérdida de producción derivada de un posible fallo de suministro de aire comprimido. El número de compresores y su tamaño se determinan principalmente por el grado de flexibilidad deseado, el sistema de control y la eficiencia energética. (p. 67).

La capacidad de entrega de fluido de compresores es el flujo de aire libre comprimido generado sujeto a las condiciones de sitio como la humedad y la altura geográfica.

Carnicer (1991), explica que, las características meteorológicas del lugar donde se ubica la planta son variables. Por tanto, se estableció una base sobre la cual considerar las condiciones normales de temperatura y presión del aire comprimido, independientemente de las condiciones atmosféricas del lugar donde opere el compresor. Al aire con estas condiciones se le llama “Aire Normal” y se distingue con una N en mayúscula que se ubica antes de las dimensiones de flujo.

IUPAC (2015), menciona que, las condiciones normales de un fluido de presión y temperatura es cuando están a 1 atm de presión y 0°C de temperatura.

#### 2.3.4 Especificaciones de Componentes de Tubería

Según ASME B31.3 (2020), son elementos mecánicos adecuados para unión o montaje en sistemas de tuberías que contienen fluidos herméticos a presión.

Según Crane (1989):

Cualquier obstáculo en la tubería cambia la dirección de la corriente en forma total o parcial, altera la configuración característica de flujo y ocasiona turbulencia, causando una pérdida de energía mayor de la que normalmente se produce en un flujo por una tubería recta. Ya que las válvulas y accesorios en una línea de tuberías alteran la configuración de flujo, producen una pérdida de presión adicional. [...] Los acoplamientos o accesorios para conexión se clasifican en: de derivación, reducción, ampliación y desviación. Los accesorios como tes, cruces, codos con salida lateral, etc., pueden agruparse como accesorios de derivación. [...] Si las válvulas se clasificaran según su resistencia que ofrecen al flujo, las que presentan un paso directo del flujo, como las válvulas de compuerta, bola, macho y de mariposa pertenecen al grupo de baja resistencia; las que tienen un cambio en la dirección del flujo, como las válvulas de globo y angulares, están en el grupo de alta resistencia. (p. 24)

La especificación de los componentes de tuberías es el conjunto de características y propiedades pertenecientes a los elementos mecánicos de unión y distribución de la red de tuberías.

### 2.3.5 Tipos de Diseño de Red de Tuberías

Carnicer (1991), nos explica que, una red de tuberías puede constituirse de tuberías en serie, en paralelo o ramificadas. Sin embargo, la recomendación es sustituir, en donde sea posible, un sistema complejo de tuberías por un único equivalente que posea la misma pérdida de carga y para el mismo flujo. Generalmente se puede diseñar una red de tuberías de circuito cerrado o de circuito abierto, pero una red de circuito cerrado tiene los siguientes inconvenientes:

- A) Queda discriminado la intención de diseñar el circuito con pendiente para evacuar el condensado a través de purgas, ya que en un circuito cerrado no es exacto la dirección del flujo y provoca un efecto de vaivén del aire en el interior de la red.
- B) No es correcto asumir que exista un equilibrio de presiones a lo largo de la red de tuberías, ya que la caída de presión depende del diámetro de la tubería y la longitud de la misma.
- C) Otra idea errónea es creer que, en una red de tuberías abierta, el usuario más alejado de la sala de compresión no tendrá la presión requerida. Sin embargo, los compresores reponen aire constantemente, aunque el consumo sea uniforme o posea picos de consumo.

Según la empresa ATLAS COPCO (2014), el mejor diseño es una red de tuberías cerrada en forma de anillo alrededor de los equipos usuarios, a fin de obtener un suministro uniforme de aire ya que el flujo proviene de dos direcciones. Recomienda usar este tipo de red a excepción de existir un punto de consumo a gran distancia de la sala de generación.

En esta investigación, el diseño es una red de tuberías abierta desde la sala de compresores hasta el ingreso al área de los usuarios y cerrada en forma de anillo en la zona de los puntos de consumo. Separaremos los usuarios por presión de operación, por tanto, tendremos dos redes de tuberías con origen en la sala de compresores de aire de alta presión. Además, las acometidas tendrán la forma de cuello de ganso, teniendo la salida por la parte superior de la tubería.

### 2.3.6 Objetivos del Diseño

CAGI (2021), nos explica que el fin principal de una red de aire comprimido es proporcionar un suministro de aire comprimido confiable, seco, a una presión constante para los usuarios finales de la red de aire comprimido al menor costo posible.

El diseño de la red de tuberías en la presente investigación tiene por objetivo entregar un flujo de aire comprimido de alta presión de manera segura, seco, a la presión y pureza requerida por el usuario, trazando una ruta de distribución que evite las caídas de presión innecesarias.

### 2.3.7 Tipos de Material de Tuberías

Según CAGI (2021), existen diversos tipos de materiales disponibles para una red de tuberías de aire comprimido, cada uno con características diferentes en cuanto a seguridad, resistencia a la corrosión, facilidad de montaje, fricción y costo. Los materiales comúnmente usados son el acero negro, acero galvanizado, aluminio, cobre, acero inoxidable y mangueras de goma. Un requisito importante sobre el material es que debe cumplir o exceder la presión máxima a la que puede someterse el sistema de aire comprimido. Por ejemplo, para las tuberías de aluminio y cobre, pasan por un proceso de extrusión en la pared interna que proporciona una superficie suave y de baja fricción, además ambos materiales son resistentes a la corrosión, por tanto, conservan su cualidad de baja fricción durante toda su vida útil. En cambio, las tuberías de acero al

carbono y acero inoxidable son fabricados mediante un proceso de trefilado, pero el acero inoxidable es resistente a la corrosión y conservará su baja fricción toda su vida útil a diferencia del acero al carbono que se oxidará en presencia de humedad y condensado, y dicha oxidación aumentará la rugosidad de la pared interna de la tubería elevando la caída de presión y disminuyendo la calidad del aire entregado. La manguera de goma es el material que posee un factor de fricción más elevado, por este motivo, se utiliza en los tramos más cortos posibles para reducir la caída de presión.

En el presente diseño, se utilizará acero inoxidable como material para las tuberías y accesorios debido a la relación costo/beneficio sobre las demás opciones. Es decir, posee una elevada resistencia a la corrosión que asegura un factor de fricción reducido en toda su vida útil y una calidad de aire que no afecte a los equipos usuarios. Además, las tuberías de cobre son excesivas en costo en comparación con el acero inoxidable; las tuberías de aluminio poseen muchas ventajas en el montaje, peso, versatilidad, pero solo admite flujos a presión de 10 bar como máximo y las tuberías de acero al carbono tienen la desventaja que son vulnerables a la corrosión debido a la humedad y condensado que siempre están presentes en el aire.

### 2.3.8 Normativas de Tuberías, Accesorios y Uniones

En esta investigación, utilizaremos como base para las especificaciones de tuberías la norma ASME B31.3 Tubería de Proceso, que se aplica para tuberías referentes a refinerías de petróleo, instalaciones de producción de petróleo y gas natural en tierra y en alta mar, plantas químicas, farmacéuticas, textiles, de procesamiento de papel, de procesamiento de minerales semiconductores, criogénicas e instalaciones de procesamiento de alimentos y bebidas.

El código ASME B31.3 (2020), explica que, se especifica los requerimientos de ingeniería necesarios para el correcto diseño y construcción de una red de



tuberías. Aunque la seguridad es un factor fundamental, no es el único que se tendrá en cuenta para las especificaciones finales de la red de tuberías.

También utilizaremos la norma ASME B16.5 Bidas de tubería y accesorios bridados: NPS ½" a 24" - métrico / pulgadas estándar para las especificaciones de los accesorios y conexiones bridadas de tuberías. Según ASME B16.5 (2009), esta norma atiende las clasificaciones de presión-temperatura, dimensiones, materiales, marcado, tolerancias, pruebas y métodos para designar aberturas para las bridas de las tuberías y accesorios bridados. Estas designaciones de bridas se dividen en las clases de 150, 300, 400, 600, 900 y 1500 para tamaños NPS ½" a 24" y bridas con clase 2500 en tamaños NPS ½" a 12" con diámetro de pernos y orificios expresados en pulgadas. Los accesorios con brida con designación de clase 150 y 300 en tamaños NPS ½" a 24" con diámetros de pernos y orificios expresados en pulgadas. Además, los accesorios con brida con designación de clase 400, 600, 900 y 1500 en tamaños NPS ½" a 24" y accesorios con brida de clase 2500 en tamaños NPS ½" a 12" que se reconoce en el apéndice E que se expresa en unidades de EE.UU.

### 2.3.9 La Demanda de Aire Comprimido de Alta Presión

CAGI (2021), explica que, el cálculo de la demanda de la red de aire comprimido puede ser complicado a causa de las fluctuaciones de la demanda de cada usuario de aire. Sin embargo, la demanda empieza por conocer la suma del consumo específico de aire comprimido de los usuarios. Se puede realizar un estudio de los usuarios de aire comprimido en una planta para reconocer los equipos que demandan casi constantemente aire y los equipos que lo demandan con poca frecuencia, aunque también depende el volumen de aire que requieran mientras este operativo.

Carnicer (1991), menciona que, para el cálculo de la demanda de la red de aire comprimido, debemos indagar el número y el flujo de aire comprimido que se requiere. Empezaremos estableciendo una lista de los consumos individuales de

aire comprimido expresados en Nm<sup>3</sup>/h (consumo específico), luego multiplicar el consumo de cada equipo con un coeficiente de utilización que depende del tiempo de inactividad del equipo, obteniendo el consumo real de cada usuario; por último, para hallar el coeficiente de simultaneidad se debe promediar los coeficientes de utilización de todos los usuarios de la planta. Para el cálculo del flujo de aire comprimido requerido de los compresores, a la cantidad de aire demandado se adiciona un 10% por fugas y entre 20 a 25% por posibles ampliaciones futuras.

ATLAS COPCO (2014), señala que, el consumo nominal de aire comprimido depende de los equipos usuarios y se halla sumando todos los consumos teniendo presente los factores de utilización basado en la experiencia y un margen por fugas, desgaste y ampliaciones futuras. Se plantea elaborar una lista de equipos usuarios definiendo el consumo de aire y factor de utilización respectivo.

Para la investigación, la demanda de aire comprimido es el volumen requerido realmente por la planta que debe ser suministrada por la sala de compresores con las características demandadas, y para el cálculo de la demanda de aire comprimido, contamos con mediciones realizadas por el cliente y documentación técnica de algunos equipos.

Además, Carnicer (1991), explica que:

La potencia de las herramientas neumáticas se mantiene inalterable prácticamente con la altitud, siempre y cuando la presión manométrica a la entrada de la maquina no varíe. Por otro lado, el consumo de las herramientas neumáticas se eleva con una presión ambiental menor. Como consecuencia, es evidente que este punto habrá que tenerse presente en el momento en que vayamos a disponer compresores en altitudes cuya cota pueda bajarnos de un modo relevante el caudal de aire, a fin de lograr igualar el cálculo del caudal de aire necesitado con la realidad. [...] El aire, si lo definiéramos severamente, no es un gas

perfecto, pero dadas las pequeñas variaciones que en él ocurren, y para un estudio de los principios de funcionamiento de los compresores, podemos considerarlo como un gas que satisface las condiciones de un gas perfecto. (p. 24).

Por tanto, calcularemos la demanda de aire con el conocimiento que el aire comprimido se comporta como un gas ideal y que el consumo de aire varía en forma inversamente proporcional con la presión atmosférica.

### 2.3.10 Calidad de Aire Comprimido

CAGI (2021), explica que, la calidad de aire comprimido requerido en una planta depende de la aplicación que se le da para que el equipo funcione de manera productiva, confiable y eficiente. Las características del aire comprimido pueden variar desde aire sucio, caliente, húmedo y aceitoso que se aplica en un martillo neumático hasta aire comprimido seco, frío, limpio y sin aceite que se usa en el rubro medicinal. Esta refinación del aire requiere dinero, por tanto, es importante identificar la calidad de aire mínima requerida para no incurrir en sobrecostos o producir fallas en los equipos por una mala calidad de aire. La norma ISO 8573-1 Contaminantes y clases de pureza, permite identificar el efecto de la calidad del aire de cada usuario dentro de la red de aire comprimido.

La norma ISO 8573-1 (2010), señala que, es el documento de la ISO 8573 que proporciona una clasificación de los principales contaminantes de aire comprimido y reconoce como se pueden identificar otros contaminantes que no estén en esta clasificación. La calidad de aire se expresa de la forma A:B:C, donde A es la clase de pureza por partículas, B es la clase de pureza por humedad y C es la clase de pureza por aceite. Debido a que los equipos usuarios son sopladoras donde el aire comprimido entra en contacto directo con el interior de las botellas, se requiere una calidad de aire exigente. Según los manuales de uso de los equipos, la calidad de aire requerido es de 1:4:1.

### 2.3.11 Consumo Específico del Usuario

CAGI (2021), menciona que, es de vital importancia para el diseño identificar los usos del aire comprimido que sean generalmente estables y consistentes con respecto al flujo y presión, pero es aún más importante identificar aquellos usos que sean intermitentes ya que son estos los que definen la dinámica del sistema.

Carnicer (1991), menciona que «Se llama consumo específico de una herramienta o equipo al consumo de aire requerido para servicio continuo a la presión de trabajo dada por el fabricante. Se expresa en aire libre».

El consumo específico es el volumen de aire comprimido que requiere un equipo para operar correctamente. Este volumen se expresa en condiciones normales y puede obtenerse de los datos técnicos o realizando mediciones a los equipos o, en última instancia, tomando valores de equipos similares.

### 2.3.12 Coeficientes del Consumo de Aire de los Usuarios

CAGI (2021), explica que, el factor de carga de los usuarios es la multiplicación del factor tiempo y el factor trabajo. El producto del volumen requerido de un equipo por su factor de carga nos arroja la demanda promedio del mismo. El factor tiempo es el porcentaje de tiempo que el equipo está operando dentro de la jornada laboral y el factor trabajo es el volumen demandado por el equipo cuando opera a su máxima capacidad.

Para el diseño de la red de tuberías, el factor de carga de los usuarios es la denominación para consumo real de cada usuario, el factor tiempo es la denominación para el factor de utilización del usuario y el factor trabajo es la denominación para el consumo específico de cada usuario. Como se mencionó en el punto 2.3.9, el coeficiente de utilización es 0.9, ya que es una solicitud del cliente.

### 2.3.13 Equipos Consumidores de Aire Comprimido de Alta Presión

Chambi (2021), explica que, las sopladoras PET utilizan calor para la etapa antes del soplado para facilitar el moldeo y aire comprimido para dicho proceso y producir botellas PET.

SIPA (2010), menciona que, para las sopladoras PET de esta empresa, se utiliza aire comprimido a 40 bar para la producción de botellas PET.

Para el diseño de la red de tuberías, se identificó los equipos que consumen aire comprimido de alta presión, los cuales son las sopladoras PET. Cada equipo tiene una presión de soplado, que depende del proceso de moldeo y del diseño de la botella PET. Sin embargo, el cliente ha proporcionado los datos de las presiones que deben poseer el aire comprimido para un correcto funcionamiento de las sopladoras.

### 2.3.14 Característica de los Equipos Consumidores de Aire Comprimido de Alta Presión

SIPA (2010), señala que, en las sopladoras PET de dicha empresa, el aire comprimido de alta presión que ingresa al equipo se divide en dos flujos de 40 bar y 15 bar. Ingresan al bloque de soplado primario, secundario y desgasificación de las cavidades de presión. La línea de 15 bar ingresa al soplado primario en la cavidad del cilindro de compensación donde se contrarresta la presión de soplado presente en la cavidad de soplado. Luego, repite el procedimiento en el soplado secundario con la línea a 40 bar. Por último, cierra la entrada de aire comprimido a 40 bar y habilita la desgasificación que permite la salida de aire de soplado a través del silenciador.

## 2.4. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

- Aguas abajo: La expresión se refiere a un determinado objeto que se encuentra ubicado después del punto de referencia en dirección del flujo del fluido.
- Aguas arriba: La expresión se refiere a un determinado objeto que se encuentra ubicado antes del punto de referencia en dirección del flujo del fluido.
- Presión de diseño: Es la presión máxima a la cual podría estar el sistema, valor con el cual debemos dimensionar y seleccionar las tuberías y los accesorios.
- Velocidad de diseño: Es la velocidad máxima que el fluido puede alcanzar en un tramo de red. Este valor se aplica para el dimensionamiento de las tuberías y posterior cálculo de la velocidad real del fluido.
- SCH: Abreviatura de Schedule. Es una medida del grosor de sus paredes de las tuberías.
- Válvula: Equipo o instrumento instalado en la red con la función de controlar o bloquear el flujo de aire comprimido a cualquier tramo del sistema de tuberías o un equipo usuario.
- Condiciones Normales: Según La Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC), las condiciones normales de presión y temperatura es cuando un fluido está a 1 atm de presión y 0°C
- Alta presión: En la presente investigación, se refiere a “Alta presión” al aire que posee una presión de más de 30 bar.
- Caudal FAD: Es el flujo volumétrico de un equipo a las condiciones de presión, temperatura y humedad relativa del lugar.

### III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

#### 3.1. HIPÓTESIS

Hipótesis General:

- Realizando el diseño de la red de tuberías, se satisface la demanda de aire comprimido de alta presión en una empresa de alimentos.

Hipótesis Específicas:

- Determinando las condiciones de diseño de presión y velocidad de la red de tuberías, se satisface la demanda de aire comprimido de alta presión en una empresa de alimentos.
- Determinando la capacidad de entrega de fluido de compresores, se satisface la demanda de aire comprimido de alta presión en una empresa de alimentos.
- Determinando la especificación de componentes de tubería, se satisface la demanda de aire comprimido de alta presión en una empresa de alimentos.

#### 3.2. IDENTIFICACIÓN Y DEFINICIÓN DE VARIABLES

Definición Conceptual:

- Variable Dependiente: La demanda de aire comprimido de alta presión, según CAGI (2021) es,

Calcular la demanda de su sistema de aire comprimido puede resultar difícil debido a la demanda fluctuante de cada aplicación que consume aire. Sin embargo, entender que la demanda comienza con la suma del consumo específico de aire de cada usuario. Un estudio de herramientas y dispositivos neumáticos en una planta de fabricación típica demostrará que algunas de estas herramientas y dispositivos funcionan casi constantemente y otros funcionan con poca frecuencia, aunque puede requerir un volumen relativamente grande de aire mientras se utiliza. (p.2)

- Variable Independiente: Una red de tuberías según ASME B31.3 (2020) es, Sistema de tuberías interconectadas sujetas al mismo grupo o grupos de condiciones de diseño. La tubería es un cilindro hermético usado para transportar un fluido o para transmitir presión de fluido, normalmente definido como “tubería” en las especificaciones de material correspondientes. (p.7)

Definición Operacional:

Definición de la variable dependiente: La demanda de aire comprimido de alta presión se evalúa en consideración a la calidad de aire requerido, consumo específico de los usuarios y coeficientes de consumo de aire, en el análisis de la velocidad de la producción, volumen de los formatos, filtros de aire y coeficientes de utilización y simultaneidad.

Definición de la variable independiente: El diseño de una red de tuberías se evalúa en consideración a las condiciones de diseño, caudal de fluido y especificación de componentes, en el análisis de la presión y temperatura de diseño, la capacidad de los compresores, la ubicación geográfica de la red de tuberías y la presión de trabajo.

3.2.1. Operacionalización de Variables

Tabla 1. Operacionalización de variables

Variables	Dimensiones	Indicadores	Índice	Instrumentos y técnicas
Variable Independiente: Diseño de una red de tuberías	Condiciones de diseño	Presión de diseño	Bar	Técnica: Documental Instrumento: Manual de equipos
		Velocidad de diseño	m/s	Técnica: Documental Instrumento: Manual de diseño de red de aire



	Capacidad de entrega de fluido de compresores	Capacidad de compresores	Bar	Técnica: Documental Instrumento: Ficha de recolección de datos
		Ubicación geográfica	m.s.n. m.	Técnica: Documental Instrumento: Registro meteorológico
	Especificación de componentes de tubería	Presión de trabajo	Bar	Técnica: Documental Instrumento: Manual de equipos
Variable Dependiente: La demanda de aire comprimido de alta presión.	Calidad de aire requerido	Filtros de aire	-	Técnica: Documental Instrumento: Manual de equipos
	Consumo específico del usuario	Capacidad de producción	BPH	Técnica: Documental Instrumento: Ficha de datos de producción proyectada
		Volumen de formatos de producción	Lt	Técnica: Documental Instrumento: Ficha de datos de producción proyectada
	Coeficientes del consumo de aire de los usuarios	Coeficiente de simultaneidad	-	Método: Cuantitativo Instrumento: Ficha de recolección de datos

## **IV. DISEÑO METODOLÓGICO**

### **4.1. TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

Según Espinoza (2014):

Existen dos tipos de investigación: la investigación básica y la investigación tecnológica. La investigación básica tiene como propósito ampliar el conocimiento científico a partir de la observación del funcionamiento de los fenómenos de la realidad. Sus niveles son la descripción y explicación. La investigación tecnológica tiene como propósito aplicar el conocimiento científico para solucionar los diferentes problemas que beneficien a la sociedad. Sus niveles son la experimentación y la aplicación. (p. 90).

En este caso, la investigación es de tipo tecnológica y nivel de aplicación, ya que tiene por objetivo resolver problemas como el crecimiento de demanda de aire comprimido y disminución de la caída de presión de la red de tuberías. Utilizando conocimientos acerca de principios físicos, ecuaciones referentes a la mecánica de fluidos y normativa ASME B31.3 e ISO 8573-1, los cuales permitirán comprobar que el diseño de la red de tuberías satisface la demanda de aire comprimido de alta presión de la empresa de alimentos.

Según Espinoza (2014):

El diseño de Investigación es una organización esquematizada para relacionar y controlar las variables de investigación. Tiene como objetivo asignar restricciones controladas a las observaciones de los fenómenos. Es una herramienta de dirección para el investigador, contiene los pasos o acciones a seguir para encontrar posibles soluciones a los problemas. (p.92)

Según Hernández (2014), el diseño no experimental:

Podría definirse como la investigación que se realiza sin manipular deliberadamente variables. Es decir, se trata de estudios en los que no hacemos variar en forma intencional las variables independientes para ver su efecto sobre otras variables. (p. 152)

Según las fuentes, el diseño de esta investigación es no experimental, ya que la red de tuberías, que es la variable independiente, no se varía de forma aleatoria, sino que, en base a esta, se proyecta una demanda de aire comprimido, que es la variable dependiente.

#### 4.2. MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN

Según Espinoza (2018):

El propósito del método sistémico es estudiar el objeto mediante la determinación de sus elementos, sus relaciones y límites para observar su estructura y la dinámica de su funcionamiento. El enfoque sistémico enfrenta el problema en su complejidad a través de un pensamiento basada en la totalidad, en el estudio de la relación entre las partes y de las propiedades emergentes resultantes. (p. 91).

Por tanto, la presente investigación utiliza el método sistémico, ya que para diseñar una red de tuberías debemos determinar equipos generadores y consumidores, la relación que existe según sus parámetros y la dinámica que debe tener el diseño para solucionar cualquier obstáculo que se presente.

#### 4.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

La muestra según Bernal (2010, p. 161), explica que, «Es la parte de la población que se selecciona, de la cual realmente se obtiene la información para el desarrollo del estudio y sobre la cual se efectuarán la medición y la observación de las variables objeto de estudio.»

- La muestra a analizar son los equipos consumidores de aire comprimido de alta presión que son las sopladoras PET.

Por su parte Hernández citado en Castro (2003), expresa que «si la población es menor a cincuenta (50) individuos, la población es igual a la muestra» (p. 69).

- Teniendo como referencia las citas mencionadas, se concluye que la población es la misma que la muestra, ya que la población y muestra son las 06 sopladoras PET, además la población es menor a 50 individuos.

#### 4.4. LUGAR DE ESTUDIO Y PERIODO DESARROLLADO

La empresa de alimentos, se encuentra ubicado en Av. La Paz Nro. 131 Santa María De Huachipa.



Figura 1. Ubicación geográfica satelital de la nueva planta de la empresa de alimentos. Tomado de Google Maps

La investigación se realizó con fecha de inicio en noviembre del 2020 y fecha de finalización en junio del 2021.

#### 4.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

La técnica utilizada es la documental, ya que utilizaremos datos de las fichas técnicas de las sopladoras PET, los compresores de aire y a su vez utilizaremos documentación de la producción a futuro a la cual se requiere proyectar.

#### 4.6. ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE DATOS

El procesamiento de datos se realizará mediante una memoria de cálculo en el programa Microsoft Excel, ingresando las fórmulas matemáticas para el cálculo de los valores. La secuencia del procedimiento se detalla a continuación:

##### 4.6.1. Información Técnica de Compresores

Para calcular el caudal de aire comprimido generado por los compresores, debemos revisar las fichas técnicas disponibles de estos equipos.

El compresor ABC HORIZON 4700 Plus, fue adquirida a otra empresa de alimentos. Lo denominaremos Compresor Horizon.

