



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
PRÁCTICA PROFESIONAL

DISEÑO DE SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO EN PLANTA DE  
PRODUCCIÓN, EMSULA

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
INGENIERO EN MECATRÓNICA

PRESENTADO POR:

21341257 ALLAN FABRICIO CASTELLANOS RIVERA

ASESOR: ING. JAVIER VILLANUEVA

CAMPUS SAN PEDRO SULA

JULIO, 2018

## Agradecimientos

A Dios y a la virgen María, que siempre me han acompañado y me han permitido llegar a la meta deseada.

A mis padres, quienes me han enseñado lo que es el amor y me han inculcado valores que me han formado como persona.

A mi hermana, Mariela, por brindarme su apoyo incondicional y ser la mejor hermana que podría tener.

A mis abuelos y tíos, que han sido parte de mi formación desde niño, gracias por su apoyo y confianza en todo momento.

A mis profesores, a quienes admiro mucho, gracias por compartir sus conocimientos.

A todo el personal de Embotelladora de Sula, S.A. por sus enseñanzas, calidad humana y apoyo incondicional.

A todos, mi más sincero agradecimiento.

# Índice

<b>I. Introducción .....</b>	<b>1</b>
<b>II. Generalidades de la Empresa .....</b>	<b>2</b>
<b>2.1 Descripción de la Empresa .....</b>	<b>2</b>
<b>2.2 Descripción del Departamento .....</b>	<b>2</b>
<b>2.3 Objetivos .....</b>	<b>3</b>
2.3.1 Objetivo General .....	3
2.3.2 Objetivos Específicos .....	3
<b>III. Marco Teórico.....</b>	<b>4</b>
<b>3.1 Sistema de aire comprimido .....</b>	<b>4</b>
<b>3.2 Viscosidad .....</b>	<b>5</b>
<b>3.3 Tensión superficial.....</b>	<b>8</b>
<b>3.4 Densidad de líquidos y de gases.....</b>	<b>10</b>
<b>3.5 Comportamiento reológico de fluidos .....</b>	<b>12</b>
<b>3.6 Tuberías .....</b>	<b>15</b>
3.6.1 Ancho nominal DN .....	16
<b>3.7 Pérdida de carga en tuberías .....</b>	<b>17</b>
<b>3.8 Abastecimiento con medios de la llenadora .....</b>	<b>21</b>
3.8.1 Aire comprimido .....	21
3.8.2 Fuentes de errores en el abastecimiento de los medios .....	24
<b>3.9 Materiales metálicos (aceros).....</b>	<b>25</b>
<b>3.10 Materiales no metálicos .....</b>	<b>26</b>
<b>3.11 Superficies de los materiales .....</b>	<b>27</b>
<b>3.12 Corrosión y protección contra la corrosión .....</b>	<b>28</b>
<b>3.13 Sellos .....</b>	<b>30</b>
<b>IV. Metodología .....</b>	<b>31</b>
<b>4.1 Variables de Investigación .....</b>	<b>31</b>

4.1.1	Variables Dependientes .....	31
4.1.2	Variables Independientes .....	31
<b>4.2</b>	<b>Enfoque y Métodos .....</b>	<b>31</b>
<b>4.3</b>	<b>Técnicas e Instrumentos Aplicados .....</b>	<b>32</b>
4.3.1	Técnicas Aplicadas.....	32
4.3.2	Instrumentos Aplicados .....	33
<b>4.4</b>	<b>Materiales .....</b>	<b>33</b>
<b>4.5</b>	<b>Cronograma de Actividades .....</b>	<b>33</b>
<b>V.</b>	<b><i>Descripción del Trabajo Desarrollado .....</i></b>	<b>34</b>
5.1	Recorrido del plantel .....	34
5.2	Levantamiento del sistema actual de aire comprimido .....	34
5.3	Estudio de información de sistemas de aire comprimido .....	35
5.4	Diseño del nuevo sistema de aire comprimido .....	36
5.5	Selección de equipo .....	38
<b>VI.</b>	<b><i>Conclusiones .....</i></b>	<b>40</b>
<b>VII.</b>	<b><i>Recomendaciones .....</i></b>	<b>41</b>
7.1	Para la empresa .....	41
7.2	Para la universidad .....	41
<b>VIII.</b>	<b><i>Bibliografía.....</i></b>	<b>42</b>
<b>IX.</b>	<b><i>Anexos .....</i></b>	<b>44</b>
Anexo 1	- Tubería de conexión de aire comprimido .....	44
Anexo 2	- Tubería de distribución y conexión de aire comprimido en planta .....	45
Anexo 3	- Estructura de soporte de tubería de sistema de aire comprimido .....	45
Anexo 4	- Tubería de distribución de aire comprimido en planta .....	46
Anexo 5	- Antigua tubería de distribución de aire comprimido .....	46
Anexo 6	- Antigua tubería de aire comprimido fuera de servicio .....	47

<b>Anexo 7 - Tuberías de conexión de aire comprimido en planta .....</b>	<b>48</b>
--	-----------