HORIZON PLUS 4700		Q	DESCRIPCIÓN
Grupo completo	1	COMPRESOR, estacionario, de disposición horizontal, de cilindros opuestos, alternativo y equilibrado, de TRES ETAPAS DE COMPRESION, de DOBLE EFECTO, con cruquetas y refrigerado por circulación de agua y SIN ENGRASE DE CILINDROS. Grupo compresor completo SOBRE BASTIDOR METÁLICO para el ensamblaje del compresor, motor, depósito, secador y armario eléctrico; con conexiones eléctricas, neumáticas, de ventilación... preparadas y testado en fábrica.	
Clasificación		Fabricación del compresor en base a la normativa comunitaria CE	
Origen		España	
Caudal y calidad del aire		Caudal producido en condiciones de aspiración, m³/h FAD	4.610
		Caudal realmente producido, Nm³/h	4.005
		Potencia absorbida en el eje del compresor, Kw	668
		Presión de aspiración, kg/cm² (a)	0,996
		<b>Presión de escape, bar (g)</b>	<b>MAXIMO 38</b>
		Calidad del aire, s/norma ISO 8573-1:2010	
		<b>100% Cilindros exentos de aceite:</b>	
		- Aceites	Clase 1
	- Partículas	Clase 1	
	- Agua	Clase 4	
Motor eléctrico	1	Transmisión	ACOPLAMIENTO DIRECTO
		Protección	IP-55
		Eficiencia	IE2
		Potencia, kW	710
		Revoluciones por minuto, RPM	1.800
		Voltaje, V	440 ± 10%
		Frecuencia, Hz	60

Figura 2. Datos técnicos del compresor ABC Horizon 4700 Plus, Tomado de “Propuesta técnico económica Compresor Horizon Plus 4700”, por ABC Compressors, 2020, p.2.

Tenemos que, el compresor Horizon, puede generar 4005 Nm<sup>3</sup>/h a 38 bar de presión y que, a 300 m.s.n.m. y a 30°C, genera un flujo de 4610 m<sup>3</sup>/h. Además, el aire generado tiene una calidad de 1:4:1.

El compresor ABC 4HP-6LT se encuentra en la planta de Huachipa, tiene la codificación ABC-4 y es el compresor de mayor dimensión de la planta. Lo denominaremos Compresor ABC-4.

Le nouveau modèle 4HP-6-LT, le plus grand en dimension et capacité, complète un cycle de puissances et produits adaptés aux exigences des clients. Il devient le plus grand compresseur alternatif du marché PET.

Le souci par l'excellence et l'implantation des hautes technologies ont créé une machine d'une valeur ajoutée, avec un réglage parfait et avec le meilleur ratio d'efficacité énergétique du marché.

CAPACITÉ	EFFICACITÉ	FIABILITÉ
6.000 m <sup>3</sup> /h	4 ÉTAGES DE COMPRESSION RÉGLAGE PARFAIT	FONCTIONNEMENT CONTINU 8.000 HEURES
Le 4HP-6-LT, avec un moteur de 1.000 kW, offre 6.000 m <sup>3</sup> /h de débit, plus de 80% en comparaison avec d'autres compresseurs alternatifs du marché.	<p><b>Éfficacité énergétique maximale:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 4 étages de compression, en s'ajustant parfaitement au cycle isotherme.</li> <li>- Cylindres à double effet. Basse vitesse linéale.</li> <li>- Accouplement direct, avec mineurs pertes énergétiques dans la transmission.</li> <li>- Adaptation parfaite aux <b>variateurs de fréquence</b> (réglage jusqu'à 54% de la capacité).</li> </ul>	<p>Le compresseur ABC de cylindres horizontaux et opposés est parfaitement équilibré, <b>en évitant de possibles vibrations.</b></p> <p>Son dessin performant permet <b>d'opérer à basses températures</b> et d'augmenter la vie des pièces détachées.</p> <p>Avec tout ça, le compresseur 4HP-6-LT <b>travaille plus de 8.000 heures à plein charge sans arrêter pour l'entretien.</b></p>

GAMME	800 kW	900 kW	1.000 kW
Capacité 40 bar (m <sup>3</sup> /h FAD)	4.903	5.404	6.004
RPM	490	540	600
Puissance absorbée (kW)	705	786	888
Puissance installée (kW)	800	900	1.000
Poids (Tn)	40	40	40
Type d'accouplement (Direct)	Direct	Direct	Direct

Figura 3. Catálogo de compresor ABC 4HP-6LT. Tomado de "Hoja de presentación de compresor ABC 4HP-6LT", por ABC Compressors, 2016, p. 3.

El compresor ABC-4 posee la configuración de 900 kW, por tanto, genera 5404 m<sup>3</sup>/h a nivel del mar y 35 °C según el catálogo.

Usando la ecuación (18) para hallar el flujo a condiciones normales, tenemos:

$$5404 \text{ m}^3/\text{h} = Q_N \frac{308 \text{ K } 1.013 \text{ bar}}{273 \text{ K } 1.013 \text{ bar}}$$

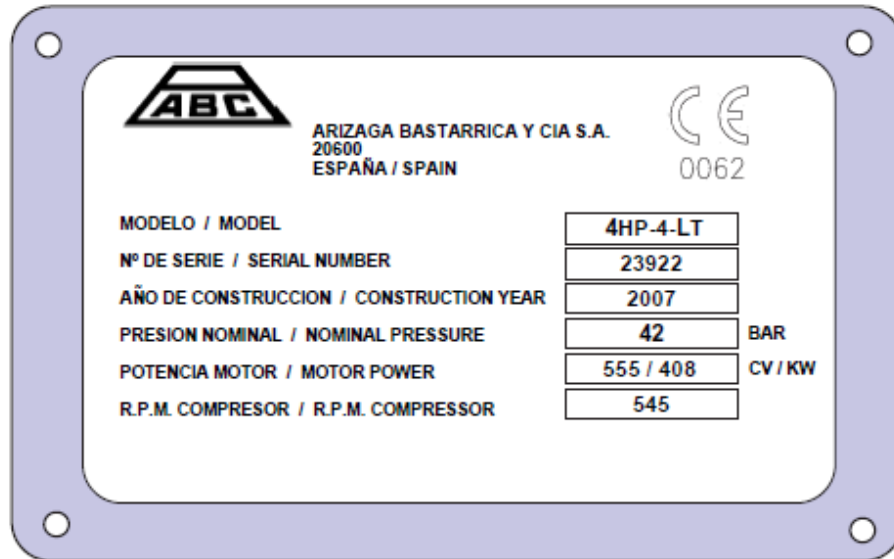
$$Q_N = 5141 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

Entonces, el flujo de aire comprimido generado por el compresor a condiciones normales es de 5141 Nm<sup>3</sup>/h.

Los compresores ABC 4HP-4LT son tres unidades, dos de estas se encuentran en la planta Huachipa y tienen su codificación ABC-1 y ABC-2, los seguiremos

denominando por la misma codificación. El tercer compresor proviene de una planta de la misma empresa de alimentos con sede en Indonesia, lo denominaremos Compresor Indonesia.

#### 1.4. CARACTERISTICAS TECNICAS



Fluido	AIRE
Caudal en m3/hora	2682
Presión de aspiración en bar	-
Potencia absorbida en cigüeñal en CV / KW	462,06 / 339,85
Transmisión	CORREAS
Engrase de cilindros	NO
Nº de etapas	4
— Ø Cilindro 1º etapa en mm	580
— Ø Cilindro 2º etapa en mm	370
— Ø Cilindro 3º etapa en mm	230
— Ø Cilindro 4º etapa en mm	145
Carrera de los pistones en mm	200

Figura 4. Datos técnicos del manual del compresor 4HP-4LT. Tomado de “Manual de instalación de compresor ABC 4HP-4LT”, por ABC Compressors, 2014, p. 7.

Los compresores ABC-1, ABC-2 e Indonesia generan 2682 Nm<sup>3</sup>/h y pueden operar hasta 42 bar de presión. Por tanto, los compresores de aire de alta presión poseen un consumo a condiciones normales de:



Tabla 2. Flujos de generación de compresores de aire de alta presión.

Compresor	Flujo (Nm <sup>3</sup> /h)
Compresor ABC -1	2,682
Compresor ABC -2	2,682
Compresor ABC HORIZON	4,005
Compresor ABC -4	5,141
Compresor ABC Indonesia	2,682

#### 4.6.2. Condiciones de Sitio

Según el portal Weather Spark (2016) y SENAMHI (2013), los datos históricos de Huaral indican que la temperatura máxima es de 35°C y que la ciudad está a una altura de 250 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.). Además, según el portal Tiempo y Temperaturas, la humedad relativa en Huaral, alcanza hasta 98%.

Para obtener la presión de vapor saturado a 35°C, recurrimos a la siguiente tabla:

Agua saturada. Tabla de temperaturas

Temp., <i>T</i> °C	Pres. sat., <i>P</i> <sub>sat</sub> kPa	Volumen específico, <i>m</i> <sup>3</sup> /kg		Energía interna, <i>k</i> J/kg			Entalpía, <i>k</i> J/kg			Entropía, <i>k</i> J/kg · K		
		Liq. sat., <i>v</i> <sub>f</sub>	Vapor sat., <i>v</i> <sub>g</sub>	Liq. sat., <i>u</i> <sub>f</sub>	Evap., <i>u</i> <sub>fg</sub>	Vapor sat., <i>u</i> <sub>g</sub>	Liq. sat., <i>h</i> <sub>f</sub>	Evap., <i>h</i> <sub>fg</sub>	Vapor sat., <i>h</i> <sub>g</sub>	Liq. sat., <i>s</i> <sub>f</sub>	Evap., <i>s</i> <sub>fg</sub>	Vapor sat., <i>s</i> <sub>g</sub>
0.01	0.6117	0.001000	206.00	0.000	2374.9	2374.9	0.001	2500.9	2500.9	0.0000	9.1556	9.1556
5	0.8725	0.001000	147.03	21.019	2360.8	2381.8	21.020	2489.1	2510.1	0.0763	8.9487	9.0249
10	1.2281	0.001000	106.32	42.020	2346.6	2388.7	42.022	2477.2	2519.2	0.1511	8.7488	8.8999
15	1.7057	0.001001	77.885	62.980	2332.5	2395.5	62.982	2465.4	2528.3	0.2245	8.5559	8.7803
20	2.3392	0.001002	57.762	83.913	2318.4	2402.3	83.915	2453.5	2537.4	0.2965	8.3696	8.6661
25	3.1698	0.001003	43.340	104.83	2304.3	2409.1	104.83	2441.7	2546.5	0.3672	8.1895	8.5567
30	4.2469	0.001004	32.879	125.73	2290.2	2415.9	125.74	2429.8	2555.6	0.4368	8.0152	8.4520
35	5.6291	0.001006	25.205	146.63	2276.0	2422.7	146.64	2417.9	2564.6	0.5051	7.8466	8.3517
40	7.3851	0.001008	19.515	167.53	2261.9	2429.4	167.53	2406.0	2573.5	0.5724	7.6832	8.2556
45	9.5953	0.001010	15.251	188.43	2247.7	2436.1	188.44	2394.0	2582.4	0.6386	7.5247	8.1633
50	12.352	0.001012	12.026	209.33	2233.4	2442.7	209.34	2382.0	2591.3	0.7038	7.3710	8.0748
55	15.763	0.001015	9.5639	230.24	2219.1	2449.3	230.26	2369.8	2600.1	0.7680	7.2218	7.9898
60	19.947	0.001017	7.6670	251.16	2204.7	2455.9	251.18	2357.7	2608.8	0.8313	7.0769	7.9082
65	25.043	0.001020	6.1935	272.09	2190.3	2462.4	272.12	2345.4	2617.5	0.8937	6.9360	7.8296
70	31.202	0.001023	5.0396	293.04	2175.8	2468.9	293.07	2333.0	2626.1	0.9551	6.7989	7.7540

Figura 5. Presión y temperatura de vapor saturado. Tomado de “Termodinámica”, por Cengel y Boles, 2019, p. 866.

Donde podemos ver que, utilizando una regla de tres simple, encontramos que el valor de la presión del vapor saturado a una temperatura de 35°C es de aproximadamente 0.0563 Bar.

Luego, obtenemos la presión a 250 m.s.n.m. mediante la siguiente figura:

Propiedades de la atmósfera a gran altitud							
Altitud, m	Temperatura, °C	Presión, kPa	Gravedad g, m/s <sup>2</sup>	Velocidad del sonido, m/s	Densidad, kg/m <sup>3</sup>	Viscosidad $\mu$ , kg/m · s	Conductividad térmica, W/m · K
0	15.00	101.33	9.807	340.3	1.225	$1.789 \times 10^{-5}$	0.0253
200	13.70	98.95	9.806	339.5	1.202	$1.783 \times 10^{-5}$	0.0252
400	12.40	96.61	9.805	338.8	1.179	$1.777 \times 10^{-5}$	0.0252
600	11.10	94.32	9.805	338.0	1.156	$1.771 \times 10^{-5}$	0.0251
800	9.80	92.08	9.804	337.2	1.134	$1.764 \times 10^{-5}$	0.0250
1 000	8.50	89.88	9.804	336.4	1.112	$1.758 \times 10^{-5}$	0.0249
1 200	7.20	87.72	9.803	335.7	1.090	$1.752 \times 10^{-5}$	0.0248
1 400	5.90	85.60	9.802	334.9	1.069	$1.745 \times 10^{-5}$	0.0247
1 600	4.60	83.53	9.802	334.1	1.048	$1.739 \times 10^{-5}$	0.0245
1 800	3.30	81.49	9.801	333.3	1.027	$1.732 \times 10^{-5}$	0.0244
2 000	2.00	79.50	9.800	332.5	1.007	$1.726 \times 10^{-5}$	0.0243
2 200	0.70	77.55	9.800	331.7	0.987	$1.720 \times 10^{-5}$	0.0242
2 400	-0.59	75.63	9.799	331.0	0.967	$1.713 \times 10^{-5}$	0.0241
2 600	-1.89	73.76	9.799	330.2	0.947	$1.707 \times 10^{-5}$	0.0240
2 800	-3.19	71.92	9.798	329.4	0.928	$1.700 \times 10^{-5}$	0.0239
3 000	-4.49	70.12	9.797	328.6	0.909	$1.694 \times 10^{-5}$	0.0238
3 200	-5.79	68.36	9.797	327.8	0.891	$1.687 \times 10^{-5}$	0.0237
3 400	-7.09	66.63	9.796	327.0	0.872	$1.681 \times 10^{-5}$	0.0236
3 600	-8.39	64.94	9.796	326.2	0.854	$1.674 \times 10^{-5}$	0.0235
3 800	-9.69	63.28	9.795	325.4	0.837	$1.668 \times 10^{-5}$	0.0234
4 000	-10.98	61.66	9.794	324.6	0.819	$1.661 \times 10^{-5}$	0.0233
4 200	-12.3	60.07	9.794	323.8	0.802	$1.655 \times 10^{-5}$	0.0232
4 400	-13.6	58.52	9.793	323.0	0.785	$1.648 \times 10^{-5}$	0.0231
4 600	-14.9	57.00	9.793	322.2	0.769	$1.642 \times 10^{-5}$	0.0230
4 800	-16.2	55.51	9.792	321.4	0.752	$1.635 \times 10^{-5}$	0.0229

Figura 6. Propiedades de la atmósfera respecto a la altura. Tomado de “Termodinámica”, por Cengel y Boles, 2019, p.907.

La presión atmosférica en la planta de alimentos es de 98.365 kPa o 0.98365 Barg.

#### 4.6.3. Cálculo de Caudal FAD de Compresores

Teniendo los caudales de los compresores a condiciones normales y utilizando las condiciones de sitio, podremos calcular el caudal FAD. Para esto, adecuamos la ecuación (18):

$$Q_{FAD} = Q_N \frac{T_{FAD}}{T_N} \frac{P_N}{P_{FAD}}$$

$$Q_{FAD} = Q_N \frac{T_{FAD}}{T_N} \frac{P_N}{P_{FAD}} F_C \quad \dots (24)$$

Donde  $F_C$  es el factor de antigüedad del compresor. Pero considerándose que, los compresores con un tiempo de vida mayor, han tenido sus mantenimientos correspondientes a las 8000 horas y 16000 horas, se considera este factor de valor 1.

Para el compresor ABC-4, cuyo caudal nominal es de 5141 Nm<sup>3</sup>/h, calculamos:

$$Q_{FAD} = 5141 \text{ Nm}^3/\text{h} \frac{308\text{K}}{273\text{K}} \frac{1.013 \text{ bar}}{0.9836 \text{ bar}}$$

$$Q_{FAD} = 5983 \text{ m}^3/\text{h}$$

El caudal que el compresor ABC-4 puede ingresar a la red de aire comprimido en Huaral es de 5983 m<sup>3</sup>/h en su máxima capacidad.

Para el compresor ABC Horizon, cuyo caudal nominal es de 4005 Nm<sup>3</sup>/h, calculamos:

$$Q_{FAD} = 4005 \text{ Nm}^3/\text{h} \frac{308\text{K}}{273\text{K}} \frac{1.013 \text{ bar}}{0.9836 \text{ bar}}$$

$$Q_{FAD} = 4661 \text{ m}^3/\text{h}$$

El caudal que el compresor ABC Horizon puede ingresar a la red de aire comprimido en Huaral es de 4661 m<sup>3</sup>/h en su máxima capacidad.

Para los compresores ABC-1, ABC-2 y ABC Indonesia, que son del mismo

modelo, cuyo caudal nominal es de 2682 Nm<sup>3</sup>/h, calculamos:

$$Q_{FAD} = 2682 \text{ Nm}^3/\text{h} \frac{308\text{K} \ 1.013 \text{ bar}}{273\text{K} \ 0.9836 \text{ bar}}$$

$$Q_{FAD} = 3121 \text{ m}^3/\text{h}$$

El caudal que los compresores ABC-1, ABC-2 y ABC Indonesia pueden ingresar a la red de aire comprimido en Huaral es de 3121 m<sup>3</sup>/h en su máxima capacidad cada uno.

En resumen, los caudales FAD de los compresores son:

Tabla 3. Flujos reales de los compresores de aire de alta presión.

Compresor	Flujo FAD (m <sup>3</sup> /h)
Compresor ABC 4HP - 4 - LT	4,713
Compresor ABC 4HP - 4 - LT	3,094
Compresor ABC HORIZON 4700	3,094
Compresor ABC 4HP - 6 - LT	5,789
Compresor ABC 4HP - 4 - LT	3,094

#### 4.6.4. Demanda de Aire Comprimido de Alta Presión

Existirán 6 líneas de producción que producirán botellas PET, las cuales son la línea 24, línea 9, línea 20 y línea 22 que provienen de la planta de Huachipa y se les denominará de esa manera. Además, la línea Sidel Indonesia, proviene de la planta de esta empresa de alimentos con sede en Indonesia, y la línea Sidel Nueva, la cual fue adquirida en su totalidad.

El aire comprimido de alta presión es demandado exclusivamente por las sopladoras PET que se ubican en cada línea de producción. Cada uno tiene un modelo específico, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 4. Líneas de producción y modelos de sopladoras PET

Línea de producción	Sopladora PET
Línea 24	SIPA SFR24
Línea 9	TECH LONG CPX-12HS
Línea Sidel Nueva	Sidel SBO 10L
Línea Sidel Indonesia	Sidel SBO 34 XS HS ECO
Línea 20	SIPA SFR 20
Línea 22	KRONES S20

Recogeremos datos técnicos de los manuales y datos proporcionados por la empresa de alimentos que indican la demanda de aire comprimido de alta presión.

Revisamos el plano técnico de la línea 24 y tenemos la siguiente información:

HP COMPRESSED AIR							
DESCRIPTION DESCRIZIONE	FLOW DIRECTION	SIZE or O.D. [mm]	NORM	FORM	PEAK FLOW [Nm <sup>3</sup> /h]	GAUGE PRESSURE [bar]	TEMPERATUR E [°C]
BLOWING MACHINE SOFFIATRICE	Inlet Ingresso	DN40 [1"1/2]		Welded A saldare	4245	38	max 40

Figura 7. Datos técnicos de la sopladora SIPA SFR 24. Tomado de “ Plano técnico de línea 24”, por SIPA Berchi, 2013.

Podemos ver que, la sopladora SIPA SFR24 demanda 4245 Nm<sup>3</sup>/h a una presión de 38 bar y admite una temperatura máxima de 40°C.

Para la sopladora TECH LONG CPX-12HS, revisamos la hoja técnica proporcionada por la empresa de alimentos.

Consumo de soploadoras & llenadora de Tech Long (Revision-01)		
Potencia de planta: 3 fases: 440V/60HZ, voltaje monofásico: 220V/60HZ		
ITEMS	CPX-12HS	Observaciones
Potencia instalada (KW)	412	interruptor electrico: 541A
Potencia en operación (KW)	186	
Consumos de aire comprimido a alta presión (seco, libre de aceite y partículas)	21Nm <sup>3</sup> /minuto	Ese consumo se debería suministrar al equipo, con sistema de recuperación; No es capacidad del compresor, sin incluir pérdida de tubería
Presión de soplado para el formato de 500ml	35-40 bar	
Alimentador de preforma (KW)	Se han incluido	
Sistema de limpieza de preformas (KW) (aire ionizado + lámparas UV)	Se han incluido	

Figura 8. Datos técnicos de la sopladora TECH LONG – CPX-12HS. Tomado de “Ficha técnica de sopladora de línea 9”, por Tech Long, 2019.

Podemos ver que, el caudal demandado por esta sopladora es de 21 Nm<sup>3</sup>/min, el cual convertimos las unidades a 1260 Nm<sup>3</sup>/h. Además, admite aire comprimido en el rango de presiones 35 – 40 bar de presión.

La línea Sidel Nueva posee un plano técnico donde se muestran los requerimientos para la sopladora Sipa SBO 10L.

CA-40 NOMBRE FLUIDO SIDEL: AIRE COMPRIMIDO (40BAR)				
Máquina	Código de referencia conexión	Código en la placa de la máquina	Diámetro de Entrada	Presión de Entrada (Bar)
Formadora de botellas PET	CA-40 77.1a	El-20	Ø 1"1/2 BSPP F	42 Bar MAX

Presión de Salida (Bar)	Temperatura de Salida (°C)	Caudal (Nm <sup>3</sup> /h)	Notas
-	NO APLICABLE	767 - 2055	Altura de conexión = 4010 mm

Figura 9. Datos técnicos de la sopladora Sipa SBO 10L. Tomada de “Plano técnico de línea Sidel Nueva”, SIDEL Engineering & packaging solutions, 2021.

La sopladora Sipa SBO 10L demanda un rango de 767 a 2065 Nm<sup>3</sup>/h a una presión máxima de 42 bar.

Además, la calidad de aire solicitado por el plano técnico es 1:4:1 según la norma ISO 8375-1:2010, como se muestra en la siguiente figura:

**\*\*\* AIR QUALITY For BLOWER \*\*\***

! The air treatment components on the machine are not intended to replace the local air treatment equipment.

! Supply dry, completely oil-free air by means of an installation meeting the ISO 8573-1/2010 recommendation. The air circuits upstream from the machine must be protected by a discharge of safety valve.

! The values in the table below are taken from the ISO 8573-1/2010 recommendation.

	Service air (7 bar)	Blowing air (40 bar)
Solid contaminants	Class 7	Class 1
Water	Class 4 Dew-point at pressure: +3 °C	Class 4 Dew-point at pressure: +3 °C
Oil	Class 1	Class 1

Figura 10. Calidad de aire requerido por el plano técnico de sopladora Sipa SBO 10L. Tomada de "Plano técnico de línea Sidel Nueva", SIDEL Engineering & packaging solutions, 2021.

La sopladora Sidel SBO 34 XS HS ECO posee una hoja de datos técnicos.

<b>Sidel</b>		<b>ENERGY REQUIREMENT</b>		<b>SBO 34 XS Highspeedeco</b>	
<b>BOTTLE SPECIFICATIONS</b>					
Number of mould	mold	34	34		
Oven module lenght / Oven heating box number		0/28	0/28		
Loading one every other mould option		No	No		
Bottle/process characteristic		Still	Still		
Bottle volume	l	0.63	0.50		
mould output rate	B/h/m*	2,058	2,058		
Machine output	B/h*	69,972	69,972		
Bottle height under neck ring	mm	224	212		
Bottle weight	g	13	13		
*B/h/m = Bottle per hour per mould - B/h = Bottle per hour					
<b>PNEUMATIC REQUIREMENTS</b>					
For further information, please refer to chapter: "Air quality", in the Presentation Manual.					
<b>CHARACTERISTICS</b>					
High Pressure (blowing)	bar	25	25		
Low Pressure (service)	bar	7	7		
<b>CONSUMPTION (at the machine inlet)</b>					
<b>Without the air recovery option</b>					
<b>FALSO</b>					
High Pressure air consumption	Including vortex	(m <sup>3</sup> )/h **	1,859	1,640	
Low Pressure air consumption		(m <sup>3</sup> )/h **	648	637	
Bottle base cooling option	Air system (Vortex)	(m <sup>3</sup> )/h **	0	0	
TOTAL High Pressure air consumption		(m <sup>3</sup> )/h **	2,507	2,277	
<b>With the air recovery and 40/7 bar pressure reduction options</b>					
High Pressure air consumption	Including vortex	(m <sup>3</sup> )/h **	1,708	1,508	
Low Pressure air consumption*		(m <sup>3</sup> )/h **	259	299	
Bottle base cooling option	Air system (Vortex)	(m <sup>3</sup> )/h **	0	0	
TOTAL High Pressure air consumption		(m <sup>3</sup> )/h **	1,967	1,807	
<b>Low pressure air excess available for customer network (estimated)</b>					
		(m <sup>3</sup> )/h **	0	0	
*Without 40/7bar pressure reduction option, requirement of 7 bar for brakes, control actuators and first 3 turns of blow wheel (10 (m <sup>3</sup> )/h)					

Figura 11. Datos técnicos de la sopladora Sidel SBO 34 XS HS ECO. Tomado de "Ficha técnica de sopladora de línea Sidel Indonesia", SIPA Engineering & packaging solutions, 2020.