<b>Anexo 8 - Conexión de aire comprimido en tanque de almacenamiento .....</b>	<b>48</b>
--	-----------

## Índice de Ilustraciones

Ilustración 1 - Curvas de flujo de diferentes sustancias .....	7
Ilustración 2 - Diagrama de fuerzas para ilustrar la tensión superficial .....	9
Ilustración 3 - Profundidad de penetración en función de la tensión superficial .....	10
Ilustración 4 - Tipos de flujo: laminar y turbulento .....	13
Ilustración 5 – Nomograma .....	18
Ilustración 6 - Clasificación de los aceros .....	25
Ilustración 7 - Galvanizado por baño de inmersión .....	28
Ilustración 8 - Cálculo del diámetro nominal de tuberías mediante formulas .....	37

## Índice de Tablas

Tabla 1 - Viscosidades dinámicas de algunos materiales .....	7
Tabla 2 - Tipos de viscosidad y efectos sobre el comportamiento de llenado .....	8
Tabla 3 - Densidad de sustancias .....	11
Tabla 4 - Composición del aire natural de respiración .....	11
Tabla 5 - Factores de conversión para 20 °C y 1.013 hPa .....	12
Tabla 6 - Factores de conversión para 0 °C y 1.013 hPa .....	12
Tabla 7 - Velocidades de circulación recomendadas .....	14
Tabla 8 - Ejemplo para coeficiente de resistencia .....	21
Tabla 9 - Perdidas de aire comprimido, según el tamaño de la fuga .....	22
Tabla 10 - Clases de aire comprimido según Pneurop 6611 .....	24
Tabla 11 - Fuentes de error en los sistemas técnicos y posibles efectos sobre el producto tomando como ejemplo la cerveza .....	24
Tabla 12 - Materiales polímeros orgánicos .....	26
Tabla 13 - Tipos de sellos y materiales .....	30
Tabla 14 - Cronograma .....	33

## Índice de Ecuaciones

Ecuación 1 - La viscosidad dinámica .....	6
Ecuación 2 - Unidad de poise o cP (centipoise) .....	6
Ecuación 3 - La viscosidad cinemática .....	6
Ecuación 4 - Unidad de stoke .....	6
Ecuación 5 - Ecuación de viscosidad .....	6
Ecuación 6 - Fórmula de la densidad .....	10
Ecuación 7 - Cálculo del diámetro interior .....	17
Ecuación 8 - Ecuación de Bernoulli .....	19
Ecuación 9 - Pérdida de carga de caudal en tubería recta .....	19
Ecuación 10 - Cálculo del coeficiente de resistencia $\lambda$ .....	20
Ecuación 11 - Cálculo del numero de Reynolds .....	20
Ecuación 12 - Perdida de carga en una grifería .....	20

## I. Introducción

En el mundo laboral que actualmente vivimos es necesario tener un buen rendimiento laboral, debido a que las empresas exigen profesionales que sean eficientes en desarrollar los distintos procesos necesarios para los objetivos de la compañía (Gault, Redington, & Schlager, 2000).

En el siguiente informe se explicará todo lo realizado en la práctica profesional, en donde se aplicó lo aprendido a lo largo de la carrera. Dicha práctica fue realizada en la empresa Embotelladora de Sula S.A, EMSULA.

En los últimos años, el consumo del aire comprimido en la planta de producción se ha incrementado, esto ha generado alzas en los costos operacionales. Hoy en día, la planta cuenta con un sistema de aire comprimido antiguo, que se ha ido modificando con el tiempo, pero no cuenta con un funcionamiento eficiente.

Por lo enunciado anteriormente, el propósito del proyecto es diseñar un nuevo sistema de aire comprimido para la planta de producción para mejorar la eficiencia tanto en el aspecto económico como operacional.

Se detallan las actividades que se realizaron en el transcurso de 10 semanas. Durante estas semanas se brindó a la empresa el apoyo y ayuda necesaria creciendo como profesional y aprendiendo diariamente.

## II. Generalidades de la Empresa

A continuación, se mostrarán generalidades de la empresa Embotelladora de Sula S.A. de C.V. como, por ejemplo, la descripción de la empresa, misión y visión.

### 2.1 Descripción de la Empresa

Embotelladora de Sula, S. A. es una empresa dedicada al envasado de bebidas carbonatadas y no carbonatadas. La empresa cuenta con ocho líneas de producción en donde se procesan bebidas con los estándares más altos de calidad e inocuidad. Actualmente, es la compañía manufacturera autorizada de producir las bebidas de Pepsi, Lipton, Gatorade, Mirinda, Seven Up y AMP. Además, produce sus marcas propias como Enjoy, Link y Quanty (CORINSA, 2011).

#### Misión

Consolidarnos como el mejor embotellador y distribuidor de bebidas operando en Latinoamérica. Atendiendo cada día las diferentes y cambiantes necesidades de los consumidores, con los más altos estándares de calidad y atención al cliente.