Donde podemos ver que, para un sistema sin recuperación de aire, la sopladora demanda un máximo de 1859 Nm<sup>3</sup>/h a 25 bar de presión.

La sopladora SIPA SFR20, posee una hoja de datos técnicos como podemos ver en la siguiente figura:

	<b>Scheda Tecnica / Machine Technical Data</b>	
	Modello/ Model Descr. SFR-20-EVO Revisione / Revision Data / Date 2 14/03/2008 11.24.00 Stato / State APPROVATO Da / By ERNESTO EUSEBIONE	Internal ref. 2008 - 00000004  Pag. 1 / 1

**MOLDES DE SOPLADO**

NUMERO CAVIDADES DE SOPLADO

N° 20

Número moldes de soplado

N° 20

**CARACTERISTICAS VARIAS**

Dimensiones LxBxH

m. 9,7x5,0x3,7

Peso Máquina

Kg 18.500

Peso Cabina

Kg 3.200

Peso tolva y volcador

Kg 3.000

Peso total máquina en régimen

Kg 24.700

Color standard

RAL 7.001

**ENERGIA ELÉCTRICA**

SISTEMA DE ALIMENTACION

3F + N + T

TENSION DE RED

V 400 (+10 -10%)

Frecuencia de red

Hz 50/60 (+2 -2%)

Potencia total instalada

KW 417

Factor de potencia (Cos fi) medio

0.99

**AIRE COMPRIMIDO PARA MOVILIZACION**

Nm<sup>3</sup>/h 110

Nm<sup>3</sup>/h 125

Nm<sup>3</sup>/h 135

Nm<sup>3</sup>/h 50

consumo aire para enfriamiento cuello (solo cuellos especiales)

**AIRE COMPRIMIDO PARA SOPLADO**

Presión soplado

Bar	20	30	40
-----	----	----	----

Consumo aire para recipiente de 0,25 lt

Nm <sup>3</sup> /h	792	1187	1583
--------------------	-----	------	------

Consumo aire para recipiente de 0,50 lt

Nm <sup>3</sup> /h	998	1496	1995
--------------------	-----	------	------

Consumo aire para recipiente de 1,00 lt

Nm <sup>3</sup> /h	1410	2114	2819
--------------------	------	------	------

Consumo aire para recipiente de 1,50 lt

Nm <sup>3</sup> /h	1822	2732	3643
--------------------	------	------	------

Consumo aire para recipiente de 2,00 lt

Nm <sup>3</sup> /h	2234	3350	4467
--------------------	------	------	------

Figura 12. Hoja de datos técnicos de sopladora SIPA SFR20. Tomado de “Ficha técnica de sopladora de línea 20”, SIPA Berchi, 2008, p. 1.

Podemos ver que, la demanda de la sopladora SIPA SFR20 da intervalos de consumo a diferentes presiones. Aplicando la regla de tres simple, podemos conocer que la demanda de aire comprimido de alta presión es de 3051 Nm<sup>3</sup>/h para una presión de 33.5 bar y un volumen de formato máximo de 1.5 Lt.

La sopladora KRONES S20, no posee una hoja de datos, por lo cual se ha tomado de referencia un método de cálculo aplicado por la empresa de alimentos para hallar la demanda de aire comprimido de la sopladora. La siguiente fórmula



se aplicó conociendo el caudal real demandado de la sopladora en la planta Huachipa.

$$Q_N = \frac{V_F \times C_p \times P_T \times F}{1000} \quad \dots (25)$$

Donde:

$V_F$  es el volumen del formato a producir, se expresa en Litros (L)

$C_p$  es la capacidad de producción del formato, se expresa en Botellas por hora (BPH)

$P_T$  es la presión de trabajo, se expresa en bar

F es un factor de aire de alta presión, cada sopladora tiene un factor diferente.

Como vemos, para aplicar la fórmula (25), debemos conocer los formatos, las velocidades de producción y las presiones de cada sopladora. En la siguiente tabla las podemos conocer:

Tabla 5. Datos de producción de las líneas en la planta Huachipa.

Línea	Producto	Formato (L)	Capacidad (BPH)	Presión de trabajo (bar)	Factor de aire alta	Consumo de aire (Nm3/h)
L20	GASEOSA	0.400	36000	33.5	1.7	820
L20	AGUA	1.000	28000	33.5	1.7	1595
L20	REFRESCO	0.200	36000	33.5	1.7	410
L20	AGUA	0.200	36000	33.5	1.7	410
L20	AGUA	0.500	36000	33.5	1.7	1025
L22	ENERGIZANTE	0.300	36000	33.5	1.7	615
L22	GASEOSA	1.500	24000	33.5	1.7	2050
L22	REFRESCO	1.500	24000	33.5	1.7	2050
L22	GASEOSA	1.000	30000	33.5	1.7	1709
L22	GASEOSA	0.500	36000	33.5	1.7	1025
L24	ISOTÓNICO	0.500	30000	38	4.2	2394
L24	ISOTÓNICO	0.500	30000	38	4.2	2394
L24	ISOTÓNICO	1.500	18000	38	4.2	4309
L24	ISOTÓNICO	0.520	18000	38	4.2	1494

Fuente: La empresa de alimentos

Estos factores fueron proporcionados por la empresa de alimentos. Sin embargo, para poder conocer los factores de las demás sopladoras, debemos despejar el factor aplicando la formula (25) con los datos nominales:

$$Q_N = \frac{V_F \times C_p \times P_T \times F}{1000}$$

Para la sopladora de la línea 9, en un formato de 0.5 L demanda 1260 Nm<sup>3</sup>/h a 38 bar. La empresa de alimentos refiere que, para este formato, se producirán 24000 BPH, por tanto:

$$1260 \text{ Nm}^3/\text{h} = \frac{0.5\text{L} \times 24000\text{BPH} \times 38\text{bar} \times F}{1000}$$

$$F = 2.8$$

Para la sopladora de la línea Sidel Nueva, recopilamos los datos calculados por Sidel:

2 Compressed air (high pressure 40 bar)			
2.1	Nominal flow (with AirEco2)	1.000 ml	581 Nm <sup>3</sup> /h
2.2	Pressure		28 bar
2.3	Nominal flow (with AirEco2)	2.500 ml	1.538 Nm <sup>3</sup> /h
2.4	Pressure		30 bar
2.5	Nominal flow (with AirEco2)	3.785 ml	1.764 Nm <sup>3</sup> /h
2.6	Pressure		30 bar
2.7	Nominal flow (with AirEco2)	3.000 ml	1.201 Nm <sup>3</sup> /h
2.8	Pressure		30 bar
2.9	Nominal flow (with AirEco2)	1.700 ml	868 Nm <sup>3</sup> /h
2.10	Pressure		28 bar
2.11	Nominal flow (with AirEco2)	2.500 ml	1.106 Nm <sup>3</sup> /h
2.12	Pressure		28 bar
2.13	Nominal flow (with AirEco2)	3.000 ml	1.151 Nm <sup>3</sup> /h
2.14	Pressure		30 bar

Figura 13. Datos de producción calculados por Sidel. Tomado de “Lista de utilities de línea Sidel Nueva”, SIDEL Engineering & packaging solutions , 2021, p. 1.

Para la mayor demanda, la velocidad de producción es de 19000 BPH, por tanto:

$$1764 \text{ Nm}^3/\text{h} = \frac{3.785 \text{ L} \times 19000 \text{ BPH} \times 30 \text{ bar} \times F}{1000}$$

$$F = 0.8$$

Para la sopladora de la línea Sidel Indonesia, en un formato de 0.63L demanda 1859 Nm<sup>3</sup>/h a 25 bar a una velocidad de producción de 69972 BPH:

$$1859 \text{ Nm}^3/\text{h} = \frac{0.63 \text{ L} \times 69972 \text{ BPH} \times 25 \text{ bar} \times F}{1000}$$

$$F = 1.7$$

Se muestran los ritmos de producción y formatos de la nueva planta, aplicando la fórmula (25) y los factores calculados, se tiene:

Tabla 6. Formatos, velocidades de producción y demandas calculadas de aire comprimido de la nueva planta

Línea	Producto	Formato (L)	Capacidad (BPH)	Presión de trabajo (bar)	Factor de aire alta	Consumo de aire (Nm <sup>3</sup> /h)
L24	ISOTÓNICO	1.500	18000	38	4.2	4309
L24	ISOTÓNICO	0.500	30000	38	4.2	2394
L24	ISOTÓNICO	0.500	30000	38	4.2	2394
L24	ISOTÓNICO	0.520	18000	38	4.2	1494
L9	ISOTÓNICO	0.500	24000	38	2.8	1259
L9	ISOTÓNICO	0.500	24000	38	2.8	1259
L9	ISOTÓNICO	0.475	24000	38	2.8	1196
L9	ISOTÓNICO	0.300	24000	38	2.8	755
L9	ISOTÓNICO	0.450	24000	38	2.8	1133
L9	ISOTÓNICO	0.450	24000	38	2.8	1133
L NUEVA	AGUA	2.500	26300	33.5	0.8	1717
L NUEVA	GASEOSA	2.500	26300	33.5	0.8	1717
L NUEVA	GASEOSA	3.300	16800	33.5	0.8	1448
L NUEVA	AGUA	3.300	16800	33.5	0.8	1448
L NUEVA	AGUA	1.000	27700	33.5	0.8	724

L NUEVA	GASEOSA	1.700	25500	33.5	0.8	1132
L NUEVA	REFRESCO	3.000	16100	33.5	0.8	1262
L INDONESIA	AGUA	0.625	69000	33.5	1.7	2456
L INDONESIA	REFRESCO	0.500	69000	33.5	1.7	1965
L20	GASEOSA	1.500	24000	33.5	1.7	2050
L20	REFRESCO	1.500	24000	33.5	1.7	2050
L20	GASEOSA	1.035	28000	33.5	1.7	1650
L20	GASEOSA	1.000	28000	33.5	1.7	1595
L20	GASEOSA	0.500	36000	33.5	1.7	1025
L20	AGUA	0.650	36000	33.5	1.7	1333
L22	GASEOSA	0.400	36000	33.5	1.7	820
L22	ENERGIZANTE	0.300	36000	33.5	1.7	615
L22	ENERGIZANTE	0.450	36000	33.5	1.7	923

En resumen, según el cálculo por fórmula, se tiene los siguientes consumos máximos por línea de producción:

Tabla 7. Consumos máximos calculados por línea de producción

LINEA	CONSUMO MÁXIMO (NM <sup>3</sup> /H)
Línea 24	4309
Línea 9	1259
Línea Sidel Nueva	1717
Línea Sidel Indonesia	2456
Línea 20	2050
Línea 22	923

Ya que tenemos datos técnicos de los fabricantes y las demandas calculadas por medio de fórmulas, debemos escoger el valor máximo de cada sopladora utilizando el criterio que una sopladora no funcionará correctamente si ingresa mayor o menor flujo de aire comprimido que el requerido según los datos técnicos de los fabricantes. Además, algunas sopladoras funcionan a su capacidad máxima y otras no, la demanda de aire comprimido de alta presión a condiciones normales de las sopladoras es:

Tabla 8. Consumos máximos de las líneas de producción a condiciones normales

AREAS O USUARIOS	PRESIÓN DE OPERACIÓN	CONSUMO
	(BAR)	(NM3/H)
Línea Sidel Nueva	33.5	1,717
Línea Sidel Indonesia	33.5	2,456
Línea 24	38.0	4,245
Línea 9	38.0	1,260
Línea 20	33.5	3,051
Línea 22	33.5	923.0

A solicitud de la empresa de alimentos, el factor de simultaneidad es 0.85. Sin embargo, para una mejor proyección a futuro, el factor de simultaneidad podremos considerarlo de 0.9. Además, el factor de reserva aplicado al diseño es de 10% de la demanda de aire por posibles fugas y ampliaciones en la demanda. Por tanto, con estos factores, la demanda de aire comprimido de las sopladoras es:

Tabla 9. Consumos máximos corregidos de las líneas de producción a condiciones normales

AREAS O USUARIOS	PRESIÓN DE OPERACIÓN	CONSUMO	CONSUMO + RESERVA 10%
	(BAR)	(NM3/H)	(NM3/H)
Línea Sidel Nueva	33.5	1,717	1,700
Línea Sidel Indonesia	33.5	2,456	2,431
Línea 24	38.0	4,245	4,203
Línea 9	38.0	1,260	1,247
Línea 20	33.5	3,051	3,020
Línea 22	33.5	923.0	913.8

Aplicando la fórmula (19) a los consumos corregidos, obtenemos los consumos de aire comprimido a las condiciones del sitio de operación:

Tabla 10. Consumos máximos de las líneas de producción a condiciones de sitio

AREAS O USUARIOS	PRESIÓN DE OPERACIÓN (BAR)	CONSUMO (Nm3/h)	CONSUMO + RESERVA 10% (Nm3/h)	CONSUMO CORREGIDO A.C.S. (m3/h)
Línea Sidel Nueva	33.5	1,717	1,700	2,086
Línea Sidel Indonesia	33.5	2,456	2,431	2,983
Línea 24	38.0	4,245	4,203	5,157
Línea 9	38.0	1,260	1,247	1,531
Línea 20	33.5	3,051	3,020	3,706
Línea 22	33.5	923.0	913.8	1121.2

#### 4.6.5. Condiciones de Diseño

Las condiciones de diseño de la red de tuberías se refieren en esta investigación a tres parámetros: Presión y Velocidad.

La presión de diseño es la presión de generación de los compresores, la cual es la máxima que es el valor de 40 bar.

La velocidad de diseño recomendadas por CAGI (2021), para tuberías de salida de compresores es de 20 pies/s equivalente a 6.1 m/s. Para tuberías de distribución es de 30 pies/s equivalente a 9.1 m/s. Para acometidas hacia los equipos es de 50 pies/s equivalente a 15.2 m/s. En esta investigación, usaremos este parámetro de referencia.

Adicional a estos parámetros, incluiremos una recomendación sobre la caída de presión de la empresa ATLAS COPCO (2014):

Caída de presión en las tuberías de servicio	0,03 bar
Caída de presión en las tuberías de distribución	0,05 bar
Caída presión en tuberías verticales	0,02 bar
Caída de presión total en la instalación de tuberías fijas	0,10 bar

Figura 14. Caídas de presión recomendada para una presión de generación de 7 Bar. Tomado de “Manual del Aire Comprimido”, por Atlas Copco, 2014, p. 92.

Además, según Carnicer (1991), menciona que, la caída de presión recomendada en las tuberías totales es del 2% de la presión de generación de los compresores.

Es decir, para una presión de soplado de 40 Bar, la caída de presión admisible es de 0.8 Bar a lo largo de todas las tuberías hasta el punto de consumo. Añadiendo la recomendación de ATLAS COPCO, se tiene que:

Tabla 11. Caídas de presión recomendadas en las tuberías

Caída de presión en las tuberías de servicio.	0.24
Caída de presión en las tuberías de distribución.	0.4
Caída de presión en ramal principal.	0.16
Caída de presión total en la instalación de tuberías fijas.	0.8

#### 4.6.6. Conjuntos de Compresores y Sopladoras

Ya que hemos calculado el flujo de aire comprimido generado por parte de los compresores y demandado por parte de las sopladoras, conocemos que las sopladoras trabajarán a dos presiones de 38 y 33.5 bar. Por tanto, se requiere separar los compresores dependiendo de su presión de soplado máximo y su capacidad de generación que satisfaga a las sopladoras correspondientes.

De las tablas (2) y (9), podemos seleccionar los compresores para dos redes de aire comprimido a sus presiones respectivas:

Tabla 12. Flujo de generación y demanda de aire comprimido para la red de aire a 38 Bar

	Línea 24 (m3/h)	Línea 9 (m3/h)	TOTAL (m3/h)
RED 1 –	5157	1531	6687
38 Bar	Compresor ABC-2 (m3/h)	Compresor ABC-4 (m3/h)	TOTAL (m3/h)
	3121	5983	9104

Podemos ver que, la capacidad de generación es mayor a la demanda por 2417 m3/h de diferencia, que representa un 26.5% como reserva adicional.

Tabla 13. Flujo de generación y demanda de aire comprimido para la red de aire a 33.5 Bar

	Línea Nueva (m3/h)	Sidel Indonesia (m3/h)	Línea 20 (m3/h)	Sidel ABC (m3/h)	Línea 22 (m3/h)	TOTAL (m3/h)
RED 2 –	2086	2983	3706	1121	9896	
33.5 Bar	Compresor ABC-1 (m3/h)	Compresor Horizon (m3/h)	Compresor Indonesia (m3/h)	ABC	ABC	TOTAL (m3/h)
	3121	4661	3121			10903



Podemos ver que, la capacidad de generación es mayor a la demanda por 1007 m<sup>3</sup>/h de diferencia, que representa un 9.2% como reserva adicional.

#### 4.6.7. Distribución de Tuberías de la Red

Existen dos configuraciones para distribuir el aire hacia los equipos usuarios, una distribución abierta y una distribución cerrada. Como hemos visto en el inciso (2.3.5 Tipos de Diseño de Red de Tuberías), existen autores a favor de ambas configuraciones. En esta investigación, a solicitud del cliente, se diseñó la red de tuberías en configuración cerrada con un anillo de tuberías para cada presión.

A partir de esta configuración, se diseña la configuración final que se muestra en el anexo 1.

#### 4.6.8. Selección de Materiales de Tuberías y Accesorios

Para la selección del material de tuberías, debemos tener en cuenta los puntos de ventaja y desventaja de los materiales disponibles. Este punto se desarrolló en el inciso 2.3.7 Tipos de Material de Tuberías, donde se escogió las tuberías de acero inoxidable.

Para especificar las tuberías, nos ayudaremos de la distribuidora Fiorella Representaciones S.A.C., donde nos muestra las propiedades mecánicas de sus tuberías. Estas propiedades se muestran en el anexo 14, donde podemos ver que las tuberías resistirán una presión de trabajo de 40 Bar.

Entonces, las tuberías serán de Acero Inoxidable ASTM A312 AISI 304 Sch 40.

Para las conexiones de tuberías, separaremos las especificaciones de los codos, tees, uniones, bridas, etc. Además, seleccionaremos los materiales más comerciales.

Para seleccionar las bridas, nos apoyaremos en la norma ASME B16.5 (2009), donde nos refiere que;

**Table 2-1.7 Pressure–Temperature Ratings for Group 1.7 Materials**

Nominal Designation	Forgings	Castings	Plates
$\frac{1}{2}\text{Cr}-\frac{1}{2}\text{Mo}$	A 182 Gr. F2 (1)	...	...
$\text{Ni}-\frac{1}{2}\text{Cr}-\frac{1}{2}\text{Mo}$	...	A 217 Gr. WC4 (1)–(3)	...
$\frac{3}{4}\text{Ni}-\frac{3}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$	...	A 217 Gr. WC5 (2), (3)	...

Working Pressures By Classes, bar							
Temp., °C	Class						
	150	300	400	600	900	1500	2500
–29 to 38	19.8	51.7	68.9	103.4	155.1	258.6	430.9
50	19.5	51.7	68.9	103.4	155.1	258.6	430.9
100	17.7	51.5	68.7	103.0	154.6	257.6	429.4
150	15.8	50.3	66.8	100.3	150.6	250.8	418.2
200	13.8	48.6	64.8	97.2	145.8	243.4	405.4
250	12.1	46.3	61.7	92.7	139.0	231.8	386.2
300	10.2	42.9	57.0	85.7	128.6	214.4	357.1
325	9.3	41.4	55.0	82.6	124.0	206.6	344.3
350	8.4	40.3	53.6	80.4	120.7	201.1	335.3
375	7.4	38.9	51.6	77.6	116.5	194.1	323.2
400	6.5	36.5	48.9	73.3	109.8	183.1	304.9
425	5.5	35.2	46.5	70.0	105.1	175.1	291.6
450	4.6	33.7	45.1	67.7	101.4	169.0	281.8
475	3.7	31.7	42.3	63.4	95.1	158.2	263.9
500	2.8	26.7	35.6	53.4	80.1	133.4	222.4
538	1.4	13.9	18.6	27.9	41.8	69.7	116.2
550	...	12.6	16.8	25.2	37.8	63.0	105.0
575	...	7.2	9.6	14.4	21.5	35.9	59.8

Figura 15. Tabla de presión-temperatura para material ASME A182-F. Tomado de “Pipe Flanges and Flanged Fittings NPS ½ Through NPS 24 Metric/Inch Standard. B16.5”, por ASME, 2009, p. 39.

Viendo la tabla de la norma ASME B16.5, podemos seleccionar la clase de las bridas y los demás accesorios, ya que, las bridas de clase 300 para una temperatura menor de 100°C, están diseñados para una presión de trabajo mayor que la presión de diseño de la red de tuberías (40 Bar).

Por tanto, la especificación de las bridas y bridas ciegas es acero inoxidable ASTM A182-F AISI 304 de clase 300 según ASME B16.5. Para este material, la

rugosidad es de 0.002 mm, según el anexo 15, no se calcula una rugosidad ya que no existe un estándar determinado.

La cantidad de espárragos para las bridas depende del diámetro de la brida, según la norma ASME B16.5, se muestra que:

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Nominal Pipe Size, NPS	Outside Diameter of Flange, O	Drilling [Notes (2), (3)]				Length of Bolts, L [Notes (1), (4)]		
		Diameter of Bolt Circle, W	Diameter of Bolt Holes, in.	Number of Bolts	Diameter of Bolts, in.	Stud Bolts [Note (1)]		Machine Bolts
						2-mm Raised Face	Ring Joint	2-mm Raised Face
1/2	95	66.7	5/8	4	1/2	65	75	55
3/4	115	82.6	3/4	4	5/8	75	90	65
1	125	88.9	3/4	4	5/8	75	90	65
1 1/4	135	98.4	3/4	4	5/8	85	95	70
1 1/2	155	114.3	7/8	4	3/4	90	100	75
2	165	127.0	3/4	8	5/8	90	100	75
2 1/2	190	149.2	7/8	8	3/4	100	115	85
3	210	168.3	7/8	8	3/4	110	120	90
3 1/2	230	184.2	7/8	8	3/4	110	125	95
4	255	200.0	7/8	8	3/4	115	125	95
5	280	235.0	7/8	8	3/4	120	135	110
6	320	269.9	7/8	12	3/4	120	140	110
8	380	330.2	1	12	7/8	140	150	120
10	445	387.4	1 1/8	16	1	160	170	140
12	520	450.8	1 1/4	16	1 1/8	170	185	145
14	585	514.4	1 1/4	20	1 1/8	180	190	160
16	650	571.5	1 3/8	20	1 1/4	190	205	165
18	710	628.6	1 3/8	24	1 1/4	195	210	170
20	775	685.8	1 3/8	24	1 1/4	205	220	185
24	915	812.8	1 3/8	24	1 1/2	230	255	205

Figura 16. Tabla de número de espárragos para bridas de clase 300. Tomada de "Pipe Flanges and Flanged Fittings NPS 1/2 Through NPS 24 Metric/Inch Standard. B16.5", por ASME, 2009, p. 91.

Las empaquetaduras entre bridas serán de clase 300, espesor de 0.0625", de material fibra orgánica y nitrilo, diseñado según ASME B16.21.

Para seleccionar los codos, la especificación de es, material acero inoxidable ASTM A403 AISI 304 de Schedule 40 diseñado según ASME B16.9.

Las tees serán de acero inoxidable ASTM A403 AISI 304 de Schedule 40 diseñado según ASME B16.9.

Las tees reducidas serán de acero inoxidable ASTM A312 AISI 304 de Schedule 40 diseñado según ASME B16.9.

Las uniones serán de acero inoxidable ASTM A182 AISI 304 de clase 300 diseñado según ASME B16.11.

Las reducciones concéntricas y excéntricas serán de material ASTM A403 AISI 304 de Schedule 40 diseñado según ASME B16.9.

Los cap serán de material ASTM A403 AISI 304 de Schedule 40 diseñado según ASME B16.9.

#### 4.6.9. Dimensionamiento de Tuberías

Para el dimensionamiento de las tuberías, debemos considerar la presión del aire comprimido que pasa por la tubería. Para ellos, después de conocer la presión de generación de los compresores, la empresa de alimentos proporcionó un cuadro de pérdidas de carga a causa de los secadores y filtros de los compresores de aire. Esta tabla se muestra a continuación:

Tabla 14. Caídas de presión de Secadores y Filtros incluidos en los compresores de aire en Bar.

COMPONENTE	ABC2	ABC4	ABC1	INDONESIA	HORIZON
SECADOR	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
FILTRO CARBON	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2
FILTRO COALESCENTE	0.2	0.3	0.2	0.2	0.3
TOTAL	1.6	1.7	1.2	1.2	1.3

Como podemos ver, tenemos caídas mayores a 1 Bar de presión por los componentes de los compresores. Por lo cual, las presiones reales a la salida del conjunto de compresores son:

Tabla 15. Tabla de presión de generación y presión real de salida en Bar.

Compresor	Presión de generación (Bar)	Caída de presión por componentes (Bar)	Presión real de salida (Bar)
ABC-2	40.3	1.6	38.7
ABC-4	40.4	1.7	38.7
ABC-1	35	1.2	33.8
ABC INDONESIA	35	1.2	33.8
ABC HORIZON	35.1	1.3	33.8

Teniendo la presión real que sale de los compresores, podremos iniciar a calcular los diámetros de las tuberías principales, nos referimos a las tuberías que nacen de los compresores. Para esto, necesitamos saber el caudal de aire comprimido a la presión de la tubería.