#### Visión

El mejoramiento continuo, la innovación permanente y una administración funcional son parte integral de nuestro desempeño diario. Nos esforzamos continuamente por el desarrollo y buena relación con y entre todos los "Miembros del Equipo" y cada día consolidamos más las relaciones con nuestros proveedores, contratistas, consultores, franquiciadores, socios estratégicos y la comunidad.

### 2.2 Descripción del Departamento

El departamento de Mantenimiento Industrial está compuesto por un equipo de ingenieros y técnicos encargados de la supervisión, planificación y ejecución de mantenimientos en las diversas maquinas en la planta de producción. El departamento también apoya en el diseño y elaboración de diversos proyectos con el fin de mejorar la eficiencia de producción en la planta y la modernización de los equipos.



## **2.3 Objetivos**

A continuación, se plasman el objetivo general y los objetivos específicos concernientes a la practica profesional:

### **2.3.1 Objetivo General**

Desarrollar un nuevo sistema de aire comprimido en la planta de producción de bebidas carbonatadas EMSULA para mejorar la eficiencia operacional del proceso.

### **2.3.2 Objetivos Específicos**

- Examinar el estado actual del sistema de aire comprimido en la planta de producción de bebidas carbonatadas.
- Realizar un plano en AutoCAD del diseño actual del sistema de aire comprimido en la planta de producción.
- Diseñar el nuevo sistema de aire comprimido para la planta de producción de bebidas carbonatadas.

### **III. Marco Teórico**

El presente capítulo contiene el sustento teórico del proyecto. Se define que es un sistema de aire comprimido, los principales elementos que contiene y sus aplicaciones en la industria.

Debido a la directa relación física entre la técnica de embotellado y los alimentos a llenar, así como con el respectivo suministro de medios de producción es importante poseer un conocimiento básico sobre las posibles interacciones que se pueden presentar. Esto no solo es válido para el constructor de las máquinas sino también para sus usuarios. Específicamente se explicarán los conceptos fundamentales de la viscosidad, de la tensión superficial y del comportamiento reológico de diferentes fluidos, teniendo en cuenta sus regularidades según las leyes físicas en el momento de su aplicación.

#### **3.1 Sistema de aire comprimido**

Según Moreno (2012), "el aire comprimido es una de las formas de energía más antiguas que conoce y utiliza el hombre para reforzar sus recursos físicos". Este gas puede ser utilizado a escala industrial debido a su facilidad, disponibilidad y seguridad en el manejo de las herramientas neumáticas.

El hombre coloca a su servicio la máquina, con el fin de producir una mayor cantidad de productos, con una mejor calidad y un menor esfuerzo físico, reduciendo los riesgos de accidente y los costos de producción (Mauricio, 2012).

Para operar el conjunto de recursos tecnológicos que origine una automatización, es necesaria la energía. Entre las varias formas energéticas está la neumática, que constituye el primer paso para transformar la mecanización en automatización. Si bien la utilización de la técnica del aire comprimido como fuente energética es empleada, cada vez más, para la racionalización y automatización, ésta es relativamente cara y podría llegarse a suponer que los costos de producción, acumulación y distribución del aire involucran gastos elevados.

Esto no es exacto, pues en el cálculo de rentabilidad de una instalación, no sólo debe tomarse en cuenta el costo energético y los gastos de instalación, sino también los ahorros de mano de obra, los gastos de mantenimiento y el aumento de la producción logrado. El resultado final es que el costo energético es despreciable y las inversiones de instalación fácilmente amortizables.

El aire comprimido puede utilizarse: a) directamente, como elemento de trabajo; b) para accionamiento de motores, embragues, cilindros o herramientas; c) regulado por medio de válvulas y elementos accesorios, para impulsar una gran variedad de movimientos mecánicos; d) en combinación con equipos hidráulicos, para obtener con un coste reducido ciclos de trabajo precisos en bajas velocidades; e) con la electricidad, para accionamientos a larga distancia y para los movimientos rotativos (Sanchez Alarcon, Pujol, & Estrany Coda, 2006).

### **3.2 Viscosidad**

Uno de los principales criterios que debe tener en cuenta el constructor de una línea de embotellado es el tipo de producto a embotellar y sus propiedades. Un factor muy importante es el comportamiento reológico el cual a su vez depende de la viscosidad del flujo (por ejemplo, en el caso de la salsa ketchup, de licores y de los aceites) (Imholte & Imholte-Tauscher, 2000).

¿Qué es la viscosidad? En los fluidos reales existe un llamado frotamiento interior entre dos capas de líquidos adyacentes. De esta manera se representa la fuerza que sería necesaria para que por ejemplo un cuerpo pase rápidamente a través de un fluido. Esta fuerza necesaria para efectuar el movimiento es menor en el caso de líquidos de fácil circulación tales como el agua y la cerveza que en el caso de líquidos de difícil circulación tales como el aceite o la miel a los cuales hay que aplicar una fuerza mucho mayor para un cuerpo idéntico atravesarse en ambos casos el fluido con la misma velocidad (Serway & Jewett, 2015). Esta propiedad de mayor o menor facilidad de circulación es denominada viscosidad. Se trata de una constante de material importante para describir el comportamiento reológico de un fluido.

Existen dos cocientes para expresar la viscosidad:

**Ecuación 1 - La viscosidad dinámica**

$$\eta = \frac{N \cdot s}{m^2} = Pa \cdot s \text{ (segundo de Pascal)}$$

Fuente: (Serway, R. A., & Jewett, J. W., 2015)

**Ecuación 2 - Unidad de poise o cP (centipoise)**

$$1 \text{ cP} = 1 \text{ mPa} \cdot s \text{ (milisegundo de Pascal)}$$

Fuente: (Krones AG, 2012)

**Ecuación 3 - La viscosidad cinemática**

$$\nu = \frac{m^2}{s} \text{ (metro cuadrado por segundo)}$$

Fuente: (Serway, R. A., & Jewett, J. W., 2015)

**Ecuación 4 - Unidad de stoke**

$$1 \text{ cSt} = \frac{1 \text{ mm}^2}{s}$$

Fuente: (Krones AG, 2012)

Ambos cocientes están unidos por la relación:

**Ecuación 5 - Ecuación de viscosidad**

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}$$

Fuente: (Serway, R. A., & Jewett, J. W., 2015)

Siendo  $\rho$  la densidad del fluido.

Tabla 1 - Viscosidades dinámicas de algunos materiales

Material	Viscosidad dinámica Pas
Aire	$1.81 \cdot 10^{-5}$
Agua	$1.001 \cdot 10^{-3}$
Etanol	$1.20 \cdot 10^{-3}$
Glicerina	1.50
Aceite para motores	0.2 ... 1.3

Fuente: (Krones AG, 2012)

A la categoría de las sustancias de viscosidad ideal pertenecen todas las bebidas, llamadas también fluidos newtonianos. Líquidos con una mayor viscosidad pueden presentar un comportamiento diferente como por ejemplo la salsa ketchup, la cual con el transcurso del tiempo mejora sus propiedades de flujo bajo iguales condiciones de corte. Estos líquidos son considerados como tixotrópicos (griego: gelatinoso, con tendencia a disminuir la viscosidad bajo efecto mecánico).

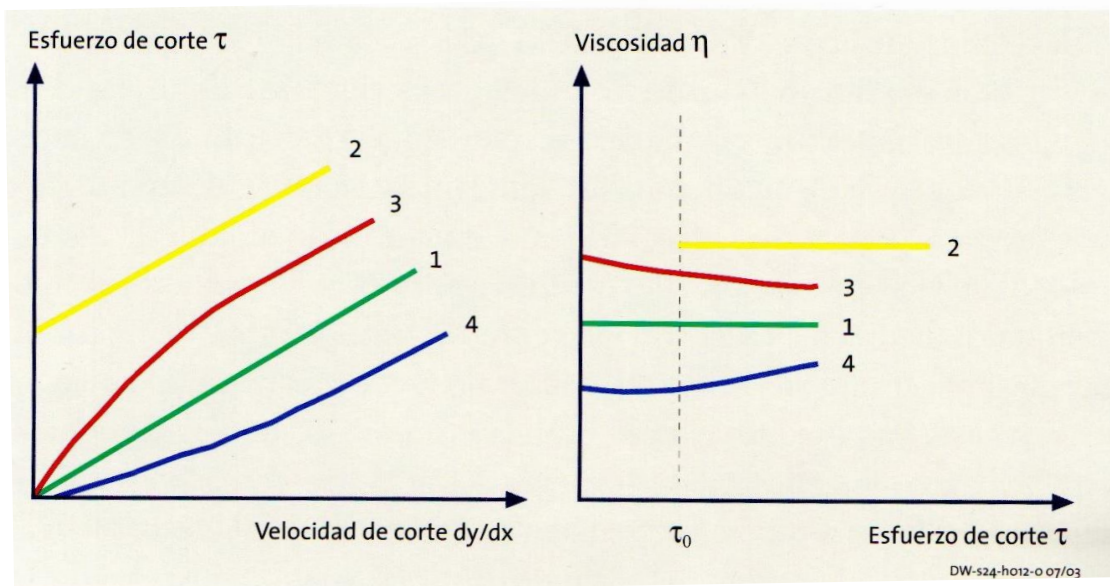


Ilustración 1 - Curvas de flujo de diferentes sustancias

Fuente: (Krones AG, 2012)

1 = fluido newtoniano: agua, cerveza, leche, etc.