Utilizamos la fórmula (18), acondicionada para esta situación

$$Q = Q_N \frac{T}{T_N} \frac{P_N}{P}$$

Para la salida del compresor ABC-2:

$$Q_{ABC-2 \text{ a } 38.7 \text{ bar}} = \frac{2682 \text{ Nm}^3/\text{h}}{3600} \frac{308 \text{ K}}{273 \text{ K}} \frac{1.013 \text{ Bar}}{38.7 \text{ Bar}}$$

$$Q_{ABC-2 \text{ a } 38.7 \text{ bar}} = 0.0214 \text{ m}^3/\text{s}$$

Luego, utilizando la ecuación (17):

$$Q_{ABC-2 \text{ a } 38.7 \text{ bar}} = \frac{V \pi D_i^2}{4}$$

En este caso, colocamos la velocidad de diseño para tuberías principales, recordamos que es 6 m/s. Por tanto:

$$0.0214 \text{ m}^3/\text{s} = \frac{6\pi D_i^2}{4}$$

$$D_i = 0.0675 \text{ m} = 67.5 \text{ mm}$$

Este valor de diámetro interno es el mínimo requerido para la velocidad de diseño, sin embargo, no es un diámetro comercial. Por tanto, comparamos e igualamos este valor al inmediato superior de un catálogo de tuberías del material escogido.

Diámetro Nominal	Dimen. Exterior	SCH-10S		SCH-40S		SCH-80S	
		Espesor Nominal	Peso	Espesor Nominal	Peso	Espesor Nominal	Peso
Pulgadas	mm	mm	kg/m	mm	kg/m	mm	kg/m
1/4	13.7	1.65	0.49	2.24	0.63	3.02	0.80
3/8	17.1	1.65	0.63	2.31	0.85	3.20	1.09
1/2	21.3	2.11	1.00	2.77	1.27	3.73	1.62
3/4	26.7	2.11	1.28	2.87	1.69	3.91	2.20
1	33.4	2.77	2.09	3.38	2.50	4.55	3.24
1 1/4	42.2	2.77	2.69	3.56	3.39	4.85	4.47
1 1/2	48.3	2.77	3.11	3.68	4.05	5.08	5.41
2	60.3	2.77	3.93	3.91	5.45	5.54	7.49
2 1/2	73.0	3.05	5.27	5.16	8.64	7.01	11.42
3	88.9	3.05	6.46	5.49	11.30	7.62	15.28
4	114.3	3.05	8.37	6.02	16.09	8.56	22.34
5	141.3	3.40	11.6	6.56	21.8	9.53	31.0
6	168.3	3.40	13.85	7.11	28.28	10.97	42.60
8	219.1	3.76	19.98	8.18	42.57	12.70	64.69
10	273.0	4.19	27.88	9.27	60.36	12.70	81.6
12	323.8	4.57	36.08	9.53	73.9	12.70	97.4
14	355.6	4.78	41.3	9.53	81.3	12.70	107.4
16	406.4	4.78	47.3	9.53	93.3	12.70	123.3

Figura 17. Tabla de diámetros comerciales de acero inoxidable según Schedule. Tomado de “Tubo Acero Sch40 sin costura”, por Fiorella Representaciones S.A.C., 2010, p. 3.

Vemos que no se muestra directamente el valor del diámetro interno. Por tal motivo, hallamos este valor restando el valor del espesor nominal al diámetro exterior

Tabla 16. Tabla de diámetros internos de tuberías comerciales de acero inoxidable.

Diámetro Nominal	Diámetro Exterior	SCH-40S		
		Espesor Nominal	Peso	Diámetro Interno
Pulgadas	mm	mm	kg/m	mm
1/2	21.3	2.77	1.27	15.76
3/4	26.7	2.87	1.69	20.96
1	33.4	3.38	2.5	26.64
1 1/2	48.3	3.68	4.05	40.94
2	60.3	3.91	5.45	52.48
2 1/2	73	5.16	8.64	62.68
3	88.9	5.49	11.3	77.92
4	114.3	6.02	16.09	102.26
6	168.3	7.11	28.28	154.08
8	219.1	8.18	42.57	202.74
10	273	9.27	60.36	254.46
12	323.8	9.53	73.9	304.74
14	355.6	9.53	81.3	336.54
16	406.4	9.53	93.3	387.34
18	457.2	9.53	105.2	438.14
20	508	9.53	117.2	488.94
22	558.8	9.53	129.1	539.74
24	609.6	9.53	141.1	590.54

Nota: Nótese que, en la presente tabla, se eliminó los diámetros nominales de 1/4", 3/8", 1 1/4" y 5", ya que estos diámetros no se utilizarán en la investigación.

Comparando el valor del diámetro interno 67.5mm con la tabla 15, podemos seleccionar la tubería de diámetro interno 77.92mm a la cual le corresponde el diámetro nominal de 3".

Este valor lo comprobamos mediante la norma ASME B31.3, que nos brinda la formula (22):

$$t = \frac{PD}{2(SEW + PY)}$$

Donde, según la tabla 302.3.5 de la norma, el valor  $W$  será de 0.82. Según la tabla 304.1.1 de la norma, el valor de  $Y$  será de 0.4. Según la tabla A-1, para el acero inoxidable ASTM A312 AISI 304, el valor de  $S$  será de 20 Ksi equivalente 1378 bar. Según la tabla A-1B de la norma, el valor de  $E$  es de 0.85.

Reemplazando los valores para una presión de diseño de 40 bar, se tiene los siguientes resultados.:

Tabla 17. Diámetro mínimo requerido para 40 Bar según Norma Asme B31.3

Diámetro Nominal	Diámetro Exterior	SCH-40S Espesor Requerido
Pulgadas	mm	mm
1/2	21.3	0.33
3/4	26.7	0.44
1	33.4	0.56
1 1/2	48.3	0.86
2	60.3	1.10
2 1/2	73	1.32
3	88.9	1.64
4	114.3	2.15
6	168.3	3.24
8	219.1	4.26
10	273	5.34
12	323.8	6.40
14	355.6	7.07
16	406.4	8.13

Realizando una comparación entre la tabla 15 y 16, podemos ver que, todos los diámetros de tubería utilizados en el presente diseño, admiten la presión de 40 bar, según la norma ASME B31.3.

Luego, recalculamos la velocidad del fluido por la tubería con el diámetro real, para ello, utilizamos la fórmula (21):



$$V = \frac{4Q_{ABC-2 a 38.7 \text{ bar}}}{\pi D_i^2}$$

$$V = \frac{4 * 0.0214 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi(0.0779\text{m})^2}$$

$$V = 4.5 \text{ m/s}$$

Hallamos el número de Reynolds con la ecuación (3):

$$Re = \frac{\rho V_{prom} D}{\mu}$$

En este caso, la densidad usada será la resultante de la ecuación (1):

$$\rho = \frac{P}{TR}$$

La constante del aire lo tomaremos de la siguiente tabla:

TABLA A-1					
Masa molar, constante de gas y calores específicos de gas ideal de algunas sustancias					
Sustancia	Masa molar <i>M</i> , kg/kmol	Constante de gas <i>R</i> , kJ/kg · K*	Datos de calores específicos a 25 °C		
			<i>c<sub>p</sub></i> , kJ/kg · K	<i>c<sub>v</sub></i> , kJ/kg · K	<i>k</i> = <i>c<sub>p</sub></i> / <i>c<sub>v</sub></i>
Aire	28.97	0.2870	1.005	0.7180	1.400
Amoniaco, NH <sub>3</sub>	17.03	0.4882	2.093	1.605	1.304
Argón, Ar	39.95	0.2081	0.5203	0.3122	1.667
Bromo, Br <sub>2</sub>	159.81	0.05202	0.2253	0.1732	1.300
<i>n</i> -Butano, C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	58.12	0.1430	1.694	1.551	1.092
Cloro, Cl <sub>2</sub>	70.905	0.1173	0.4781	0.3608	1.325
Clorodifluorometano (R-22), CHClF <sub>2</sub>	86.47	0.09615	0.6496	0.5535	1.174
Dióxido de azufre, SO <sub>2</sub>	64.06	0.1298	0.6228	0.4930	1.263
Dióxido de carbono, CO <sub>2</sub>	44.01	0.1889	0.8439	0.6550	1.288
Dióxido de nitrógeno, NO <sub>2</sub>	46.006	0.1889	0.8060	0.6171	1.306
Etano, C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	30.070	0.2765	1.744	1.468	1.188
Etileno, C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	28.054	0.2964	1.527	1.231	1.241
Fluor, F <sub>2</sub>	38.00	0.2187	0.8237	0.6050	1.362
Helio, He	4.003	2.077	5.193	3.116	1.667
<i>n</i> -Heptano, C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	100.20	0.08297	1.649	1.566	1.053
<i>n</i> -Hexano, C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	86.18	0.09647	1.654	1.558	1.062
Hidrógeno, H <sub>2</sub>	2.016	4.124	14.30	10.18	1.405
Isobutano, C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	58.12	0.1430	1.663	1.520	1.094
Kriptón, Kr	83.80	0.09921	0.2480	0.1488	1.667
Metano, CH <sub>4</sub>	16.04	0.5182	2.226	1.708	1.303

Figura 18. Tabla de masa molar, constante de gas y calores específicos de algunas sustancias. Tomado de "Termodinámica", por Cengel y Cimbala, 2018, p. 969.

Entonces, la densidad del aire calculado lo presentamos en la siguiente tabla:

Tabla 18. Densidad del aire a diferentes presiones

Presión	Densidad a 35°C
bar	Kg/m3
33	37.324
33.5	37.890
33.6	38.003
33.7	38.116
33.8	38.229
33.9	38.342
34	38.456
34.8	39.360
34.9	39.473
35	39.587
35.1	39.700
38	42.980
38.1	43.093
38.2	43.206
38.3	43.319
38.4	43.432
38.5	43.545
38.6	43.658
38.7	43.771
38.8	43.885
39	44.111
39.4	44.563
39.5	44.676
39.6	44.789
39.9	45.129

40	45.242
41	46.373

Usando los valores de la tabla 17:

$$Re = \frac{43.771 \frac{kg}{m^3} \times 4.5 \frac{m}{s} \times 0.0779m}{0.0000186 Pa \cdot s}$$

$$Re = 824620.76$$

Este valor del número de Reynolds es mayor a 4000, por tanto, es un flujo turbulento. Entonces, para hallar el factor de pérdidas utilizamos la ecuación (8):

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2.0 \log\left(\frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}}\right)$$

$$f = \frac{1}{\left(-2 \log\left(\frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f_{asumido}}}\right)\right)^2}$$

Para este cálculo,  $f_{asumido}$  tendrá un valor de 0.9 y el valor de la rugosidad es de 0.002 mm. Con estos valores, hallamos el factor de fricción real.

$$f = \frac{1}{\left(-2 \log\left(\frac{0.00005m/0.0779m}{3.7} + \frac{2.51}{824620.76\sqrt{0.9}}\right)\right)^2}$$

$$f = 0.015507$$

Luego, teniendo en cuenta la ecuación (5):

$$\frac{P_1}{\rho g} + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + h_L$$

Y sabiendo que, la velocidad en un tramo de tubería es constante (promedio) y no varía la altura ya que son tuberías horizontales, la ecuación quedaría:

$$h_L = \frac{P_1}{\rho g} - \frac{P_2}{\rho g} = \frac{\Delta P}{\rho g}$$

Esta expresión, igualada con la ecuación (9), se desarrolla:

$$h_L = \left(f \frac{L}{D}\right) \frac{V^2}{2g} = \frac{\Delta P}{\rho g}$$

$$\Delta P = \left(f \frac{L \rho}{D}\right) \frac{V^2}{2} \quad \dots (26)$$

Utilizaremos la ecuación (26) para hallar las caídas de presión de la tubería del compresor ABC-2. Además, según el anexo 3, la longitud de la tubería de salida del compresor ABC-2 es de 5 metros hasta llegar a las tuberías colectoras. Para calcular la caída de presión de esta zona, se adiciona un 10% a la longitud de tubería real por pérdidas de accesorios y conexiones, obtenemos la longitud de tubería equivalente con un valor de 6 metros aproximadamente.

$$\Delta P = \left(0.015507 \frac{6m \times 43.771 \frac{kg}{m^3}}{0.0779m}\right) \frac{(4.5 \frac{m}{s})^2}{2}$$

$$\Delta P = 571.36 Pa \times \frac{1 Bar}{100000 Pa} = 0.005 Bar$$

De igual manera realizamos los cálculos para las tuberías de los demás compresores. Lo que nos arroja de resultado los siguientes valores:

Tabla 19. Diámetros de tuberías principales en pulgadas.

RECORRIDO DE TUBERIA	AREA / USUARIO / EQUIPO	FLUJO (Nm <sup>3</sup> /h)	FLUJO A PRESIÓN (m <sup>3</sup> /s)	PRESIÓN DE TRABAJO (Bar)	DIAM. INICIAL (mm)	DIAM. INT. DE TUBERIA ESTANDAR (mm) (pulg)	VELOCIDAD (m/s)	LONG. DE TUBERÍA (m)	LONG. EQUIVAL. (m)	ΔP Bar
Recorrido de tubería N°1 (Salida de compresores)										
Salida de compresor ABC-2	Compresor ABC 4HP - 4 - LT	2,682	0.0214	38.7	67.5	77.9 3	4.50	5	6	0.005
Salida de compresor Indonesia	Compresor ABC 4HP - 4 - LT	2,682	0.0245	33.8	72.1	77.9 3	5.13	5	6	0.006
Salida de compresor Horizon	Compresor ABC HORIZON 4700	4,005	0.0365	33.8	88.1	102.3 4	4.45	5	6	0.003
Salida de compresor ABC-4	Compresor ABC 4HP - 6 - LT	5,141	0.0411	38.7	93.4	102.3 4	5.01	5	6	0.004
Salida de compresor ABC-1	Compresor ABC 4HP - 4 - LT	2,682	0.0245	33.8	72.1	77.9 3	5.13	5	6	0.006

Para corroborar que el dimensionamiento es el adecuado, comprobamos que la caída de presión de cada uno de las tuberías principales es menor a 0.02 bar y las velocidades de fluido en las tuberías principales es menor a 6 m/s.

Además, las pérdidas de las tuberías desde la sala de generación de aire comprimido hasta las sopladoras en las líneas de producción son las que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 20. Pérdidas de presión totales de la red de tuberías.

Línea de producción	Pérdida (Bar)
Línea 24 - SIPA SFR24	0.678
Línea 9 - TECH LONG	0.696
Línea Nueva Sidel - SBO 10L	0.186
Línea Indonesia - SBO 34 XS HS ECO	0.178
Línea 20 - SIPA SFR20	0.153
Línea 22 - KRONES S20	0.181

Como vemos, la caída de presión calculada en la red de tuberías representa el 1.7% de la presión de generación, que es menor al 2% recomendado.

Por último, la demanda de aire comprimido a 33.5 bar es de 9896 m<sup>3</sup>/h, que será satisfecha por los compresores ABC-1, ABC Horizon y ABC Indonesia cuya capacidad de generación es de 10903 m<sup>3</sup>/h, quedando un excedente de 1007 m<sup>3</sup>/h que representa el 9.2% de la capacidad de generación. Y la demanda de aire comprimido a 38 bar es de 6687 m<sup>3</sup>/h, que será satisfecha por los compresores ABC-2 y ABC-4 cuya capacidad de generación es de 9104 m<sup>3</sup>/h, quedando un excedente de 2417 m<sup>3</sup>/h que representa el 26.5% de la capacidad de generación.

#### 4.6.10. Selección de Accesorios

Para la selección del flujómetro, tendremos en cuenta la presión de trabajo y el tipo de flujo que atravesará al accesorio. Al ser aplicado a aire comprimido de alta presión, el tipo de flujómetro recomendado es un flujómetro Vórtex en material de acero inoxidable. Se considera el flujómetro Vórtex modelo Proline Prowirl F 200 de marca Endress Hauser, su ubicación será en las tuberías

colectoras de los compresores hacia los anillos.

Las dimensiones de los flujómetros dependen de del flujo de aire comprimido que atraviesa las tuberías, según la siguiente imagen:

*Flow measuring ranges in US units*

DN	Liquids	Gas/steam
[in]	[ft <sup>3</sup> /min]	[ft <sup>3</sup> /min]
½	0.045 to 2.9	0.23 to 15
1	0.14 to 8.8	0.7 to 74
1½	0.34 to 22	1.7 to 180
2	0.56 to 36	2.9 to 480
3	1.3 to 81	6.4 to 1 100
4	2.2 to 140	11 to 1 900
6	5 to 320	25 to 4 300
8	8.7 to 560	44 to 7 500

Figura 19. Tabla de conexiones de flujómetro Vórtex Proline Prowirl F 200. Tomado de “Caudalímetro Vortex Proline Prowirl F 200”, por Endress Hauser, 2012, p. 10.

Para la selección de la válvula de purga de condensado, el material del cuerpo y los elementos internos debe ser de acero inoxidable y de presión de diseño de 40 bar. Se considerará la válvula de purga TLV JAH7RG-M Bridado G5, mostrado en el anexo 18, pero se puede reemplazar por alguna válvula de purga de características similares. Para la instalación de estas válvulas de purga, se debe instalar una canasta y una válvula de bola antes de la válvula de purga.

Los filtros se utilizarán como último sistema de aseguramiento de la calidad del aire que ingresa a los usuarios. Por tanto, se ubican cerca al ingreso de las sopladoras PET. Estos filtros fueron seleccionados de modelos SMF y AK de la marca Donaldson, con purgas UFM-D de la misma marca, como se muestra en la imagen:



## Industrial Applications

Air for general purpose (Solution 1)

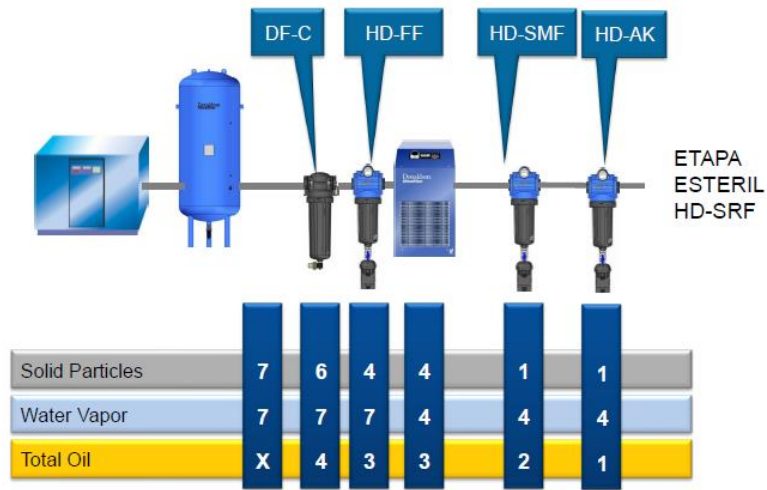


Figura 20. Modelos de filtros según la calidad del aire según ISO 8573-1. Tomado de “Catálogo de filtros para sopladoras PET”, por Donaldson Filtration Service, 2020, p. 4.

Estos filtros poseen carcasa de acero inoxidable y pueden trabajar a 40 Bar. Se puede seleccionar filtros de otra marca, con las mismas características.



## V. RESULTADOS

Los cálculos de las tuberías colectoras, los anillos y las acometidas hacia las sopladoras son los presentados en la siguiente tabla:

Tabla 21. Dimensionamiento de tuberías desde la salida de compresores hasta los usuarios.

Item	Recorrido de tubería	Área / usuario / equipo	Flujo	Flujo a presión	Presión de operación	Diámetro inicial	Diámetro interior de tubería estándar	Velocidad	Long. De tubería	Long. Equival.	$\Delta p$	
			(Nm <sup>3</sup> /h)	(m <sup>3</sup> /s)	(Bar)	(mm)	(mm)	(pulg)	(m/s)	(m)	(m)	(Bar)
1	Recorrido de tubería N°1 (Salida de compresores)											
1.1	Salida de compresor ABC-2	Compresor ABC 4HP - 4LT	2,682	0.0214	38.7	67.5	77.9	3	4.50	5	6	0.006
1.2	Salida de compresor Indonesia	Compresor ABC 4HP - 4LT	2,682	0.0245	33.8	72.1	77.9	3	5.13	5	6	0.006
1.3	Salida de compresor Horizon	Compresor ABC HORIZON 4700	4,005	0.0365	33.8	88.1	102.3	4	4.45	5	6	0.004
1.4	Salida de compresor ABC-4	Compresor ABC 4HP - 6LT	5,141	0.0411	38.7	93.4	102.3	4	5.01	5	6	0.005

1.5	Salida de compresor ABC-1	Compresor ABC 4HP - 4LT	2,682	0.0245	33.8	72.1	77.9	3	5.13	5	6	0.006
2	Recorrido de tubería N°2 (Anillo de distribución CSD)											
2.1	Colector de anillo a 35 bar	Horizon, Indonesia, ABC-1	9,369	0.0862	33.5	117.1	154.1	6	4.62	68	75	0.031
2.2	Anillo troncal de 33.5 bar	ABC Indonesia, ABC Horizon, ABC - 1	9,369	0.0862	33.5	117.1	154.1	6	4.62	170	204	0.085
3	Recorrido de tubería N°3 (Anillo Línea 24, Línea 9)											
3.1	Colector de anillo a 40 bar	ABC-2 y ABC-4	7,823	0.0637	38.0	100.7	102.3	4	7.75	136	150	0.321
3.2	Anillo troncal a 38 bar	ABC-4, ABC-2	7,823	0.0637	38.0	100.7	102.3	4	7.75	108	130	0.278
4	Recorrido de tubería N°4 (Acometidas a equipos)											
4.1	Acometida a sopladora de L24	Línea 24 - SIPA SFR24	4,245	0.0346	38.0	63.2	77.9	3	7.25	24	28	0.074
4.2	Acometida a sopladora de L9	Línea 9 - TECH LONG	1,260	0.0103	38.0	40.4	40.9	1 1/2	7.79	11	14	0.092

4.3	Acometida a sopladora de L Sidel nueva	Línea Nueva Sidel - SBO 10L	1,717	0.0158	33.5	50.1	52.5	2	7.30	14	17	0.064
4.4	Acometida a sopladora de L Sidel Indonesia	Línea Indonesia LIM25 - SBO 34 XS HS ECO	2,456	0.0226	33.5	60.0	62.7	2 1/2	7.32	15	18	0.056
4.5	Acometida a sopladora de L20	Línea 20 - SIPA SFR20	3,051	0.0281	33.5	63.0	77.9	3	5.89	17	20	0.031
4.6	Acometida a sopladora de L22	Línea 22 - KRONES S20	923	0.0085	33.5	36.8	40.9	1 1/2	6.45	12	14	0.059

Entendemos de la tabla (18) que, el recorrido de tuberías N°1 son las tuberías principales, el recorrido de tuberías N°2 y N°3 son las tuberías de distribución y el recorrido de tuberías N°4 son las tuberías de servicio. Por tanto, confirmamos que la velocidad a través de las tuberías principales es menor que 6m/s, la velocidad a través de las tuberías de distribución es menor que 8m/s y la velocidad a través de las tuberías de servicio es menor que 15m/s.

La red de tuberías es de configuración cerrada, satisface la demanda de aire comprimido de las sopladoras PET (véase la Tabla 11 y 12). La presión de diseño de la primera red es de 40 bar y de la segunda red es de 35 bar. La velocidad de diseño

para tuberías principales es de 6m/s, para tuberías de distribución es de 8 m/s y para tuberías de servicio es de 15 m/s.

El caudal de generación de aire comprimido del compresor ABC-1 es de 3121 m<sup>3</sup>/h, del compresor ABC-2 es de 3121 m<sup>3</sup>/h, del compresor ABC-4 es de 5983 m<sup>3</sup>/h, del compresor ABC Indonesia es de 3121 m<sup>3</sup>/h y del compresor ABC Horizon Plus 4700 es de 4661 m<sup>3</sup>/h.

Las tuberías de la red son de material acero inoxidable ASTM A312 AISI 304 Sch 40; las bridas son de acero inoxidable ASTM A182-F AISI 304 clase 300; los codos, las tees, las reducciones concéntricas y excéntricas y las cap son de acero inoxidable ASTM A403 AISI 304 Sch 40; las empaquetaduras entre bridas son de fibra orgánica y nitrilo de clase 300; las uniones son de acero inoxidable ASTM A182 AISI 304 de clase 300 y las tees reducidas son de acero inoxidable ASTM A312 AISI 304 de Sch 40.

Las válvulas de purga son de marca TLV modelo JAH7RG-M Bridado G5, los flujómetros Vórtex de modelo Proline Prowirl F 200 de marca Endress Hauser y filtros de modelos SMF y AK de la marca Donaldson.

## VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 6.1. CONTRASTACIÓN Y DEMOSTRACIÓN DE LA HIPÓTESIS CON LOS RESULTADOS

Se obtiene como resultado que, las tuberías de la red de aire a 38 bar tienen una capacidad de distribuir más de 6687 m<sup>3</sup>/h, volumen demandado por las sopladoras de las líneas 9 y 24. Además, las tuberías de la red de aire a 33.5 bar tienen una capacidad de distribuir más de 9896 m<sup>3</sup>/h, volumen demandado por las sopladoras de las líneas Sidel Nueva, Sidel Indonesia, 20 y 22, comprobándose la hipótesis general que plantea que el diseño de la red de tuberías satisface la demanda de aire comprimido de alta presión en la empresa de alimentos.