2 = sustancia plástica (de Bingham): mostaza, plásticos

3 = fluido de viscosidad intrínseca (pseudo-plástico): ketchup, caucho, plásticos

4 = sustancia dilatante: pastas, suspensiones de almidón

**Tabla 2 - Tipos de viscosidad y efectos sobre el comportamiento de llenado**

<b>Comportamiento puramente newtoniano</b>	<b>Ningunas particularidades salvo de tener en cuenta eventualmente el contenido de CO<sub>2</sub></b>
<b>De viscosidad intrínseca y tixotropía</b>	Fluye lentamente, generalmente debe ser llenado en el envase bajo leve sobrepresión o vacío
<b>Dilatante</b>	Con comportamiento similar, generalmente difícil de embotellar
<b>Líquidos Bingham</b>	Difíciles de embotellar

Fuente: (Krones AG, 2012)

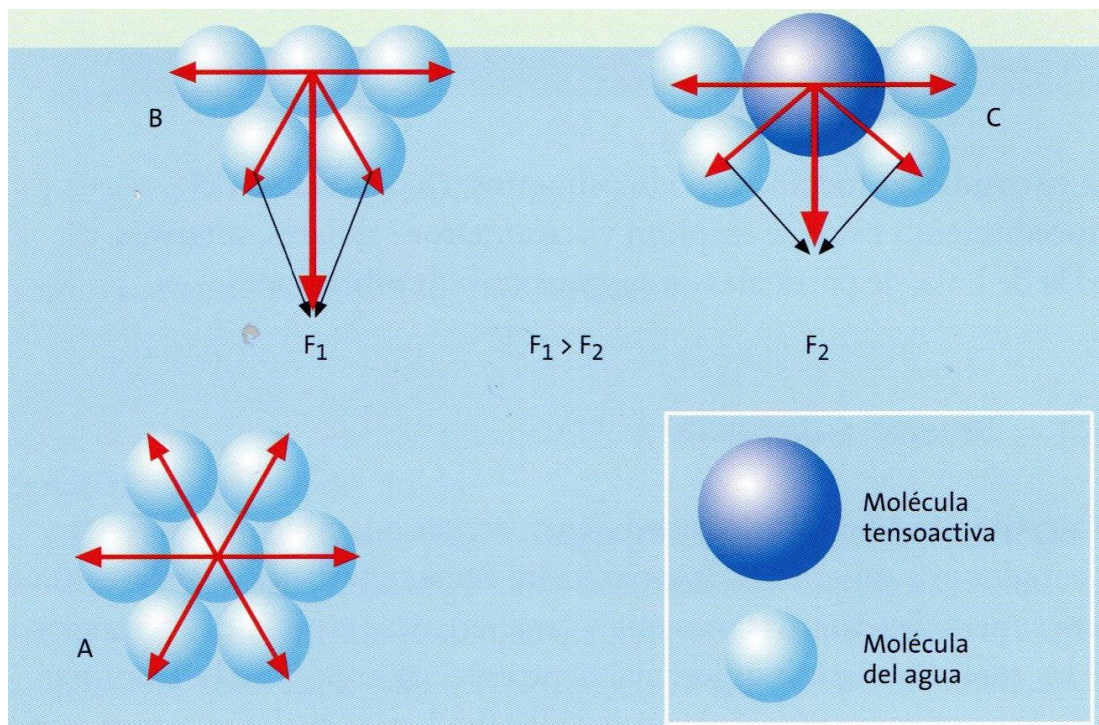
La viscosidad es medida con viscosímetros. Dependiendo del procedimiento físico se emplean viscosímetros capilares, rotativos a caída de bola, de partículas en suspensión y de vibraciones.

### 3.3 Tensión superficial

Materiales de diferente densidad (agua, aceites o también gases) están separados por superficies de separación. Estas superficies de separación o bien superficies externas presentan características especiales, en función de las cuales la tensión superficial tiene especial importancia (Back, 2001). La causa son interacciones entre moléculas de los fluidos las cuales se atraen o se rechazan mutuamente por efecto de las fuerzas moleculares. Entre una molécula en el interior de un fluido y todas las moléculas adyacentes existen interacciones.

La fuerza resultante es cero en el centro y la molécula está en equilibrio. Si observamos una molécula sobre la superficie externa de un fluido entonces falta una parte de las interacciones con las demás moléculas. Claramente sigue existiendo una interacción con las moléculas del lado que se encuentra encima, pero estas fuerzas generalmente son más débiles. Como resultado sobre la molécula ubicada en la superficie externa incide por lo tanto una fuerza dirigida hacia el interior y en el sentido vertical en relación con la superficie externa. Esta fuerza  $F_1$  intenta siempre disminuir la superficie externa del fluido y adaptar una forma de bola.

Para lograr llevar una molécula desde el interior del fluido hacia la superficie externa es necesario aplicar un trabajo contra el resultado de las fuerzas moleculares, es decir que se requiere de una energía adicional. El proceso inverso conlleva siempre una obtención de energía. Esta energía es denominada energía superficial. En caso de que entre las moléculas del agua se encuentre alojada una molécula que influencia la tensión superficial (por ejemplo, un agente tenso activo), entonces se debilitan las fuerzas de interacción. Sin embargo, la fuerza  $F_2$  no es igual a la tensión superficial sino la suma de todas las moléculas por unidad de superficie.



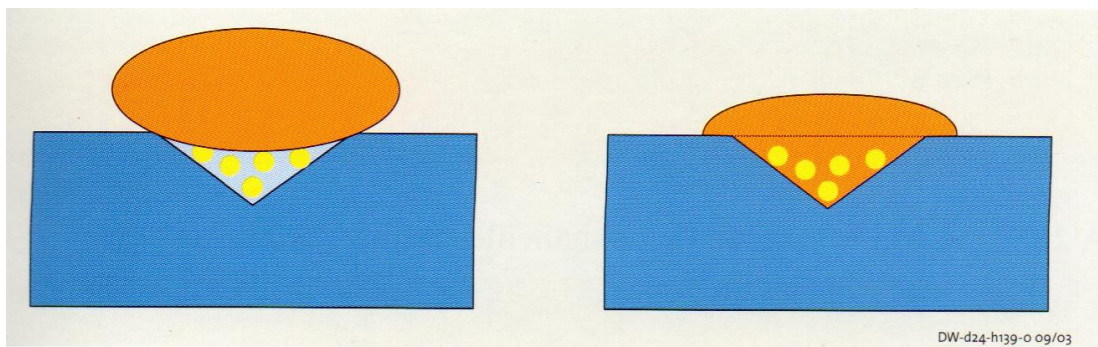
**Ilustración 2 - Diagrama de fuerzas para ilustrar la tensión superficial**

Fuente: (Krones AG, 2012)

Durante el embotellado la tensión superficial de una bebida permite sacar conclusiones sobre el comportamiento de goteo y de mojabilidad, así como sobre las propiedades de espumación. Es así como, por ejemplo, al embotellar bebidas que contienen  $\text{CO}_2$  en botellas PET se puede obtener información sobre la mojabilidad de la pared interior de la botella (Rammert, 1993, citado por Blüml, 2006).

La tensión superficial es medida con tensiómetros. Se diferencia entre dos métodos de medición: el método con anillos y con placas. Cada fluido puro posee un valor específico: el del agua es de 72 mN/m. El líquido residual contenido en las botellas lavadas es generalmente 10 a 15 unidades mas bajo, dependiendo del proceso de enjuague. Mediante la medición de la tensión superficial en la botella lavada es posible determinar si la botella esta limpia o si todavía quedan restos de lejía dentro de la botella. Estos valores deben ser determinados individualmente después de cada limpieza de las botellas (PepsiCo International, 2005).

Otro criterio es la profundidad de penetración en superficies irregulares después de la limpieza. Como lo indica la ilustración bajos algunas circunstancias no se alcanza a llegar a los microorganismos ya que la tensión superficial no permite una penetración profunda.



**Ilustración 3 - Profundidad de penetración en función de la tensión superficial**

Fuente: (Krones AG, 2012)

### 3.4 Densidad de líquidos y de gases

Para el dimensionamiento de los conductos por los cuales deberán circular los fluidos la densidad es igual de importante a las otras magnitudes nombradas.

Generalmente se define como:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

**Ecuación 6 - Fórmula de la densidad**

Fuente: (Serway, R. A., & Jewett, J. W., 2015)



Siendo:

$\rho$  = Densidad en (kg/m<sup>3</sup>) o en (kg/dm<sup>3</sup>) o en (g/cm<sup>3</sup>)

M = Masa (kg)

V = Volumen (m<sup>3</sup>)

Debido que la densidad de la mayoría de los materiales depende de la temperatura y de la presión es necesario tomar como base las condiciones normales; estas son 20 °C con una presión atmosférica de 1.013 hPa = 1.013 bar.

**Tabla 3 - Densidad de sustancias**

<b>Substancia</b>	<b>Densidad en kg/m<sup>3</sup> a 20 °C</b>
<b>Agua</b>	998
<b>Aire</b>	1,293
<b>Oxígeno O<sub>2</sub></b>	1,429
<b>Dióxido de carbono CO<sub>2</sub></b>	1,977

Fuente: (Krones AG, 2012)

La densidad es especialmente importante para calcular el contenido de aire y de oxígeno ya que a través de ella se puede medir indirectamente el contenido de aire en el espacio libre en la botella después del llenado (PepsiCo International, 2005). Al respecto la relación del volumen del aire con el oxígeno es lo más importante. Por este motivo existen también los factores de conversión. Estos resultan de la composición del aire natural de respiración que presenta la siguiente distribución:

**Tabla 4 - Composición del aire natural de respiración**

	<b>Nitrógeno</b>	<b>Oxígeno</b>	<b>Argón</b>	<b>Dióxido de carbono</b>	<b>Hidrógeno</b>
	<b>N<sub>2</sub></b>	<b>O<sub>2</sub></b>	<b>Ar</b>	<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>H<sub>2</sub></b>
<b>Volumen en %</b>	78.08	20.95	0.93	0.03	0.01
<b>Peso en %</b>	75.51	23.01	1.286	0.04	0.001

Fuente: (Krones AG, 2012)