En cuanto a las condiciones de diseño, en la primera red la presión de diseño es de 40 bar, en la segunda red es de 35 bar. La velocidad de diseño para tuberías principales es de 6 m/s, para tuberías de distribución es de 8 m/s y para tuberías de servicio es de 15 m/s. Estas condiciones de diseño permiten dimensionar las tuberías y hallar la presión de llegada hacia los usuarios, asegurándonos que el aire comprimido tenga estas características requeridas. Por tanto, se comprueba la primera hipótesis específica, ya que, las condiciones de diseño permiten la satisfacción de la demanda de aire comprimido de alta presión en la empresa de alimentos.

Del mismo modo, se demuestra la segunda hipótesis específica, debido a que, los resultados indican que la capacidad de entrega de fluido de los compresores permite satisfacer la demanda de aire comprimido de alta presión en la empresa de alimentos, ya que, los compresores de la red de 38 bar generan 9104 m<sup>3</sup>/h, y los compresores de la red de 33.5 bar generan 10903 m<sup>3</sup>/h, siendo estas mayores a la demanda de aire comprimido de las redes.

Los componentes de las tuberías serán de material acero inoxidable, cuyo coeficiente de fricción es de 0.002 mm. Y los accesorios y uniones de las tuberías serán de clase 300, que permiten el flujo de aire comprimido a la presión de 35 y 40 bar. Comprobándose la tercera hipótesis específica, que señala la satisfacción de la demanda de aire comprimido de alta presión en la empresa de alimentos, debido a las especificaciones de los componentes de tuberías.

## 6.2. CONTRASTACIÓN DE LOS RESULTADOS CON OTROS ESTUDIOS SIMILARES.

Por otro lado, en la presente investigación se realizó el diseño de las redes de tuberías de configuración cerrada, satisfaciendo las demandas de aire comprimido de 9896 m<sup>3</sup>/h a 33.5 bar y 6687 m<sup>3</sup>/h a 38 bar, estos valores son las demandas máximas de las Sopladoras PET de los formatos que producen cada una de ellas. Sobre los resultados mencionados, se deduce que el presente diseño de tuberías satisface la demanda de aire comprimido de alta presión en una empresa de alimentos. En este sentido, Paredes (2016), calculó la demanda máxima para el respectivo modelo de Colector de polvo ToritPowerCore Serie VL y Transportador modelo J serie 496, equipos usados en el transporte neumático del astillero en su investigación y Ramírez (2018) que calcula la demanda máxima de aire en 4488 NI/min que satisface los compresores de aire con capacidad de generar 6324 NI/min, en su investigación del rediseño de la red de aire comprimido. Alor (2019), realiza un rediseño de la red de aire comprimido de alta presión cambiando una red abierta por una red cerrada en configuración de anillos a una presión homogénea de 31 bar.

Así mismo para el presente diseño de la red de tuberías, se consideró una reserva de aire comprimido del 10% del volumen de soplado por fugas y futuras ampliaciones, sin embargo, para la red de tuberías a 38 bar, se calculó un excedente de 33.2% del volumen de generación y para la red de tuberías de 33.5 bar, se calculó un excedente de 17.5% del volumen de generación. Tal como contempla Torres (2015), que considera un excedente en su red de tuberías de

20% en caso de futuras ampliaciones y Ramírez (2018), contempla un excedente en su red de tuberías de 18% en caso de futuras ampliaciones. Además, Valencia (2015), utiliza factores de utilización para herramientas neumáticas, equipos de características y uso diferentes a las sopladoras en su presente diseño. Sin embargo, al ser una red de aire comprimido, hace uso de la norma ASME B31.3 para el dimensionamiento de tuberías, al igual que en la presente investigación permitiendo corroborar los diámetros y espesores de las tuberías seleccionadas.

Con respecto a las condiciones de diseño de presión y temperatura, Ramírez (2018) rediseña la red de tuberías con velocidades que no superan los 3 m/s y una presión de diseño de 7 bar, calculando una caída de presión de 0.34 bar equivalente al 5% respecto a la presión de diseño; Paredes (2016) predimensiona las tuberías con velocidades mayores a 10 m/s, calculando velocidades reales mayores a 15 m/s; Torres (2015) calcula la velocidad máxima en tramos de tubería de 12.9 m/s y en tuberías de servicio de 5.3 m/s y tomó como parámetro una caída de presión máxima del 3% de la presión de soplado; Alor (2019) contempla una red de tuberías a la presión de 31 bar y propone como mejora la disminución de la caída de presión de 2 bar a 1 bar, y Valencia (2015), utiliza el valor de 1 bar como parámetro de caída de presión para un sistema con una presión de diseño de 8 bar. Mientras que, en la presente investigación, las velocidades de diseño son de 6m/s para tuberías principales, 8 m/s para tuberías de distribución y 15 m/s para tuberías de servicio, las velocidades reales calculadas no son mayores a las velocidades de diseño. Y las presiones de diseño son de 40 bar para la primera red de tuberías y de 35 bar para la segunda red de tuberías, determinándose así las condiciones del diseño del sistema para satisfacer la demanda de aire comprimido de alta presión en una empresa de alimentos.

Se determinó la capacidad de entrega de fluido de los compresores de aire teniendo en cuenta las condiciones de sitio, calculando que los compresores pertenecientes a la red de 40 bar generan 9104 m<sup>3</sup>/h y los compresores

pertenecientes a la red de 35 bar generan 10903 m<sup>3</sup>/h. En este sentido, Ramírez (2018), en su investigación, calcula la capacidad de entrega de fluido de 6324 NI/min a una presión de 223 cfm de un compresor ya instalado en la planta industrial, haciendo uso de las condiciones de sitio. Valencia (2015), toma datos de las fichas técnicas de los compresores BOGE S40-2 y S50-2 con suministros de aire de 5.17 m<sup>3</sup>/min y 6.35 m<sup>3</sup>/min respectivamente a nivel del mar. Torres (2015), selecciona el compresor Atlas Copco ZT37 capaz de suministrar 330 m<sup>3</sup>/h para cubrir el consumo promedio de la planta y el compresor Atlas Copco ZT30 capaz de suministrar 264 m<sup>3</sup>/h para cubrir la diferencia entre el consumo máximo y el consumo promedio; criterio diferente a la presente investigación, ya que, al demandar un volumen elevado de aire comprimido y al considerar los equipos consumidores que son Sopladoras PET que funcionan en todo momento, no se puede contemplar compresores para una diferencia entre el consumo máximo y el consumo promedio.

Se determinó la especificación de componentes de tubería para satisfacer la demanda de aire comprimido de alta presión, seleccionando tuberías, uniones y accesorios de acero inoxidable, clase 300 y filtros de aire comprimido diseñados para una calidad de aire de 1:4:1 según la norma ISO 8573-1:2010. Así mismo Rivera (2021), también emplea el criterio de calidad de aire según la norma ISO 8573-1, para los equipos usuarios de su diseño. Así mismo, Torres (2015), instala filtros Atlas Copco DD175, PD175 y DD175p, para asegurar una calidad de aire de 1:4:1 según la norma ISO 8573-1:2010, además, al ser una red de aire de baja presión (7 bar), es accesible la instalación de tuberías de aluminio, ya que presenta ventajas como la facilidad de la instalación, menor peso a comparación del acero, menor factor de fricción provocando menor caída de presión, etc. Sin embargo, en el presente diseño de tuberías no se puede emplear tuberías de aluminio, ya que este material no está diseñado para trabajar a presiones altas de 40 y 35 bar, por lo que se utilizará acero inoxidable.



## CONCLUSIONES

Habiendo realizado el diseño, se concluye que la red de tuberías satisface la demanda de aire comprimido de alta presión, ya que, las sopladoras demandan el volumen de aire comprimido de 9896 m<sup>3</sup>/h a 33.5 bar y 6687 m<sup>3</sup>/h a 38 bar con compresores que generan un flujo de 10903 m<sup>3</sup>/h a 35 bar y 9104 m<sup>3</sup>/h a 40 bar, cuidando la caída de presión con las velocidades recomendadas y la calidad de aire requerido.

Las condiciones de diseño de presión y velocidad satisfacen la demanda de aire comprimido de alta presión, ya que, para la primera red, la presión de diseño es de 40 bar y para la segunda red, la presión de diseño es de 35 bar. Y las velocidades de diseño para las tuberías principales es de 6 m/s, para las tuberías de distribución es de 8 m/s y para las tuberías de servicio es de 15 m/s.

La capacidad de entrega de fluido de los compresores satisface la demanda de aire comprimido de alta presión en las redes de tuberías, ya que, los compresores de la red de 40 bar entregan 9104 m<sup>3</sup>/h, cubriendo la demanda de aire comprimido de la red de 6687 m<sup>3</sup>/h, y los compresores de la red de 35 bar entregan 10903 m<sup>3</sup>/h, cubriendo a la demanda de aire comprimido de la red de 9896 m<sup>3</sup>/h.

Las especificaciones de los componentes de tuberías satisface la demanda de aire comprimido de alta presión, ya que, las tuberías son de material acero inoxidable ASTM A312 AISI 304 Sch 40; las bridas son de acero inoxidable ASTM A182-F AISI 304 clase 300; los codos, las tees, las reducciones concéntricas y excéntricas y las cap son de acero inoxidable ASTM A403 AISI 304 Sch 40; las empaquetaduras entre bridas son de fibra orgánica y nitrilo de clase 300; las uniones son de acero inoxidable ASTM A182 AISI 304 de clase 300 y las tees reducidas son de acero inoxidable ASTM A312 AISI 304 de Sch 40.

## RECOMENDACIONES

Para el diseño de la red de tuberías se recomienda la instalación de filtros sanitarios adicionales al paquete de filtros que se instalarán, ya que, estos filtros sanitarios requieren un ingreso de vapor para la esterilización del aire comprimido.

Se recomienda instalar manómetros a la entrada de las sopladoras para confirmar la presión de entrada en la línea. Además, se recomienda considerar una variación de +/- 3% de la presión de generación para poder tener una holgura al momento de realizar cambios de formatos o de diseño de botellas.

Es recomendable la adición de un compresor adicional, con el propósito del funcionamiento de las sopladoras en su capacidad máxima, es decir, con un compresor adicional, el factor de simultaneidad puede tomar el valor de 1 y las sopladoras podrían funcionar produciendo el formato de botella que demande mayor volumen de aire comprimido simultáneamente.

Se recomienda la instalación de las tuberías de la red con el procedimiento de soldadura (WPS) y registros de calificación de procedimiento (PQR) según la norma ASME sección IX. Además, se recomienda hacer prueba neumática con el procedimiento según la norma ASME B31.3. En caso de oxidación, es recomendable reemplazar las secciones de tuberías afectadas como mantenimiento de toda la red de tuberías.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABC Compressors. *Hoja de presentación de compresor ABC 4HP-6LT* [en línea]. Francia: ABC compressors, 2016 [fecha de consulta: 10 de Noviembre de 2020]. Disponible en: [https://drive.google.com/drive/folders/1W7fEWavcqK11tQt32zM3Q-\\_25umklQRK?usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/1W7fEWavcqK11tQt32zM3Q-_25umklQRK?usp=sharing)
- ABC Compressors. *Manual de instalación de compresor ABC 4HP-4LT* [en línea]. Eibar: ABC compressors, 2014 [fecha de consulta: 27 de Noviembre de 2020]. Disponible en: [https://drive.google.com/drive/folders/1W7fEWavcqK11tQt32zM3Q-\\_25umklQRK?usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/1W7fEWavcqK11tQt32zM3Q-_25umklQRK?usp=sharing)
- ABC Compressors. *Propuesta técnico económica Compresor Horizon Plus 4700* [en línea]. Éibar: ABC compressors, 2020 [fecha de consulta: 25 de Diciembre de 2020]. Disponible en: [https://drive.google.com/drive/folders/1W7fEWavcqK11tQt32zM3Q-\\_25umklQRK?usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/1W7fEWavcqK11tQt32zM3Q-_25umklQRK?usp=sharing)
- ALOR, L. Propuesta para la mejora de la eficiencia energética en los sistemas de aire comprimido en plantas cerveceras en el área de soplado de botellas PET según la norma ISO 11011:2013. Tesis (Título de Ingeniero Mecatrónico). Lima: Universidad Tecnológico del Perú, 2019. 182 pp. [fecha de consulta: 29 de Septiembre de 2021]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12867/2191>
- ASME. Pipe Flanges and Flanged Fittings NPS 1/2 Through NPS 24 Metric/Inch Standard. B16.5: 2009, Estados Unidos, 2012. 238 pp.
- ASME. Process Piping. B31.3: 2020, Estados Unidos, 2021. 544 pp.
- ATLAS COPCO. *Manual del aire comprimido* [en línea]. Bélgica, Atlas Copco Airpower NV, 2014 [fecha de consulta: 20 de Octubre de 2021]. ISBN: 9789081535816. Disponible en: <https://www.atlascopco.com/es-pe/compressors/manual-del-aire-comprimido>
- ATLAS copco. La red de aire comprimido, ¿Cómo diseñarla?. 2020 [fecha de consulta: 20 de Octubre de 2021]. Disponible en:

<https://www.atlascopco.com/es-es/compressors/air-compressor-blog/red-de-aire-comprimido>

CARNICER, E. *Aire comprimido: Teoría y cálculo de las instalaciones*. Madrid: PARANINFO, 1991. 292 pp. ISBN: 9788425206627

CASTRO, F. *El proyecto de investigación y su esquema de elaboración*. Caracas: Uyapal, 2003. 144 pp. ISBN: 9789806629000

CENGEL, Y. y BOLES, M. *Termodinámica* [en línea]. México, Mc Graw Hill - Interamericana, 2019 [fecha de consulta: 31 de Octubre de 2021]. ISBN: 9781456269784 Disponible en: <https://pdfcoffee.com/qdownload/termodinamica-yunus-a-engel-novena-edicion-mc-graw-hill-pdf-free.html>

CENGEL, Y. y CIMBALA, J. *Mecánica de fluidos: Fundamentos y aplicaciones* [en línea]. Ciudad de México, Mc Graw Hill - Education Global, 2018 [fecha de consulta: 28 de Setiembre de 2021]. ISBN: 9781259696534 Disponible en: <https://www.libreriaingeniero.com/2020/11/mecanica-de-fluidos-fundamentos-y-aplicaciones-yunus-cengel-john-cimbala-4ta-edicion.html>

CRANE CO. *Flujo de fluidos en accesorios, válvulas y tuberías* [en línea]. México, Mc Graw Hill - Interamericana, 1992 [fecha de consulta: 28 de Setiembre de 2021]. ISBN: 9781615028689. Disponible en: [https://www.academia.edu/7436924/1\\_Flujo\\_de\\_Fluidos\\_en\\_valvulas\\_Accesorios\\_y\\_Tuberias\\_Crane\\_Mc\\_Graw\\_Hill](https://www.academia.edu/7436924/1_Flujo_de_Fluidos_en_valvulas_Accesorios_y_Tuberias_Crane_Mc_Graw_Hill)

DARCY, H. *Recherches expérimentales relatives au mouvement de l'eau dans les tuyaux* [en línea]. París, MALLETT-BACHELIER, 1857 [fecha de consulta: 20 de Octubre de 2021]. Disponible en: [https://archive.org/details/bub\\_gb\\_a4rcE52LFF0C](https://archive.org/details/bub_gb_a4rcE52LFF0C)

DIAGRAMA de flujo de red de tuberías de aire comprimido de alta presión-Proyecto Chavín, Patrick García. Versión B. S/E. Lima, Perú; Patrick García, 2021. 1 Plano, 841 x 594 mm

DONALTSON Filtration Service. *Catálogo de filtros para sopladoras PET* [en línea]. Bloomington: DONALTSON Filtration Service, 2020 [fecha de consulta: 25 de Julio de 2021]. Disponible en:

[https://drive.google.com/drive/folders/1ZI01jIBjv7Kr5FO4io\\_7Ocgy1aLoR2ON?usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/1ZI01jIBjv7Kr5FO4io_7Ocgy1aLoR2ON?usp=sharing)

ECHEVARRÍA, M. América Latina, en la línea del alto consumo de refrescos [en línea]. The Food Tech, México, 7 de Mayo de 2020 [fecha de consulta: 6 de Octubre de 2021]. Disponible en: <https://thefoodtech.com/tendencias-de-consumo/america-latina-en-la-linea-del-alto-consumo-de-refrescos/>

ENCICLOPEDIA. *Bebidas refrescantes*. En: Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo en la OIT [en línea]. Lance A. Ward, 5ta edición, Madrid: Chantal Dufresne, BA, 2012 [fecha de consulta: 11 de Setiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.insst.es/tomo-i>

ENDRESS Hauser. *Caudalímetro Vortex Proline Prowirl F 200* [en línea]. Texas: ENDRESS + Hauser , 2012 [fecha de consulta: 15 de Abril de 2021]. Disponible en: <https://www.es.endress.com/es/instrumentacion-campo/medicion-caudal/Vortex-flowmeter-Proline-Prowirl-F200?t.tabId=product-overview>

GOOGLE Maps. Ubicación de la nueva planta de la empresa de alimentos. [mapa en línea] [fecha de consulta: 10 de Setiembre de 2021]. Disponible en: <https://goo.gl/maps/kLUERM9VQMcSmi8N6>

ESPINOZA, C. *Metodología de investigación tecnológica* [en línea]. Huancayo, Espinoza Montes, 2014 [fecha de consulta: 10 de Setiembre de 2021]. ISBN: 9786120016671 Disponible en: <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/1148>

FIORELLA Representaciones. *Tube Acero Sch-40 sin costura* [en línea]. Lima: FIORELLA Representaciones, 2010 [fecha de consulta: 23 de Enero de 2021]. Disponible en: <https://www.fiorellarepre.com.pe/TUBO-ACERO-SCH-40-SIN-COSTURA-/804510>

FUNDACIÓN HEINRICH BÖLL y BREAK FREE FROM PLASTIC. *Atlas del Plástico* [en línea]. Berlín, Creativo Commons, 2019 [fecha de consulta: 27 de Setiembre de 2021]. ISBN: 9783869282114. Disponible en: <https://mx.boell.org/sites/default/files/2020-12/Plastic%20Atlas%202019%20cambio.pdf>

- HERNÁNDEZ, R. *Metodología de la Investigación* [en línea]. México, Mc Graw Hill - Education, 2014 [fecha de consulta: 10 de Setiembre de 2021]. ISBN: 9781456223960 Disponible en: <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf>
- INSTITUTO Nacional de Estadística e Informática. Sector Manufactura. Informe Técnico de Producción Nacional [en línea]. Febrero, 2021, 1(2), p. 27 [fecha de consulta: ]. Disponible en: <https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/02-informe-tecnico-produccion-nacional-dic-2020.pdf>
- ISO. Compressed Air Part 1: Contaminants and purity classes. 8573-1: 2010, Suiza, 2010. 16 pp.
- MINISTERIO de la Producción del Perú. Variación porcentual del índice de crecimiento industrial del subsector no primario, 2001 - 10 respecto al mismo periodo del año anterior - año base=1994. Anuario Estadístico [en línea]. 2010, 1(1), p.178 [fecha de consulta: ]. Disponible en: <https://www.produce.gob.pe/documentos/estadisticas/anuarios/anuario-estadistico-2010.pdf>
- MOLIÁ, R. Redes de distribución. Abastecimiento y saneamiento urbano [en línea]. 2007, 1(1), p. 21 [fecha de consulta: ]. Disponible en: <https://docplayer.es/16522834-Redes-de-distribucion-modulo-abastecimiento-y-saneamiento-urbanos-autor-rafael-molia-master-en-ingenieria-medioambiental-y-gestion-del-agua.html>
- PAREDES, J. Diseño de las redes de aire comprimido y transporte neumático en un astillero. Tesis (Licenciatura en Ingeniería Mecánica). Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena, 2016. 114 pp. [fecha de consulta: 28 de Setiembre de 2021]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10317/5707>
- PLANO de vista de planta de red de tuberías de aire comprimido de alta presión - Proyecto Chavín, Patrick García. Versión B. Escala 1/300. Lima, Perú; Patrick García, 2021. 1 plano, 841 x 594 mm

- PLANO isométrico de red de tuberías de aire comprimido de alta presión - Proyecto Chavín, Patrick García. Versión B. S/E. Lima, Perú; Patrick García, 2021. 4 planos, 841 x 594 mm
- PLANO de instalaciones típicas de filtros y flujómetros en red de tuberías de aire comprimido de alta presión - Proyecto Chavín, Patrick García. Versión B. S/E. Lima, Perú; Patrick García, 2021. 2 planos, 420 x 297 mm
- RAMIREZ, D. Rediseño de red de distribución de aire comprimido en Planta Geotérmica Pailas I. Tesis (Licenciatura en Ingeniería en Mantenimiento Industrial). Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2018. 133 pp. [fecha de consulta: 28 de Septiembre de 2021]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/2238/10052>
- RIAÑO, F. Antecedentes de la conocida ecuación de Bernoulli. INGENIERÍA HIDRÁULICA Y AMBIENTAL [en línea]. 2020, 41(1), p. 14 [fecha de consulta: ]. ISSN: 16800338. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1680-03382020000100071#:~:text=Seg%C3%BAAn%20Rouse%20and%20Ince%20\(1957,que%20hoy%20lleva%20su%20nombre](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382020000100071#:~:text=Seg%C3%BAAn%20Rouse%20and%20Ince%20(1957,que%20hoy%20lleva%20su%20nombre).
- RIAÑO, F. Froude, Manning y Reynolds aportan a la hidráulica en el siglo XIX. INGENIERÍA HIDRÁULICA Y AMBIENTAL [en línea]. 2019, 40(2), p. 15 [fecha de consulta: ]. ISSN: 16800338. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1680-03382019000200110&lang=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382019000200110&lang=es)
- RIAÑO, F. Los aportes de Leonhard Euler al desarrollo de la Hidráulica. INGENIERÍA HIDRÁULICA Y AMBIENTAL [en línea]. 2021, 42(3), p. 14 [fecha de consulta: ]. ISSN: 16800338. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1680-03382021000300082](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1680-03382021000300082)
- RIVERA, J. Selección y montaje de un sistema de tratamiento de aire comprimido en Empacadora Toledo. Tesis (Título de Ingeniero Mecánico). Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, 2021.

102 pp. [fecha de consulta: 28 de Septiembre de 2021]. Disponible en:  
<http://www.repositorio.usac.edu.gt/id/eprint/15883>

SALAS, L. Producción de bebidas no alcohólicas se recuperará en el 2021, pero no al nivel del 2019 [en línea]. El Comercio, Lima, 24 de Noviembre de 2020 [fecha de consulta: 21 de Setiembre de 2021]. Disponible en:  
<https://elcomercio.pe/economia/peru/produccion-de-aguas-y-gaseosas-registraria-una-caida-cercana-al-25-este-2020-jugos-nectares-menor-consumo-en-peru-por-el-covid-19-recuperacion-para-2021-scotiabank-pandemia-ncze-noticia/>

SERVICIO DE SALUD Y RIESGOS LABORALES DE CENTROS EDUCATIVOS Guía de prevención de riesgos por el uso del aire comprimido y máquinas portátiles [en línea]. España, Junta de Extremadura, 2008 [fecha de consulta: 27 de Setiembre de 2021]. Disponible en:  
[https://www.educarex.es/pub/cont/com/0055/documentos/10\\_Informaci%C3%B3n/03\\_Guias/guia\\_Aire\\_Comprimido.pdf](https://www.educarex.es/pub/cont/com/0055/documentos/10_Informaci%C3%B3n/03_Guias/guia_Aire_Comprimido.pdf)

SERVICIO Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). Descarga de datos. 2013 [fecha de consulta: 2 de Noviembre de 2021]. Disponible en: <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=descarga-datos-hidrometeorologicos>

SIDEL Engineering & packaging solutions. *Ficha técnica de sopladora de línea Sidel Indonesia* [en línea]. Parma: SIDEL Engineering & packaging solutions, 2020 [fecha de consulta: 24 de Mayo de 2021]. Disponible en:  
[https://drive.google.com/drive/folders/1mlr\\_q56h4ALvnVTAj5GpJEWsxvr7oldR?usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/1mlr_q56h4ALvnVTAj5GpJEWsxvr7oldR?usp=sharing)

SIDEL Engineering & packaging solutions. *Lista de utilities de línea Sidel Nueva* [en línea]. Parma: SIDEL Engineering & packaging solutions, 2021 [fecha de consulta: 4 de Marzo de 2021]. Disponible en:  
[https://drive.google.com/drive/folders/1mlr\\_q56h4ALvnVTAj5GpJEWsxvr7oldR?usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/1mlr_q56h4ALvnVTAj5GpJEWsxvr7oldR?usp=sharing)

SIDEL Engineering & packaging solutions. *Plano técnico de línea Sidel Nueva* [en línea]. Parma: SIDEL Engineering & packaging solutions, 2021 [fecha



de consulta: 28 de Mayo de 2021]. Disponible en:  
[https://drive.google.com/drive/folders/1mlr\\_q56h4ALvnVTAj5GpJEWsxvr7oldR?usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/1mlr_q56h4ALvnVTAj5GpJEWsxvr7oldR?usp=sharing)

SIPA Berchi. *Ficha técnica de sopladora de línea 20* [en línea]. Italia: SIPA Berchi, 2008 [fecha de consulta: 9 de Noviembre de 2020]. Disponible en:

[https://drive.google.com/drive/folders/1mlr\\_q56h4ALvnVTAj5GpJEWsxvr7oldR?usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/1mlr_q56h4ALvnVTAj5GpJEWsxvr7oldR?usp=sharing)

SIPA Berchi. *Plano técnico de línea 24* [en línea]. Italia: SIPA Berchi, 2013 [fecha de consulta: 05 de Marzo de 2021]. Disponible en:  
[https://drive.google.com/drive/folders/1mlr\\_q56h4ALvnVTAj5GpJEWsxvr7oldR?usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/1mlr_q56h4ALvnVTAj5GpJEWsxvr7oldR?usp=sharing)

TECH Long. *Ficha técnica de sopladora de línea 9* [en línea]. China: TECH LONG, 2019 [fecha de consulta: 10 de Mayo de 2021]. Disponible en:  
[https://drive.google.com/drive/folders/1mlr\\_q56h4ALvnVTAj5GpJEWsxvr7oldR?usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/1mlr_q56h4ALvnVTAj5GpJEWsxvr7oldR?usp=sharing)

TIEMPO y temperatura. Pronóstico de clima en Huaral. 2021 [fecha de consulta: 2 de Noviembre de 2021]. Disponible en:  
<http://tiempoytemperatura.es/peru/huaral.html#por-horas>

TLV.CO. *Ficha técnica de válvula de purga de condensado* [en línea]. Kakogawa: TLV.CO, 2020 [fecha de consulta: 30 de Julio de 2021]. Disponible en:  
[https://drive.google.com/drive/folders/1ZI01jIBjv7Kr5FO4io\\_7OcgY1aLoR2ON?usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/1ZI01jIBjv7Kr5FO4io_7OcgY1aLoR2ON?usp=sharing)

TORRES, Y. Diagnóstico de la red de aire comprimido de la Planta de Yogurt de Sigma Alimentos en Cartago. Tesis (Licenciatura en Ingeniería en Mantenimiento Industrial). Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2015. 161 pp. [fecha de consulta: 28 de Septiembre de 2021]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/2238/6122>

UNIÓN Internacional de Química Pura y Aplicada. Standard conditions for gases. 2014 [fecha de consulta: 7 de Octubre de 2021]. Disponible en:  
<https://goldbook.iupac.org/terms/view/S05910>

VALENCIA, R. Estudio y análisis neumático del sistema de aire comprimido de la planta Kimberly Clark Ecuador. Tesis (Título de Ingeniero Eléctrico-Mecánico con mención en Gestión Empresarial). Guayaquil: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, 2015. 146 pp. [fecha de consulta: 29 de Septiembre de 2021]. Disponible en: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/3772>

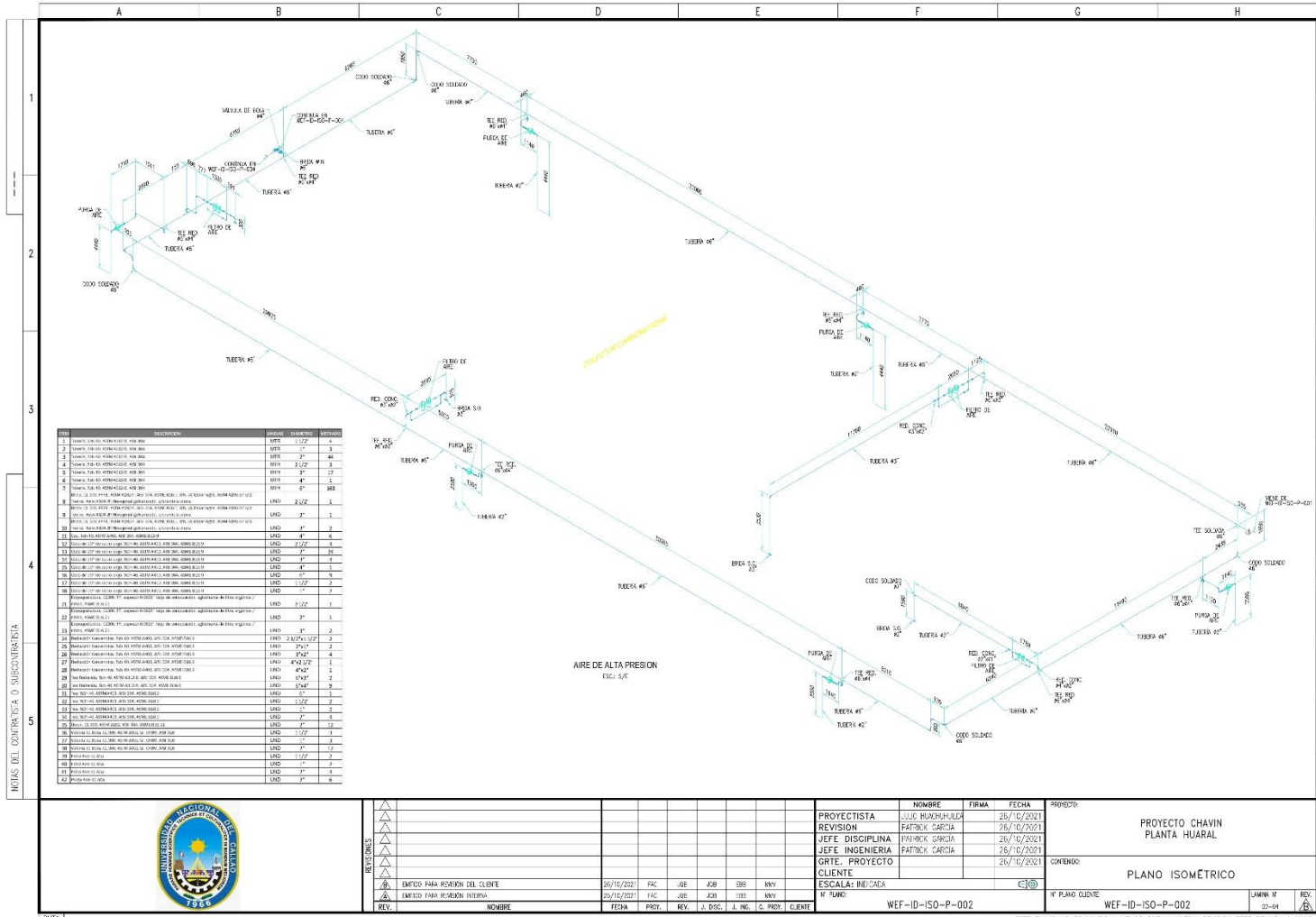
WEATHER spark. Clima promedio en Huaral durante todo el año. 2016 [fecha de consulta: 2 de Enero de 2021]. Disponible en: <https://es.weatherspark.com/y/20449/Clima-promedio-en-Huaral-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o>

WEISBACH, J. *Lehrbuch der Ingenieur- und Maschinen - mechanik* [en línea]. Estados Unidos, Universidad de California, 1850 [fecha de consulta: 20 de Octubre de 2021]. Disponible en: <https://archive.org/details/lehrbuchderinge06weisgoog/page/n7/mode/2up>









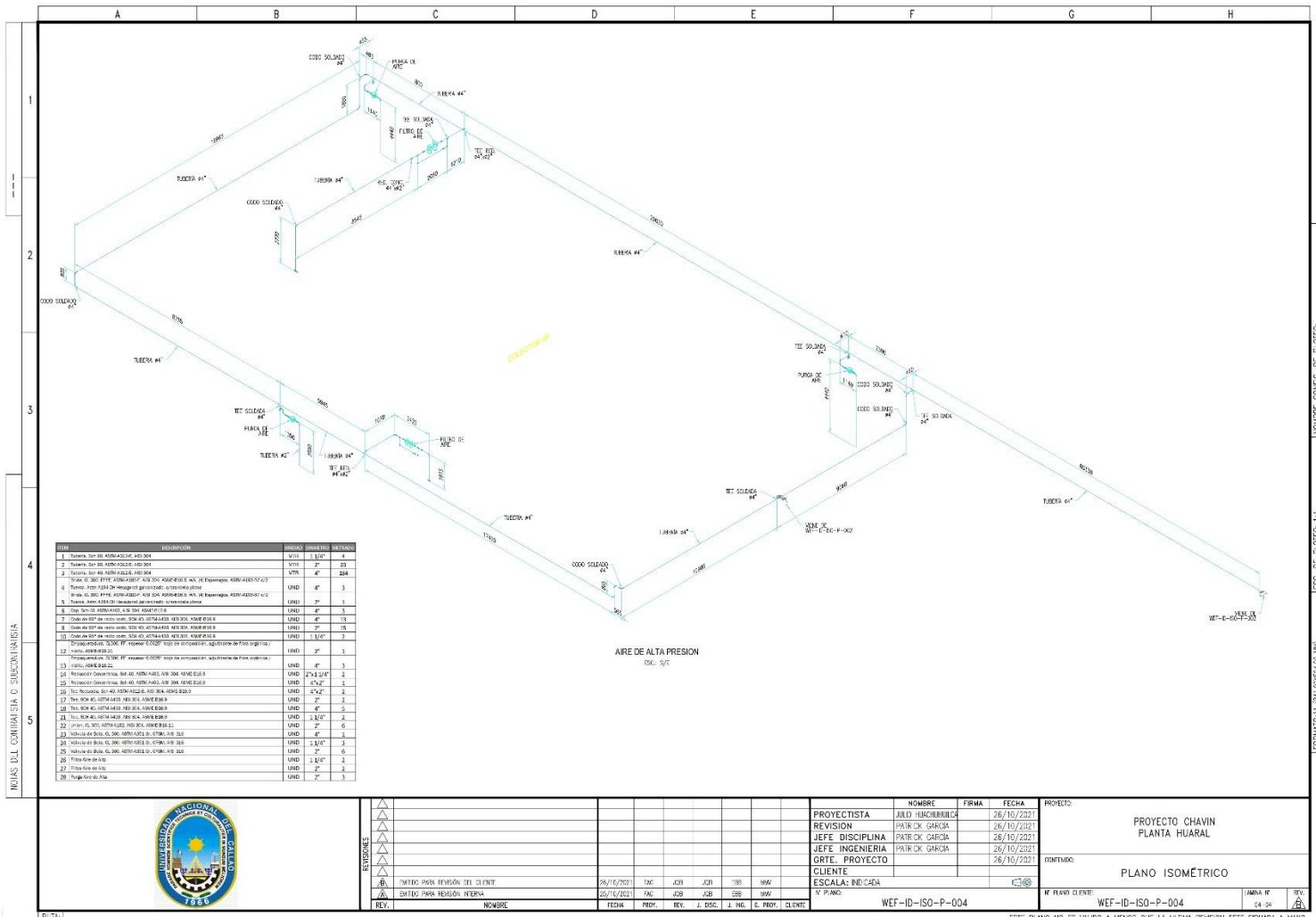
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	METODO
1	TRABAJO DE OBRAS DE FUNDACION PARA 300	M <sup>2</sup>	117,2	6
2	TRABAJO DE OBRAS DE FUNDACION PARA 300	M <sup>2</sup>	17	3
3	TRABAJO DE OBRAS DE FUNDACION PARA 300	M <sup>2</sup>	2	4
4	TRABAJO DE OBRAS DE FUNDACION PARA 300	M <sup>2</sup>	2,172	3
5	TRABAJO DE OBRAS DE FUNDACION PARA 300	M <sup>2</sup>	37	17
6	TRABAJO DE OBRAS DE FUNDACION PARA 300	M <sup>2</sup>	47	1
7	TRABAJO DE OBRAS DE FUNDACION PARA 300	M <sup>2</sup>	27	300
8	TRABAJO DE OBRAS DE FUNDACION PARA 300	M <sup>2</sup>	2,172	1
9	TRABAJO DE OBRAS DE FUNDACION PARA 300	M <sup>2</sup>	27	1
10	TRABAJO DE OBRAS DE FUNDACION PARA 300	M <sup>2</sup>	47	6
11	TRABAJO DE OBRAS DE FUNDACION PARA 300	M <sup>2</sup>	2,172	6
12	TRABAJO DE OBRAS DE FUNDACION PARA 300	M <sup>2</sup>	27	30
13	TRABAJO DE OBRAS DE FUNDACION PARA 300	M <sup>2</sup>	47	1
14	TRABAJO DE OBRAS DE FUNDACION PARA 300	M <sup>2</sup>	27	6
15	TRABAJO DE OBRAS DE FUNDACION PARA 300	M <sup>2</sup>	177	2
16	TRABAJO DE OBRAS DE FUNDACION PARA 300	M <sup>2</sup>	17	2
17	TRABAJO DE OBRAS DE FUNDACION PARA 300	M <sup>2</sup>	2,172	1
18	TRABAJO DE OBRAS DE FUNDACION PARA 300	M <sup>2</sup>	27	1
19	TRABAJO DE OBRAS DE FUNDACION PARA 300	M <sup>2</sup>	47	2
20	TRABAJO DE OBRAS DE FUNDACION PARA 300	M <sup>2</sup>	27	6
21	TRABAJO DE OBRAS DE FUNDACION PARA 300	M <sup>2</sup>	2,172	17
22	TRABAJO DE OBRAS DE FUNDACION PARA 300	M <sup>2</sup>	47	1
23	TRABAJO DE OBRAS DE FUNDACION PARA 300	M <sup>2</sup>	27	17
24	TRABAJO DE OBRAS DE FUNDACION PARA 300	M <sup>2</sup>	47	1
25	TRABAJO DE OBRAS DE FUNDACION PARA 300	M <sup>2</sup>	27	17
26	TRABAJO DE OBRAS DE FUNDACION PARA 300	M <sup>2</sup>	47	1
27	TRABAJO DE OBRAS DE FUNDACION PARA 300	M <sup>2</sup>	27	17
28	TRABAJO DE OBRAS DE FUNDACION PARA 300	M <sup>2</sup>	47	1
29	TRABAJO DE OBRAS DE FUNDACION PARA 300	M <sup>2</sup>	27	17
30	TRABAJO DE OBRAS DE FUNDACION PARA 300	M <sup>2</sup>	47	1
31	TRABAJO DE OBRAS DE FUNDACION PARA 300	M <sup>2</sup>	27	17
32	TRABAJO DE OBRAS DE FUNDACION PARA 300	M <sup>2</sup>	47	1
33	TRABAJO DE OBRAS DE FUNDACION PARA 300	M <sup>2</sup>	27	17
34	TRABAJO DE OBRAS DE FUNDACION PARA 300	M <sup>2</sup>	47	1
35	TRABAJO DE OBRAS DE FUNDACION PARA 300	M <sup>2</sup>	27	17
36	TRABAJO DE OBRAS DE FUNDACION PARA 300	M <sup>2</sup>	47	1
37	TRABAJO DE OBRAS DE FUNDACION PARA 300	M <sup>2</sup>	27	17
38	TRABAJO DE OBRAS DE FUNDACION PARA 300	M <sup>2</sup>	47	1
39	TRABAJO DE OBRAS DE FUNDACION PARA 300	M <sup>2</sup>	27	17
40	TRABAJO DE OBRAS DE FUNDACION PARA 300	M <sup>2</sup>	47	1
41	TRABAJO DE OBRAS DE FUNDACION PARA 300	M <sup>2</sup>	27	17
42	TRABAJO DE OBRAS DE FUNDACION PARA 300	M <sup>2</sup>	47	1



PROYECTISTA	ILUZE RUIZ/PAULILLO	FIRMA	FECHA	26/10/2021	PROYECTO:	PROYECTO CHAVIN PLANTA HUARAL												
REVISION	PATRICK GARCIA			26/10/2021	CONTENIDO:	PLANO ISOMETRICO												
JEFE DISCIPLINA	PATRICK GARCIA			26/10/2021														
JEFE INGENIERIA	PATRICK GARCIA			26/10/2021														
CRTE. PROYECTO CLIENTE				26/10/2021														
ESCALA:	INDICADA																	
N° PLANO:	WEF-ID-ISO-P-002				N° PLANO CLIENTE:	WEF-ID-ISO-P-002												
REV.	NOMBRE	FECHA	PROY.	REV.	J. DSS.	J. NG.	C. PROY.	CLIENTE										

ESTE PLANO NO ES VALIDO A MENOS QUE LA ULTIMA REVISION ESTE FIRMADA A MANO





IDEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	SUBTOTAL
1	Tubo de 40 mm x 4.00 m x 1.00 mm	MTR	3	3
2	Tubo de 40 mm x 4.00 m x 1.00 mm	MTR	2	2
3	Tubo de 40 mm x 4.00 m x 1.00 mm	MTR	4	4
4	Tubo de 40 mm x 4.00 m x 1.00 mm	MTR	2	2
5	Tubo de 40 mm x 4.00 m x 1.00 mm	MTR	1	1
6	Tubo de 40 mm x 4.00 m x 1.00 mm	MTR	1	1
7	Tubo de 40 mm x 4.00 m x 1.00 mm	MTR	1	1
8	Tubo de 40 mm x 4.00 m x 1.00 mm	MTR	1	1
9	Tubo de 40 mm x 4.00 m x 1.00 mm	MTR	1	1
10	Tubo de 40 mm x 4.00 m x 1.00 mm	MTR	1	1
11	Tubo de 40 mm x 4.00 m x 1.00 mm	MTR	1	1
12	Tubo de 40 mm x 4.00 m x 1.00 mm	MTR	1	1
13	Tubo de 40 mm x 4.00 m x 1.00 mm	MTR	1	1
14	Tubo de 40 mm x 4.00 m x 1.00 mm	MTR	1	1
15	Tubo de 40 mm x 4.00 m x 1.00 mm	MTR	1	1
16	Tubo de 40 mm x 4.00 m x 1.00 mm	MTR	1	1
17	Tubo de 40 mm x 4.00 m x 1.00 mm	MTR	1	1
18	Tubo de 40 mm x 4.00 m x 1.00 mm	MTR	1	1
19	Tubo de 40 mm x 4.00 m x 1.00 mm	MTR	1	1
20	Tubo de 40 mm x 4.00 m x 1.00 mm	MTR	1	1
21	Tubo de 40 mm x 4.00 m x 1.00 mm	MTR	1	1
22	Tubo de 40 mm x 4.00 m x 1.00 mm	MTR	1	1
23	Tubo de 40 mm x 4.00 m x 1.00 mm	MTR	1	1
24	Tubo de 40 mm x 4.00 m x 1.00 mm	MTR	1	1
25	Tubo de 40 mm x 4.00 m x 1.00 mm	MTR	1	1
26	Tubo de 40 mm x 4.00 m x 1.00 mm	MTR	1	1
27	Tubo de 40 mm x 4.00 m x 1.00 mm	MTR	1	1
28	Tubo de 40 mm x 4.00 m x 1.00 mm	MTR	1	1



REVISIONES	FECHA	PROY.	REV.	J. DISE.	J. ING.	E. PROJ.	CLIENTE
1	26/10/2021	DA	JCB	JCB	EBB	WAF	
2	27/10/2021	FAC	JCB	JCB	EBB	WAF	

PROYECTISTA	NOMBRE	FIRMA	FECHA	PROYECTO
PROYECTISTA	JULIO HACHIRIBUICA		26/10/2021	PROYECTO CHAVIN PLANTA HUARAL
REVISION	PAIR-CK GARCIA		26/10/2021	
JEFE DISCIPLINA	PAIR-CK GARCIA		26/10/2021	
JEFE INGENIERIA	PAIR-CK GARCIA		26/10/2021	
GRTE. PROYECTO			26/10/2021	
CLIENTE				
ESCALA: INDICADA				
Nº PLANO CLIENTE	WEF-ID-ISO-P-004			
PLANO CLIENTE	WEF-ID-ISO-P-004			

RUTA: ESTE PLANO NO ES VALIDO A MENOS QUE LA ULTIMA REVISION ESTE FIRMADA A MANO







# ANEXO N°5: Ficha técnica de compresor ABC Horizon Plus 4700

Número de oferta: 200419064/2019 del 30.04.19  
 Cliente: AJEPER, S. A.



## 1 ALCANCE DEL SUMINISTRO

CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO	
Volumen de aire requerido Nm³/h	
Lugar	Lima -(Perú)
Altitud, m	300
Temperatura interior, °C	30
Temperatura exterior, °C	
Bulbo húmedo máximo, °C	29
Presión de escape, bar	<b>MAXIMO 38</b>
Sistema de Refrigeración	TORRE REFRIGERACION CERRADA METALICA
Otros	

HORIZON PLUS 4700	Q	DESCRIPCIÓN																				
Grupo completo	1	COMPRESOR, estacionario, de disposición horizontal, de cilindros opuestos, alternativo y equilibrado, de TRES ETAPAS DE COMPRESION, de DOBLE EFECTO, con crucetas y refrigerado por circulación de agua y SIN ENGRASE DE CILINDROS. Grupo compresor completo SOBRE BASTIDOR METÁLICO para el ensamble del compresor, motor, depósito, secador y armario eléctrico; con conexiones eléctricas, neumáticas, de ventilación... preparadas y testado en fábrica.																				
Clasificación		Fabricación del compresor en base a la normativa comunitaria CE																				
Origen		España																				
Caudal y calidad del aire		<table border="1"> <tr> <td>Caudal producido en condiciones de aspiración, m³/h FAD</td> <td>4.610</td> </tr> <tr> <td>Caudal realmente producido, Nm³/h</td> <td>4.005</td> </tr> <tr> <td>Potencia absorbida en el eje del compresor, Kw</td> <td>668</td> </tr> <tr> <td>Presión de aspiración, kg/cm² (a)</td> <td>0,996</td> </tr> <tr> <td><b>Presión de escape, bar (g)</b></td> <td><b>MAXIMO 38</b></td> </tr> <tr> <td><b>Calidad del aire, s/norma ISO 8573-1:2010</b></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2"><b>100% Cilindros exentos de aceite:</b></td> </tr> <tr> <td>- Aceites</td> <td>Clase 1</td> </tr> <tr> <td>- Partículas</td> <td>Clase 1</td> </tr> <tr> <td>- Agua</td> <td>Clase 4</td> </tr> </table>	Caudal producido en condiciones de aspiración, m³/h FAD	4.610	Caudal realmente producido, Nm³/h	4.005	Potencia absorbida en el eje del compresor, Kw	668	Presión de aspiración, kg/cm² (a)	0,996	<b>Presión de escape, bar (g)</b>	<b>MAXIMO 38</b>	<b>Calidad del aire, s/norma ISO 8573-1:2010</b>		<b>100% Cilindros exentos de aceite:</b>		- Aceites	Clase 1	- Partículas	Clase 1	- Agua	Clase 4
Caudal producido en condiciones de aspiración, m³/h FAD	4.610																					
Caudal realmente producido, Nm³/h	4.005																					
Potencia absorbida en el eje del compresor, Kw	668																					
Presión de aspiración, kg/cm² (a)	0,996																					
<b>Presión de escape, bar (g)</b>	<b>MAXIMO 38</b>																					
<b>Calidad del aire, s/norma ISO 8573-1:2010</b>																						
<b>100% Cilindros exentos de aceite:</b>																						
- Aceites	Clase 1																					
- Partículas	Clase 1																					
- Agua	Clase 4																					
Motor eléctrico	1	<table border="1"> <tr> <td>Transmisión</td> <td>ACOPLAMIENTO DIRECTO</td> </tr> <tr> <td>Protección</td> <td>IP-55</td> </tr> <tr> <td>Eficiencia</td> <td>IE2</td> </tr> <tr> <td>Potencia, kW</td> <td>710</td> </tr> <tr> <td>Revoluciones por minuto, RPM</td> <td>1.800</td> </tr> <tr> <td>Voltaje, V</td> <td>440 ± 10%</td> </tr> <tr> <td>Frecuencia, Hz</td> <td>60</td> </tr> </table>	Transmisión	ACOPLAMIENTO DIRECTO	Protección	IP-55	Eficiencia	IE2	Potencia, kW	710	Revoluciones por minuto, RPM	1.800	Voltaje, V	440 ± 10%	Frecuencia, Hz	60						
Transmisión	ACOPLAMIENTO DIRECTO																					
Protección	IP-55																					
Eficiencia	IE2																					
Potencia, kW	710																					
Revoluciones por minuto, RPM	1.800																					
Voltaje, V	440 ± 10%																					
Frecuencia, Hz	60																					

Las imágenes y planos de esta oferta deben ser considerados de carácter informativo. Los planos finales serán entregados tras la recepción del pedido

2

## ANEXO N°6: Hoja de Presentación de Compresor ABC 4HP-6LT

# SOUFFLAGE PET

Le nouveau modèle 4HP-6-LT, le plus grand en dimension et capacité, complète un cycle de puissances et produits adaptées aux exigences des clients. Il devient le plus grand compresseur alternatif du marché PET.

Le souci par l'excellence et l'implantation des hautes technologies ont créé une machine d'une valeur ajoutée, avec un réglage parfait et avec le meilleur ratio d'efficacité énergétique du marché.

CAPACITÉ	EFFICACITÉ	FIABILITÉ
6.000 m <sup>3</sup> /h	4 ÉTAGES DE COMPRESSION RÉGLAGE PARFAIT	FONCTIONNEMENT CONTINU 8.000 HEURES
Le 4HP-6-LT, avec un moteur de 1.000 kW, offre 6.000 m <sup>3</sup> /h de débit, plus de 80% en comparaison avec d'autres compresseurs alternatifs du marché.	<p><b>Éfficacité énergétique maximale:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>4 étages de compression</b>, en s'ajustant parfaitement au cycle isotherme.</li> <li>- <b>Cylindres à double effet</b>. Basse vitesse linéale.</li> <li>- <b>Accouplement direct</b>, avec mineurs pertes énergétiques dans la transmission.</li> <li>- Adaptation parfaite aux <b>variateurs de fréquence</b> (réglage jusqu'à 54% de la capacité).</li> </ul>	<p>Le compresseur ABC de cylindres horizontaux et opposés est parfaitement équilibré, <b>en évitant de possibles vibrations.</b></p> <p>Son dessin performant permet <b>d'opérer à basses températures</b> et d'augmenter la vie des pièces détachées.</p> <p>Avec tout ça, le compresseur 4HP-6-LT <b>travaille plus de 8.000 heures à plein charge sans arrêter pour l'entretien.</b></p>

GAMME	800 kW	900 kW	1.000 kW
Capacité 40 bar (m <sup>3</sup> /h FAD)	4.903	5.404	6.004
RPM	490	540	600
Puissance absorbée (kW)	705	786	888
Puissance installée (kW)	800	900	1.000
Poids (Tn)	40	40	40
Type d'accouplement (Direct)	Direct	Direct	Direct



### LE COMPRESSEUR LE PLUS GRAND ET LE PLUS EFFICACE DU MARCHÉ PET



## ANEXO N°7: Manual de Instalación de Compresor ABC 4HP-4LT

### 1. INSTRUCCIONES GENERALES

#### 1.4. CARACTERISTICAS TECNICAS

		ARIZAGA BASTARRICA Y CIA S.A. 20600 ESPAÑA / SPAIN		 0062	
MODELO / MODEL		4HP-4LT			
Nº DE SERIE / SERIAL NUMBER		23922			
AÑO DE CONSTRUCCION / CONSTRUCTION YEAR		2007			
PRESION NOMINAL / NOMINAL PRESSURE		42	BAR		
POTENCIA MOTOR / MOTOR POWER		555 / 408	CV / KW		
R.P.M. COMPRESOR / R.P.M. COMPRESSOR		545			

Fluido	<b>AIRE</b>
Caudal en m3/hora	2682
Presión de aspiración en bar	-
Potencia absorbida en cigüeñal en CV / KW	462,06 / 339,85
Transmisión	<b>CORREAS</b>
Engrase de cilindros	<b>NO</b>
Nº de etapas	4
— Ø Cilindro 1º etapa en mm	580
— Ø Cilindro 2º etapa en mm	370
— Ø Cilindro 3º etapa en mm	230
— Ø Cilindro 4º etapa en mm	145
Carrera de los pistones en mm	200
Caudal del agua de refrigeración del compresor en m3/h	31,47
Presión del aire de regulación en bar	9,5
Masa del compresor en kg	-
Masa del motor en kg	2000
Masa del equipo completo en kg	20700
Temperatura ambiente mín / máx °C	0 / 40
Temperatura agua de refrigeración mín / máx °C	5 / 40
Presión agua de refrigeración máx ( bar )	4
Tensión de Fuerza en Voltios	440
Tensión de Mando en Voltios	220
Frecuencia en Hz	60
Potencia total a instalar CV / KW	584 / 429,5

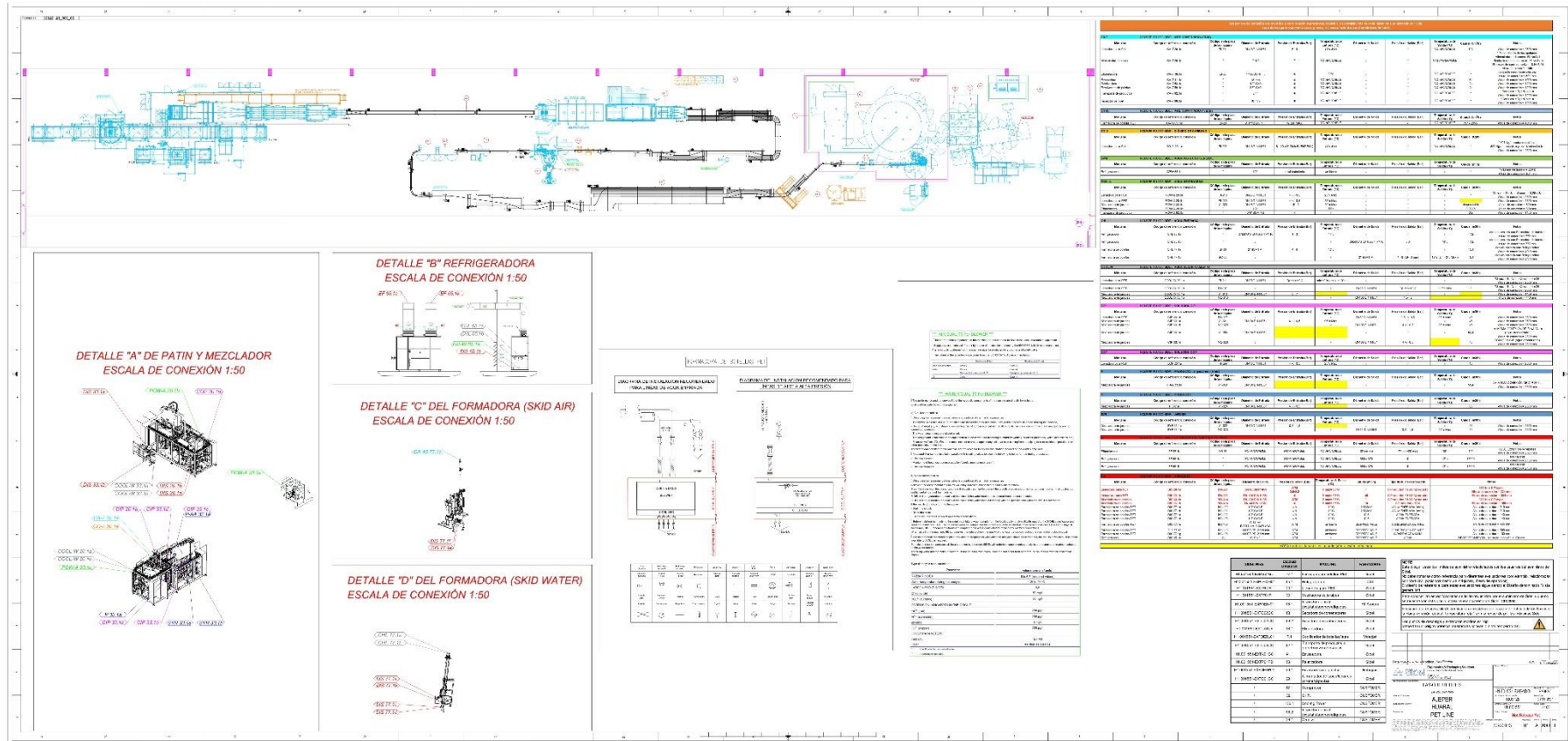




ANEXO N°9: Ficha técnica de línea 9

<b>Consumo de soploarar&amp;llenadora de Tech Long (Revision-01)</b>		
Potencia de planta: 3 fases: 440V/60HZ, voltaje monofásico: 220V/60HZ		
<b>ITEMS</b>	<b>CPX-12HS</b>	<b>Observaciones</b>
Potencia instalada (KW)	412	interruptor electrico: 541A
Potencia en operación (KW)	186	
Consumos de aire comprimido a alta presion (seco, libre de aceite y partículas)	21Nm3/minuto	Ese consumo se debería suministrar al equipo, con sistema de recuperación; No es capacidad del compresor, sin incluir pérdida de tubería
Presión de soplado para el formato de 500ml	35-40 bar	
Alimentador de preforma (KW)	Se han incluido	
Sistema de limpieza de preformas (KW) (aire ionizado + lámparas UV)	Se han incluido	
<b>ITEMS</b>	<b>Chiller-1-molde del fondo NQA10</b>	<b>Chiller-2-horno de calentamiento RQE3608</b>
Potencia instalada (KW)	23	36
Presión (Mpa)	PN0.5MPa	PN0.5MPa
Flujo (m3/h)	8 m3/h	8 m3/h
Temperatura suministrada (°C)	7-95°C	7-20°C
<b>Nota:</b> El cable de alimentación eléctrica debería conectarse a cada enfriador(chiller) por separado		
<b>ITEMS</b>	<b>Monobloque de llenadora SRFFC70306015T.36</b>	<b>Observaciones</b>
Potencia instalada (KW)	40	interruptor electrico: 41A
Alimentador de tapa (KW)	Se han incluido	
Aire de baja presión (6~8 bar)	1000-1200L/min*2	2 puntos de conexión de cable diametro de 12mm
<b>ITEMS</b>	<b>4TPH pulp pasteurizador</b>	<b>Observaciones</b>
Potencia instalada (KW)	25	
Vapor (8-10 bar)	650-800 kg/h	Valor de PH: 9-10, Total hardness: 10dH
Agua tratada (3.5-4.0bar)	20 toneladas por hora	Temperatura máxima del agua 25°C
Agua helada (2.5-3.0bar)	15 toneladas por hora	Temperatura máxima del agua fría: <2°C
Agua de torre de enfriamiento (2.5-3.0bar)	20 toneladas por hora	Temperatura máxima del agua de enfriamiento : <32°C
aire comprimido a baja presión (6~8 bar)	50 NL/h	seco, libre de aceite y partículas; Punto de rocío a presión: -20°C
Soda caustica	2.0-2.5 %	Concentración de líquido: 30-50%; Hierro: max.:55ppm; Cloruro: max.:10ppm;
Ácido nítrico	1,2-1,5%	Concentración de líquido: 65%-86%; Libre de cloruro
<b>Nota-1:</b> El consumo de aire a alta presión esta en base de 20°C, 50m altitud sobre el mar, no es la capacidad del compresor, que también dependerá de las condiciones ambientales de la planta.		
Nota-2: Todos los datos de consumo es lo que quieren las máquina, que no incluye pérdida de tubería.		
Por: Nicolas Song	Fecha: 02-Oct-2019	Fecha revisada: 07-Oct-2019

# ANEXO N°10: Plano Técnico de línea Sidel Nueva






# ANEXOS N°11: Ficha Técnica de Sopladora de Línea Sidel Indonesia

Sidel		ENERGY REQUIREMENT		SBO 34 XS Highspeedeco	
BOTTLE SPECIFICATIONS					
Number of mould	mold	34	34		
Oven module length / Oven heating box number		0/28	0/28		
Loading one every other mould option		No	No		
Bottle/process characteristic		Still	Still		
Bottle volume	l	0.63	0.50		
mould output rate	B/h/m*	2,058	2,058		
Machine output	B/h*	69,972	69,972		
Bottle height under neck ring	mm	224	212		
Bottle weight	g	13	13		
*B/h/m = Bottle per hour per mould - B/h = Bottle per hour					
PNEUMATIC REQUIREMENTS					
For further information, please refer to chapter: "Air quality", in the Presentation Manual.					
CHARACTERISTICS					
High Pressure (blowing)	bar	25	25		
Low Pressure (service)	bar	7	7		
CONSUMPTION (at the machine inlet)		FALSE			
<b>Without the air recovery option</b>					
High Pressure air consumption	Including vortex	(m <sup>3</sup> )/h **	1,859	1,640	
Low Pressure air consumption		(m <sup>3</sup> )/h **	648	637	
Bottle base cooling option	Air system (Vortex)	(m <sup>3</sup> )/h **	0	0	
TOTAL High Pressure air consumption		(m <sup>3</sup> )/h **	2,507	2,277	
<b>With the air recovery and 40/7 bar pressure reduction options</b>					
High Pressure air consumption	Including vortex	(m <sup>3</sup> )/h **	1,708	1,508	
Low Pressure air consumption*		(m <sup>3</sup> )/h **	259	299	
Bottle base cooling option	Air system (Vortex)	(m <sup>3</sup> )/h **	0	0	
TOTAL High Pressure air consumption		(m <sup>3</sup> )/h **	1,967	1,807	
Low pressure air excess available for customer network (estimated)					
		(m <sup>3</sup> )/h **	0	0	
*Without 40/7bar pressure reduction option, requirement of 7 bar for brakes, control actuators and first 3 turns of blow wheel (10 (m <sup>3</sup> )/h)					
Other possible option					
Deduct module air consumption (4 bar pressure)		(m <sup>3</sup> )/h **	285	285	
** (m <sup>3</sup> )/h = Nm <sup>3</sup> /h : Represents the quantity of dry air present in 1m <sup>3</sup> under normal temperature and pressure conditions.					
*Normal pressure = Atmospheric pressure at zero altitude = 1,013 bar - "Normal" Temperature = 0°C = 273K					
ELECTRICITY REQUIREMENTS					
CHARACTERISTICS					
400 volts (+10% / -10%) – 3 phases – 50/60 HZ + Ground – Power factor > 0,97					
Short circuit current at the machine feed point should not be over 25 kA					
ESTIMATED POWER REQUIREMENT					
Electrical consumption		Standard	Standard	Standard	Standard
Blower	Ecooven	kW	199	180	
The values indicated are provided as general information and may in no way be considered as contractual.					
INSTALLED POWER*					
Blower	10 lamps heati	kW	619		
<b>Connections available on option:</b>					
Number of ancillaries power supply			4		
Total power available for ancillaries		kW	380		
Possible power supply available		kW	11 / 25 / 35 / 50 / 73 / 90		
WATER REQUIREMENTS					
For further information, please refer to chapter : "Quality of water distribution circuits", in the Presentation Manual.					
CHARACTERISTICS					
Water pressure at machine inlet : 4 to 6 bar (average inlet / outlet DP = 3 bar)					
Recommended Temperature difference (inlet/outlet) DT* = 3°C maximum					
COOLING SHIELDS OVEN (Water at 12°C)					
Requested flow	m <sup>3</sup> /h	3			
Heat energy to be discharged per hour	kJ *	74,635	74,635		
COLD MOULD THERMAL CONDITIONNING (Water at 12°C)					
Flow to mould bodies and bases	m <sup>3</sup> /h	30.6			
Heat energy to be discharged per hour for mould bodies and bases	kJ *	138,730	138,730		
Temperature difference (inlet/outlet) DT*	°C	1.1	1.1		
*Reminder : 1kJ = 0,24 kcal approximately.					
**Does not include calories dissipated into the cold water circuit in the heater itself.					
OVEN VENTILATION REQUIREMENTS*					
*The suction hood is available on option.					
OVEN COOLING (Preforms + Lamp caps)					
Heat energy emitted per hour in the workshop	kJ	486,657	416,204		
Ventilation	m <sup>3</sup> /h	36,715			
These figures are taken at the machine inlet with an ambient temperature of 25°C maximum and in stabilized production.					
This data sheet cannot be considered as contractual document. Above consumptions may have +/-10% deviation. Sidel keep right to readjust them if conditions menti					
The consumptions are announced for an optimum process, good suitability bottle/preform, preform RH between 500 & 2500ppm, preform stocking at 20°C.					
Consumptions may change with site conditions, preform shape, bottle shape, preform weight and PET resin.					
SP	Energy report	08/12/2020			

## ANEXOS N°12: Ficha Técnica de Sopladora de Línea 20

 <b>SIPA</b> <i>Plastic Packaging Systems</i>	<b>Scheda Tecnica / Machine Technical Data</b>	
	Modello/ Model: SFR-20-EVO Descr.: Revisione / Revision: 2 Data / Date: 14/03/2008 11.24.00 Stato / State: APPROVATO Da / By: ERNESTO EUSEBIONE	Internal ref.: 2008 - 00000004  Pag. 1 / 1

### MOLDES DE SOPLADO

NUMERO CAVIDADES DE SOPLADO	Nº	20
Número moldes de soplado	Nº	20
<b>CARACTERISTICAS VARIAS</b>		
Dimensiones LxBxH	m.	9,7x5,0x3,7

Peso Máquina	Kg	18.500
Peso Cabina	Kg	3.200
Peso tolva y volcador	Kg	3.000
Peso total máquina en régimen	Kg	24.700
Color standard	RAL	7.001

### ENERGIA ELÉCTRICA

SISTEMA DE ALIMENTACION		3F + N + T
TENSION DE RED	V	400 (+10 -10%)
Frecuencia de red	Hz	50/60 (+2 -2%)
Potencia total instalada	KW	417
Factor de potencia (Cos fi) medio		0,99

### AIRE COMPRIMIDO PARA MOVILIZACION

	Nm³/h	110
	Nm³/h	125
	Nm³/h	135
consumo aire para enfriamiento cuello (solo cuellos especiales)	Nm³/h	50

### AIRE COMPRIMIDO PARA SOPLADO

Presión soplado	Bar	20	30	40
Consumo aire para recipiente de 0,25 lt	Nm³/h	792	1187	1583
Consumo aire para recipiente de 0,50 lt	Nm³/h	998	1496	1995
Consumo aire para recipiente de 1,00 lt	Nm³/h	1410	2114	2819
Consumo aire para recipiente de 1,50 lt	Nm³/h	1822	2732	3643
Consumo aire para recipiente de 2,00 lt	Nm³/h	2234	3350	4467

Potencia térmica **	kW	107,6
Temperatura agua entrada	°C	10÷12
Delta temperatura entrada - salida	°C	3
Caudal agua refrigeración	m³/h	30,8
Presión entrada	Bar	4,5

### DIMENSION RECIPIENTE

ALTURA MINIMA CUELLO PREFORMA	mm	10
ALTURA MAXIMA CUELLO PREFORMA	mm	24,6
	mm	150
ALTURA MAXIMA BOTELLA (CUELLO EXCLUSO)	mm	349
DIAMETRO/DIAGONAL MAXIMA BOTELLA	mm	125
DIAMETRO MAXIMO CUELLO PREFORMA	mm	38

### Notas

\*\* Depende del recipiente en producción

Calidad pedida aire comprimido soplado en acuerdo con las normas DIN ISO 8573:1

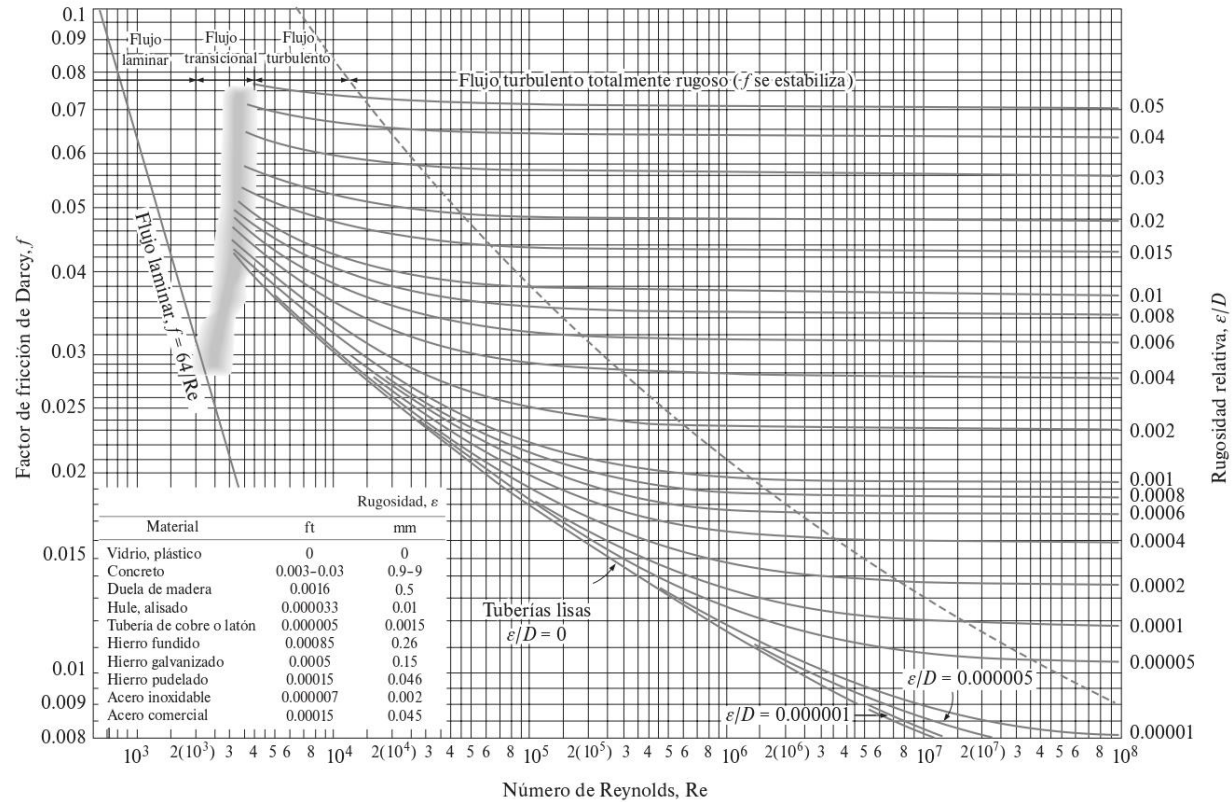


ANEXO N°14: Ficha Técnica de Acero Inoxidable ASTM A312 AISI 304

# Presión de Trabajo para Tubos de Acero Inoxidable Soldables EFW ASTM A312 304 / 304L SCH 40S / 80S

TEMPERATURE °C		-254 to 149	204	260	315	343	371	399	427	454	482	510	538	565	593	621	649	676	704	732	760	788	815	
MAX STRESS		20000	18700	17500	16400	16200	16000	15600	15200	14900	14600	14400	13800	12200	9700	7700	6000	4700	3700	2900	2300	1800	1400	
NOM. PIPE SIZE	SCH. NO.	NOM. WALL	ALLOWABLE WORKING PRESSURES PSIG																					
			1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	3 1/2	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	24		
1/2	40S	109	3034	2870	2689	2543	2489	2453	2146	2362	2325	2162	1799	1417	1145	927	727	581	472	382	309	200	182	164
	80S	147	4092	3871	3626	3430	3357	3308	3259	3185	3136	2916	2426	1911	1544	1250	980	784	637	515	417	270	245	221
3/4	40S	113	2516	2381	2230	2109	2064	2034	2004	1959	1929	1793	1492	1175	949	768	603	482	392	316	256	166	151	136
	80S	154	3429	3244	3039	2875	2813	2772	2731	2669	2628	2443	2033	1602	1294	1047	821	657	534	431	349	226	205	185
1	40S	133	2365	2237	2096	1962	1940	1912	1863	1841	1812	1685	1402	1104	892	722	566	453	368	297	241	156	142	127
	80S	179	3183	3011	2820	2668	2611	2573	2535	2477	2439	2268	1887	1486	1201	972	762	610	495	400	324	210	191	172
1 1/4	40S	140	1972	1866	1747	1653	1618	1594	1570	1535	1511	1405	1169	921	744	602	472	376	307	248	201	130	118	106
	80S	191	2690	2545	2384	2255	2207	2175	2142	2094	2062	1917	1595	1256	1015	822	644	515	419	338	274	177	161	145
1 1/2	40S	145	1784	1688	1561	1496	1464	1442	1421	1389	1368	1271	1058	833	673	545	427	342	278	224	182	118	107	96
	80S	200	2461	2328	2181	2063	2019	1989	1960	1916	1886	1754	1459	1149	928	752	589	472	383	309	251	162	147	133
2	40S	154	1516	1434	1344	1271	1244	1226	1207	1180	1162	1080	899	708	572	463	363	290	236	191	154	100	91	82
	80S	218	2146	2030	1902	1799	1761	1735	1709	1671	1645	1529	1272	1002	810	655	514	411	334	270	218	141	129	116
2 1/2	40S	203	1651	1562	1463	1384	1354	1335	1315	1285	1265	1176	979	771	623	504	395	316	257	208	168	109	99	89
	80S	276	2244	2124	1989	1882	1841	1814	1788	1747	1720	1599	1331	1048	847	685	538	430	349	282	228	148	134	121
3	40S	216	1443	1365	1279	1210	1184	1166	1149	1123	1106	1028	855	674	544	441	348	276	225	181	147	95	86	78
	80S	300	2004	1896	1776	1680	1644	1620	1596	1560	1536	1428	1188	938	756	612	480	384	312	252	204	132	120	108
3 1/2	40S	226	1321	1250	1171	1107	1084	1068	1052	1028	1012	941	783	617	498	403	316	253	206	166	134	87	79	71
	80S	318	1859	1759	1647	1558	1525	1503	1460	1447	1425	1324	1102	868	701	568	445	356	289	234	169	122	111	100
4	40S	237	1231	1165	1091	1032	1010	995	981	959	944	877	730	575	465	376	295	236	192	155	125	81	74	66
	80S	337	1751	1657	1552	1468	1436	1415	1394	1363	1342	1248	1038	818	661	535	419	336	273	220	178	115	105	94
5	40S	258	1084	1026	961	909	890	877	864	844	831	773	643	506	409	331	260	208	169	136	110	71	65	58
	80S	375	1576	1491	1397	1321	1293	1274	1255	1227	1208	1123	934	738	595	481	377	302	245	198	160	104	94	85
6	40S	280	988	935	876	828	811	799	787	769	757	704	586	462	373	302	237	189	154	124	101	65	59	53
	80S	432	1525	1442	1351	1278	1251	1232	1214	1187	1169	1086	904	712	575	466	365	292	237	192	155	100	91	82
8	40S	322	873	826	774	732	716	706	695	679	669	622	517	408	329	267	209	167	136	110	89	57	52	47
	80S	500	1355	1262	1201	1136	1112	1096	1079	1055	1039	966	803	633	511	414	325	260	211	170	138	89	81	73
10	40S	385	794	751	704	665	651	642	632	618	608	586	471	371	299	242	190	152	124	100	81	52	48	43
	80S	500	1087	1029	984	912	892	879	866	847	833	775	645	508	410	332	260	208	169	137	111	72	65	59
12	40S	375	688	651	609	576	564	556	548	535	527	490	408	321	259	210	165	132	107	86	70	45	41	37
	80S	500	917	867	813	769	752	741	730	714	703	653	544	428	346	280	220	176	143	115	93	60	55	49
14	40S	375	626	593	555	525	514	506	499	488	480	446	371	293	236	191	150	120	98	79	64	41	38	34
	80S	500	835	790	740	700	685	675	665	650	640	595	495	390	315	255	200	160	130	105	85	55	50	45
16	40S	375	548	518	486	459	450	443	438	427	420	390	325	256	207	167	131	105	85	69	56	36	33	30
	80S	500	731	691	648	613	599	591	582	569	560	521	433	341	276	223	175	140	114	92	74	48	44	39
18	40S	375	487	461	432	408	400	394	388	379	373	347	289	228	184	149	117	93	76	61	50	32	29	26
	80S	500	649	614	576	544	533	525	517	506	498	463	385	303	245	198	156	124	101	82	66	43	39	35
20	40S	375	438	415	389	368	360	354	349	341	336	312	260	205	165	134	105	84	68	55	45	29	26	24
	80S	500	585	553	518	490	480	473	466	455	448	417	347	273	221	179	140	112	91	74	60	39	35	32
24	40S	375	365	346	324	306	300	295	291	284	280	260	217	171	138	112	88	70	57	46	37	24	22	20
	80S	500	487	461	432	408	400	394	388	379	373	347	289	228	184	149	117	93	76	61	50	32	29	26

# ANEXO N°15: Tabla de Factores de Fricción



**FIGURA A-12**

El diagrama de Moody para el factor fricción para flujo totalmente desarrollado en tuberías circulares para usar en la relación de pérdida de carga  $h_L = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$ . Los factores de fricción en el flujo turbulento se evalúan a partir de la ecuación de Colebrook  $\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left( \frac{\epsilon/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right)$ .

# ANEXO N°16: Ficha Técnica de Flujómetro Vórtex Proline Prowirl F 200


Proline Prowirl F 200

Order code for "Sensor version; DSC sensor; measuring tube"		
Option	Description	Measured variable
CC	Mass; Alloy C22; Alloy C22 (integrated temperature measurement)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Degrees of superheat</li> </ul>
DA	Mass steam; 316L; 316L (integrated pressure/temperature measurement)	
DB	Mass gas/liquid; 316L; 316L (integrated pressure/temperature measurement)	

Order code for "Sensor version", option "mass flow (integrated temperature measurement)" combined with order code for "Application package"		
Option	Description	Measured variable
EU	Wet steam measurement	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Steam quality</li> <li>▪ Total mass flow</li> <li>▪ Condensate mass flow</li> </ul>

## Measuring range

The measuring range is dependent on the nominal diameter, the fluid and environmental influences.

 The following specified values are the largest possible flow measuring ranges ( $Q_{min}$  to  $Q_{max}$ ) for each nominal diameter. Depending on the fluid properties and environmental influences, the measuring range may be subject to additional restrictions. Additional restrictions apply to both the lower range value and the upper range value.

### Flow measuring ranges in SI units

DN [mm]	Liquids [m³/h]	Gas/steam [m³/h]
15	0.076 to 4.9	0.39 to 25
25	0.23 to 15	1.2 to 130
40	0.57 to 37	2.9 to 310
50	0.96 to 62	4.9 to 820
80	2.2 to 140	11 to 1800
100	3.7 to 240	19 to 3200
150	8.5 to 540	43 to 7300
200	15 to 950	75 to 13000
250	23 to 1500	120 to 20000
300	33 to 2100	170 to 28000

### Flow measuring ranges in US units

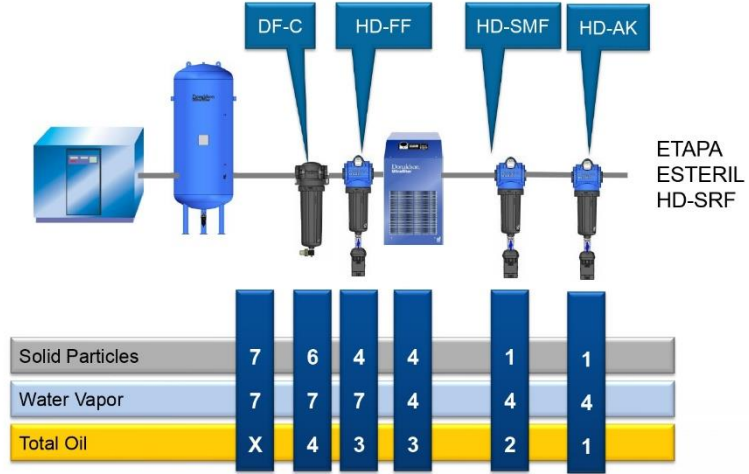
DN [in]	Liquids [ft³/min]	Gas/steam [ft³/min]
½	0.045 to 2.9	0.23 to 15
1	0.14 to 8.8	0.7 to 74
1½	0.34 to 22	1.7 to 180
2	0.56 to 36	2.9 to 480
3	1.3 to 81	6.4 to 1100
4	2.2 to 140	11 to 1900
6	5 to 320	25 to 4300
8	8.7 to 560	44 to 7500

# ANEXO N°17: Catálogo de filtros de sopladoras PET



## Industrial Applications

Air for general purpose (Solution 1)



# ANEXO N°18: Ficha Técnica de Válvula de Purga

SDS M3208-42



## FREE FLOAT DRAIN TRAP

### MODEL JAH7RG

HIGH-PRESSURE FREE FLOAT DRAIN TRAP WITH TIGHT SHUT-OFF FOR AIR AND INERT GAS SERVICE

#### Features

Large-capacity cast steel\* free float trap automatically drains condensate and oil from air and inert gas systems.

1. Self-modulating free float provides continuous, smooth, low-velocity condensate discharge as process loads vary.
2. Precision-ground float and three-point seating provides superior sealing, even under no-load conditions (with rubber orifice).
3. Only one moving part, the free float, eliminates concentrated valve wear and provides long maintenance-free service life.
4. Built-in screen with large surface area ensures extended trouble-free service.

\* Stainless steel body available on request



#### Specifications

Model	JAH7RG-R (rubber orifice)		JAH7RG-M (metal orifice)	
	Socket Welded	Flanged	Socket Welded	Flanged
Size (mm)	20, 25, 40, 50		20, 25, 40, 50	
Orifice No.	10, 22, 40		G5, G10, G22, G40, G46	
Maximum Operating Pressure (MPaG)	PMO**		0.5, 1.0, 2.2, 4.0, 4.6	
Maximum Differential Pressure (MPa)	ΔPMX**		0.5, 1.0, 2.2, 4.0, 4.6	
Minimum Operating Pressure (MPaG)	0.01		0.01	
Maximum Operating Temperature (°C)	TMO		425	
Minimum Condensate Load for Tight Sealing (kg/h)	0		5	
Applicable Fluids*	Air, Inert Gases			

\* Do not use for toxic, flammable, or otherwise hazardous fluids. 1 MPa = 10.197 kg/cm²  
 PRESSURE SHELL DESIGN CONDITIONS (NOT OPERATING CONDITIONS): Maximum Allowable Pressure (MPaG) PMA: 4.6  
 Maximum Allowable Temperature (°C) TMA: 425

\*\* For fluids with specific gravities other than 1.0, use the table below

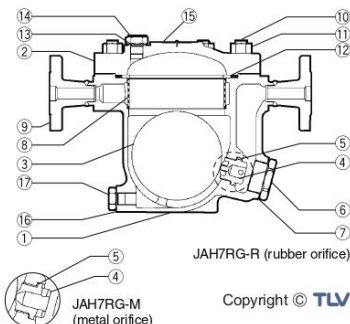
Model	Orifice No.	Specific Gravity										
		1.00	0.99 - 0.95	0.94 - 0.90	0.89 - 0.85	0.84 - 0.80	0.79 - 0.75	0.74 - 0.70	0.69 - 0.65	0.64 - 0.60	0.59 - 0.55	0.54 - 0.50
		Maximum Operating Pressure PMO (MPaG) & Maximum Differential Pressure PMX (MPa)										
JAH7RG-R	10	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.87	0.75	0.63	0.51	0.38	0.26
	22	2.20	2.20	2.20	2.20	2.15	1.88	1.62	1.36	1.09	0.83	0.57
	40	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	3.54	3.05	2.55	2.06	1.56	1.07
JAH7RG-M	G5	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.44	0.38	0.32	0.26	0.20	0.13
	G10	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.87	0.75	0.63	0.51	0.38	0.26
	G22	2.20	2.20	2.20	2.20	2.15	1.88	1.62	1.36	1.09	0.83	0.57
	G40	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	3.54	3.05	2.55	2.06	1.56	1.07
	G46	4.60	4.60	4.60	4.60	4.51	3.77	3.02	2.28	1.53	0.79	0.04



To avoid abnormal operation, accidents or serious injury, DO NOT use this product outside of the specification range. Local regulations may restrict the use of this product to below the conditions quoted.

No.	Description	Material	JIS	ASTM/AISI*
①	Body	Cast Steel	—	A216 Gr. WCB
②	Cover	Carbon Steel	S25C	AISI1025
③	Float	Stainless Steel	SUS316L	AISI316L
④	Orifice	Fluorine Rubber/Stain. Steel	FPM/SUS316L	D2000HK/AISI316L
⑤	Orifice Gasket	Soft Iron	SUYP	AISI1010
⑥	Orifice Plug	Cast Stainless Steel	—	A351 Gr. CF8
⑦	Orifice Plug Gasket	Soft Iron	SUYP	AISI1010
⑧	Screen	Stainless Steel	SUS430	AISI430
⑨	Socket**/Flange	Carbon Steel	—	A105
⑩	Cover Bolt	Alloy Steel	SNB16	A193 Gr. B16
⑪	Cover Nut	Carbon Steel	S45C	AISI1045
⑫	Cover Gasket	Graphite/Stainless Steel	- / SUS304	- / AISI304
⑬	Plug Gasket	Soft Iron	SUYP	AISI1010
⑭	Balancing Line Plug	Carbon Steel	S25C	AISI1025
⑮	Nameplate	Stainless Steel	SUS304	AISI304
⑯	Drain Plug Gasket	Soft Iron	SUYP	AISI1010
⑰	Drain Plug	Carbon Steel	S25C	AISI1025

\* Equivalent \*\* Shown on reverse



Copyright © TLV



## ANEXO N°19: Procedimiento de instalación de compresor ABC 4HP-4LT

### 3 INSTALACION

#### 3.1 INSTRUCCIONES GENERALES

Debe procurarse espacio suficiente alrededor del compresor de forma que pueda realizarse adecuadamente los trabajos de mantenimiento.

Es preciso prever tanto el suministro eléctrico, como el de agua, ambos acorde a las necesidades del equipo compresor.

Nuestro equipo tiene una conexión a tierra. Si la tierra disponible por el usuario no fuera fiable, deberá instalar un Interruptor Diferencial por seguridad.

La aspiración del compresor se debe hacer en un lugar en el que el aire esté exento de polvo y sea seco.

Si el aire del lugar en que se encuentra instalado el compresor no cumple estas condiciones, recomendamos colocar la aspiración fuera del lugar ( o instalar un filtro especial, que podemos suministrar bajo pedido ).

En el caso en que el montaje del filtro precise una tubería de unión, hay que prever esta última tan corta como sea posible. Su diámetro debe ser superior al de la brida de entrada del aire y si es necesario colocar codos, deberán tener curvas del mayor radio posible, cuidando de su limpieza interior antes de realizar las primeras pruebas.

En el caso en que el compresor se coloque en un lugar donde no puede tolerarse el ruido, hay que colocar entre el compresor y el filtro una capacidad suficiente para regularizar los caudales.

Sin embargo, hay que evitar hacer las paredes de esta capacidad de chapa plana para prevenir vibraciones.

La instalación eléctrica está diseñada para soportar correctamente variaciones en la tensión de alimentación de hasta un 5% de la tensión nominal. Variaciones superiores pueden dar origen a fuertes deterioros en el equipo, por lo que no se pueden admitir.

Les recordamos que no somos responsables de la puesta a punto y el buen funcionamiento de nuestro material más que en el caso en que el montaje sea ejecutado por nuestro personal ó bajo su dirección.



## ANEXO N°20: Procedimiento de funcionamiento de compresor ABC 4HP-4LT

### 4. FUNCIONAMIENTO

#### 4.1. SERVICIO SEGURO

No hacer trabajar al compresor por encima de las condiciones de trabajo que figuran en la hoja de CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS.

Cuidar de que el área alrededor del compresor esté limpia.

- Limpiar las fugas de agua y de aceite con prontitud y eliminar la causa de la fuga.
- Mantener los accesos al compresor libres de herramientas, recipientes de aceite, trapos u otros obstáculos

Si por cualquier razón el compresor trabaja sin agua y se produce un sobrecalentamiento en los cilindros, no introducir agua en el circuito de refrigeración hasta que los cilindros se hayan enfriado. El introducir agua fría puede causar la rotura de los mismos.

No desconectar nunca una seguridad ni permitir que el compresor trabaje desprotegido.

No apretar los espárragos, tornillos o tuercas de los recipientes a presión o de los cilindros a menos que el compresor esté parado y despresurizado.

En caso de incendio en el motor no usar agua para apagarlo, usar CO<sub>2</sub>.

Si una Válvula de Seguridad dispara durante el funcionamiento del compresor, parar inmediatamente el mismo y determinar la causa.

Las Válvulas de Seguridad no están destinadas a servir como válvulas de control de presión, es decir, no se debe hacer la regulación del compresor disparando la Válvula de Seguridad.

Cuando haya peligro de helada y el compresor esté parado, asegurarse de haber vaciado manualmente los purgadores, vaciar el agua del circuito de refrigeración, ó bien glicolar el circuito en la proporción adecuada.

Cuando el circuito de refrigeración de agua emplee una torre evaporativa, se recomienda consultar con un especialista en tratamiento de aguas, para prevenir y evitar los riesgos que se detallan en el Manual propio de la torre.

No se almacenarán cerca del compresor sustancias fácilmente inflamables como aceites, gasolina, disolventes, desperdicios, . . .etc

El compresor no debe ser puesto en marcha sin tener puestos los protectores de las partes en movimiento.



ANEXO N°21: Presupuestos de material requerido para el diseño de tuberías de aire comprimido de alta presión

ENTREG. N°01		PRESUPUESTO DE AIRE COMPRIMIDO DE ALTA PRESIÓN									
ANÁLISIS DEL SUB-PRESUPUESTO											
COSTOS DIRECTOS					DESCRIPCIÓN		%	MONTO US\$	MONTO S/.		
DESCRIPCIÓN	MONTO US\$	MONTO S/.	PORCENTAJE		DESCRIPCIÓN						
MATERIALES	\$ 96,826.74	S/. 358,258.94	100%		TOTAL COSTO DIRECTO		\$ 96,826.74	S/. 358,258.94			
EQUIPOS Y HERRAMIENTAS	\$ -	S/. -	0%		GASTOS GENERALES	0%	\$ -	S/. -			
CONSUMIBLES	\$ -	S/. -	0%		UTILIDAD	0%	\$ -	S/. -			
SERVICIOS	\$ -	S/. -	0%		TOTAL SUB-PRESUPUESTO		\$ 96,826.74	S/. 358,258.94			
MANO DE OBRA DIRECTA	\$ -	S/. -	0%		A	TOTAL KG	0.00	US\$-KG	0.00	PLAZO DE EJECUCIÓN	30.00
TOTAL COSTO DIRECTO	\$ 96,826.74	S/. 358,258.94	100%		T	PEGAS X Ø	0.00	US\$-SOLD	0.00	VALIDEZ DE OFERTA	30 DÍAS
					O	TOTAL HH	0.00	US\$-HH	0.00	TIPO DE CAMBIO US\$	3.70

COSTOS DIRECTOS						
MATERIALES						
ITEM	DESCRIPCIÓN	DIAM.	UND	CANTIDAD	PRECIO POR METRO	SUBTOTAL
	AIRE DE ALTA					
1	TRONCALES LINEAS	1	MTR	3	30.42	\$ 91.25
2	TRONCALES LINEAS	1 1/2	MTR	8	42.34	\$ 338.69
3	TRONCALES LINEAS	2	MTR	79	53.27	\$ 4,208.47
4	TRONCALES LINEAS	2 1/2	MTR	3	80.66	\$ 241.99
5	TRONCALES LINEAS	3	MTR	34	99.06	\$ 3,367.99
6	TRONCALES LINEAS	4	MTR	260	135.85	\$ 35,320.24
7	TRONCALES LINEAS	6	MTR	232	222.88	\$ 51,708.52
8	TRONCALES LINEAS	8	MTR	5	309.92	\$ 1,549.58
<b>TOTAL COSTO MATERIALES</b>						<b>\$ 96,826.74</b>

# ANEXO N°22: Cotización de tuberías para aire comprimido de alta presión



COTIZACIÓN : E58-2102143

- \* PLANCHAS
- \* TUBOS
- \* BARRAS
- \* ANGULOS
- \* PLATINAS
- \* ACCESORIOS

**Cliente :**  
**Ruc :**  
**Atención :** SR. PATRICK GARCIA  
**Dirección :**  
**Fecha :** 24/02/2021  
**Referencia :**

**Código :** B02735  
**Validez de oferta :** 01 DIA  
**Plazo de entrega :** Inmediata, Salvo Venta Previa y/o sujeta a disponibilidad.  
**Forma de pago :** CONTADO INMEDIATO

Estimados señores:

En atención a su amable solicitud de cotización, les presentamos nuestra siguiente oferta:

Item	Código	Descripción	Und	Cantidad	P.U. sin IGV	Total US\$
1	TB4G1L30	TUBO A. INOX. C-304L SCH-40 C/C 1" ASTM A312	MT	36.00	8.49	305.64
2	TB4G1L40	TUBO A. INOX. C-304L SCH-40 C/C 1 1/2" ASTM A312	MT	60.00	13.71	822.60
3	TB4G1L45	TUBO A. INOX. C-304L SCH-40 C/C 2" ASTM A312	MT	42.00	19.58	822.36
4	TB4G1L55	TUBO A. INOX. C-304L SCH-40 C/C 3" ASTM A312	MT	30.00	38.25	1,147.50
5	TB4G1L60	TUBO A. INOX. C-304L SCH-40 C/C 4" ASTM A312	MT	12.00	54.44	653.28
6	TB4G8060	TUBO A. INOX. C-304L SCH-80 C/C 4" ASTM A312	MT	12.00	93.92	1,127.04
7	TB6G1L30	TUBO A. INOX. C-316L SCH-40 C/C 1" ASTM A312	MT	36.00	12.00	432.00
8	TB6G1L40	TUBO A. INOX. C-316L SCH-40 C/C 1 1/2" ASTM A312	MT	60.00	21.49	1,289.40
9	TB6G1L45	TUBO A. INOX. C-316L SCH-40 C/C 2" ASTM A312	MT	42.00	28.40	1,192.80
10	TB6G1L55	TUBO A. INOX. C-316L SCH-40 C/C 3" ASTM A312	MT	30.00	53.29	1,598.70
<b>Sub total</b>					:	9,391.32
<b>I.G.V 18.00 %</b>					:	1,690.44
<b>Total Peso KG.:</b> 2,304.20					<b>Total Cotización</b>	<b>US\$ : 11,081.76</b>

**BRINDAMOS SERVICIOS DE CORTE CON GUILLOTINA, CORTE POR CHORRO DE AGUA Y DOBLEZ DE ACUERDO A SUS NECESIDADES**

**Observaciones**

- \* Pagadero en dólares americanos o soles al tipo de cambio vigente en la fecha de pago.
- \* Una vez pactadas las condiciones de venta y crédito, estas no podrán ser modificadas.
- \* Esta cotización se ha realizado en base a las cantidades totales de vuestra solicitud, de modificar su requerimiento los precios podrán estar sujetos a cambios y ser recotizados.

**Horarios de atención de almacén**

**Lunes a Viernes:** 08:00 - 11:30  
 15:00 - 17:00  
**Sabados:** 08:00 - 12:00

Sin otro particular y a la espera de vernos favorecidos con vuestra orden de compra nos despedimos de uds.

Atentamente,

Francisca Bravo  
Ejecutivo de Ventas  
Celular: 998275244

		Cta. Recaudadora Para depósitos en ventanilla	Cta. corriente Para transferencias desde mismo banco	Cta. Interbancaria Para transferencias desde otros bancos
	<b>Soles</b>	000-1062719	000-1062719	009-254-00001062719-48
	<b>Dolares</b>	000-0245045	000-0245045	009-254-00000245045-40
	<b>Soles</b>	Convenio 3151	0011-0166-01-00002152	0011-166-000100002152-65
	<b>Dolares</b>	Convenio 3152	0011-0166-01-00006689	0011-166-000100006689-62
	<b>Soles</b>	Recaudadora	192-0630163-0-82	002-192-000630163082-35
	<b>Dolares</b>	Recaudadora	192-0726732-1-36	002-192-000726732136-37



**FIORELLA**  
Representaciones S.A.C.  
Importador y Distribuidor



**Central:** CALLE OMICRON 215 PARQ.INT. DE LA IND. Y COMERCIO - CALLAO  
**Sucursal:** CALLE EMILIO FORT DEL SOLAR N° 161/169 - SANTA ANITA  
**Próxima Apertura:** Calle Enrique Meiggs 297 Parq. Int. de la Ind. y Comercio / Callao  
**Central telefónica:** 3196160 / **Email:** ventas@fiorellarepre.com.pe  
**WWW.FIORELLAREPRE.COM.PE**

### COTIZACIÓN

**Cotización N°** CC\*2021-0011328512  
**Fecha :** 12/02/2021  
**Moneda :** Dolares Americanos

**Asesor de Ventas:** BERNILLA ROJAS, BETTY  
**Email :**  
**Teléfono:** 946126140

### TIPO DE CAMBIO

**3.6700**

### DATOS DEL CLIENTE

**Razón Social:** Nacional (Local):  X  
**RUC:** Exportación:  Incoterm:  
**Dirección:** Teléfono:  
**Referencia:** Correo:  
**Atención:**

Estimados señores:

Por la presente nos es grato hacerles llegar nuestra cotización por el siguiente material:

ITEM	CANT.	UDM	CODIGO	PRODUCTO	V.UNIT	V.TOTAL
1	1.00	Pza	806007120	TUBO ACERO INOX. C/C SCH-40 C-304L X 6 MT. 1/2"	26.90	26.90
2	1.00	Pza	806007160	TUBO ACERO INOX. C/C SCH-40 C-304L X 6 MT. 3/4"	34.24	34.24
3	1.00	Pza	806007200	TUBO ACERO INOX. C/C SCH-40 C-304L X 6MT 1"	48.93	48.93
4	1.00	Pza	806007340	TUBO ACERO INOX. C/C SCH-40 C-304L X 6 MT. 2"	107.13	107.13
5	1.00	Pza	806007290	TUBO ACERO INOX. C/C SCH-40 C-304L X 6 MT. 1 1/2"	77.88	77.88
6	1.00	Pza	806007400	TUBO ACERO INOX. C/C SCH-40 C-304L X 6 MT. 2 1/2"	170.08	170.08
7	1.00	Pza	806007520	TUBO ACERO INOX. C/C SCH-40 C-304L X 6 MT. 4"	318.36	318.36
8	1.00	Pza	806007600	TUBO ACERO INOX. C/C SCH-40 C-304L X 6 MT. 6"	562.50	562.50
9	1.00	Pza	806007640	TUBO ACERO INOX. C/C SCH-40 C-304L X 6 MT. 8"	887.89	887.89
10	1.00	Pza	106120340	CODO ACERO INOX. C-304L SCH-40 SOLDABLE 90 X 2"	4.75	4.75
11	1.00	Pza	106120400	CODO ACERO INOX. C-304L SCH-40 SOLDABLE 90 X 2 1/2"	9.72	9.72
12	1.00	Pza	106120520	CODO ACERO INOX. C-304L SCH-40 SOLDABLE 90 X 4"	23.52	23.52
13	1.00	Pza	106120600	CODO ACERO INOX. C-304L SCH-40 SOLDABLE 90 X 6"	58.57	58.57

VALOR VENTA	I.G.V.	PERCEPCION	IMPORTE TOTAL
\$ 2,330.46	\$ 419.48	\$ 0.00	\$ 2,749.93

**SON: DOS MIL SETECIENTOS CUARENTA Y NUEVE Y 93/100 DÓLARES AMERICANOS**

### CONDICIONES DE VENTA

**Forma de Pago:** CONTADO

**Los precios unitarios no incluyen IGV (18%)**

**Validez de la Oferta:** 12/02/2021

**Tiempo de Entrega:**

**Esta cotización esta sujeta a variación sin previo aviso**

**Confirmar su pedido con orden de compra**

**(\*) Cancelación en soles T/C valido a la fecha de facturación, consultar con su vendedor**

**"Garantizamos nuestros productos con Certificado de Calidad"**

**Observaciones:**



**BCP** CTA CTE :  
DOL: 193-0726390-1-82  
SOL : 193-0769168-0-72

**BBVA** CTA CTE :  
DOL: 000-0175626  
SOL : 000-1454358

**BBVA** CTA CTE :  
DOL: 0011-0140-01-00007454  
SOL : 0011-0140-01-00002622

**BBVA** CTA CTE :  
DOL: 20503000055609  
SOL : 20503000153490

Sin otro particular y a la espera de sus gratas órdenes, quedamos de usted.  
Atentamente.