**Tabla 5 - Factores de conversión para 20 °C y 1.013 hPa**

<b>1 ml aire</b>	<b>Corresponde a</b>	<b>1.2 mg aire</b>		
<b>1 ml O<sub>2</sub></b>	Corresponde a	1.33 mg O <sub>2</sub>		
<b>1 ml aire</b>	Contiene	0.21 ml O <sub>2</sub>	Corresponde a	0.28 mg O <sub>2</sub>
<b>1 mg aire</b>	Corresponde a	0.83 ml aire	Contiene	0.232 mg O <sub>2</sub>
<b>1 mg O<sub>2</sub></b>	Corresponde a	0.75 ml O <sub>2</sub>	Contenidos en	3.5 ml aire

Fuente: (Krones AG, 2012)

**Tabla 6 - Factores de conversión para 0 °C y 1.013 hPa**

<b>1 ml aire</b>	<b>Corresponde a</b>	<b>1.292 mg aire</b>
<b>1 ml O<sub>2</sub></b>	Corresponde a	1.429 mg O <sub>2</sub>

Fuente: (Krones AG, 2012)

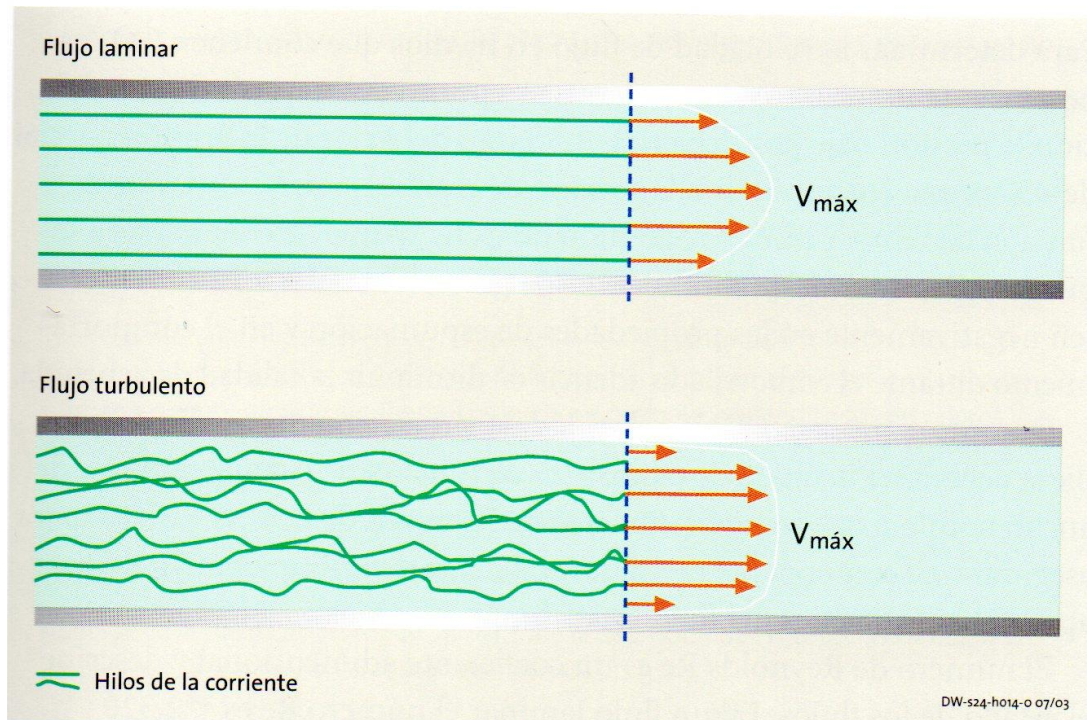
### **3.5 Comportamiento reológico de fluidos**

El comportamiento de flujo de los fluidos depende además de la viscosidad también del tipo del corriente. Se diferencia entre dos condiciones: laminar y turbulento.

Se habla de flujo laminar cuando un fluido fluye lentamente y sin turbulencias. En términos físicos se dice que las capas de fluido individuales deslizan unas sobre otras sin entremezclarse. En una corriente de flujo laminar la velocidad es mayor en el centro del tubo ( $V_{\text{máx}}$ ) y disminuye hacia las paredes del tubo en forma de parábola hasta llegar a cero (Deppert & Stoll, 2000).

Al aumentar las velocidades de la corriente hay mayor turbulencia en el flujo. Las capas de fluido forman remolinos y se entremezclan.

La resistencia del caudal es mucho mayor que en el flujo laminar y la velocidad es casi igual en la parte central de la corriente.



**Ilustración 4 - Tipos de flujo: laminar y turbulento**

Fuente: (Krones AG, 2012)

Dentro de las tuberías y de la grifería son recomendables las siguientes velocidades de circulación teniendo en cuenta las respectivas pérdidas de carga o caídas de presión:

**Tabla 7 - Velocidades de circulación recomendadas**

<b>Medio</b>	<b>Velocidad de flujo</b>
<b>Cerveza (con dimensionamiento adecuado de las tuberías)</b>	$\leq 3.0$ m/s
<b>Por los demás</b>	$\leq 2.0$ m/s
<b>Agua sin gas</b>	$\leq 1.5$ m/s
<b>Agua mineral / limonada</b>	$\leq 1.2$ m/s
<b>Vino</b>	$\leq 1.5$ m/s
<b>Vino perlado</b>	$\leq 1.2$ m/s
<b>Vino espumoso</b>	$\leq 1.0$ m/s
<b>Zumo</b>	$\leq 1.5$ m/s
<b>Leche</b>	$\leq 1.5$ m/s
<b>Aire</b>	$\leq 16$ m/s
<b>CIP / agua (trayectos cortos)</b>	$\leq 4.0$ m/s
<b>Agua (trayectos largos)</b>	$\leq 2.0$ m/s
<b>CO<sub>2</sub> / aire de salida</b>	$\leq 8.0$ m/s
<b>Vapor</b>	$\leq 25$ m/s

Fuente: (Krones AG, 2012)

Para determinar la velocidad de flujo en medios que contienen CO<sub>2</sub> es necesario tener en cuenta que en ningún punto del trayecto de circulación la presión baje por debajo de 1.5 tanto del valor de la presión parcial del CO<sub>2</sub> (este corresponde a la presión de equilibrio del CO<sub>2</sub> y es una función de temperatura y contenido de CO<sub>2</sub>) ya que de otra manera se pueden presentar desprendimientos de gases, los cuales a su vez repercuten negativamente en las propiedades de espumación y en el comportamiento durante el embotellado además de disminuir la calidad de la bebida (Blüml & Fischer, 2006).

Durante el proceso CIP la velocidad de circulación del medio de limpieza deberá ser definida de tal manera en función de la temperatura y del ancho nominal que resulten números de Reynolds de  $\geq 1 \dots 1.5 \cdot 10^5$  para asegurar una componente mecánica suficiente de la limpieza CIP, es decir aprovechar la cinética del fluido para limpiar el objeto.

El número de Reynolds **Re** es un coeficiente adimensional y describe el estado de los flujos. En un flujo laminar el número de Re es  $< 2.320$  mientras que flujos turbulentos tienen números de Reynolds superiores a 2.320. El número de Reynolds es un coeficiente muy importante en el dimensionamiento y cálculos de los sistemas de tuberías y depende de la velocidad de circulación **w**, del diámetro del interior de la tubería **d**, así como de la viscosidad cinemática **v** del fluido.

### 3.6 Tuberías

Las tuberías son enlaces de forma tubular entre los diferentes componentes de una instalación para el transporte de los materiales. En las instalaciones o líneas de producción el transporte de los medios es realizado casi exclusivamente a través de tuberías cerradas. Debido a que se trata de partes cerradas o cerradas en sí de las líneas de producción se habla también de sistemas o redes de tuberías.

Estos sistemas de tuberías constan de tres elementos constructivos:

- Tubos y racores de tubería
- Enlaces de tubo para conectar los diferentes tubos individuales
- Sellos para obturar los puntos de unión entre dos tubos separables.

Estos elementos constructivos son piezas constructivas prefabricadas y son unidas para formar complicados sistemas de tuberías que en su mayoría recorren y abarcan todas las fases de producción en una planta de bebidas. Adicionalmente, las tuberías pueden ser dotadas de revestimientos aislantes y de elementos calentadores acompañantes. Tanto el dimensionamiento de los tubos, así como la selección de los materiales para la tubería dependen de las exigencias de producción de la empresa. Con el fin de lograr una normalización en este sector, las dimensiones para tuberías han sido unificadas para la Norma Industrial DIN 11850 y las presiones interiores permitidas han sido escalonadas (Dulhoste, 2014).

### 3.6.1 Ancho nominal DN

El ancho nominal DN es un parámetro empleado en los sistemas de tuberías a manera de características representativa entre piezas que deben encajar entre si tales como tubos, racores y griferías.

El ancho nominal no se expresa en unidades y no esta permitido como indicación de medida en dibujos técnicos. Corresponde aproximativamente al diámetro interior en mm de los elementos de la tubería. Los anchos nominales son indicados en valores escalonados y entre un ancho nominal y otro el aumento de la capacidad de avance es de 60 hasta 100% (Solé, 2011).

Generalmente se habla de ancho nominal 3, 4, 5, 6, 8, 10, 15, 20, 25, 32, 40, 50, 65, 80, 100, 125, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600, 700, 800, 900, 1.000, etc.

Además de la clasificación según su DN, para la definición de las tuberías también se emplea el diámetro externo "outer diameter".

Los mismos valores escalonados del ancho nominal también son empleados para los demás componentes tales como racores de tubería, enlaces de tubo y grifería. Su indicación de tamaño se basa en el parámetro DN, de tal manera que todas las piezas coincidan al respecto. Esta es la finalidad del parámetro ancho nominal.

El ancho nominal es determinado por el constructor de las maquinas en función de la velocidad de circulación y de la cantidad del material que deberá circular a través de la tubería.

Para ello es necesario calcular el diámetro interior  $d_i$  necesario de la tubería en mm aplicando la siguiente formula:

$$d_i = 2 \cdot \sqrt{\frac{V}{\pi \cdot w}}$$

#### **Ecuación 7 - Cálculo del diámetro interior**

Fuente: (Krones AG, 2012)

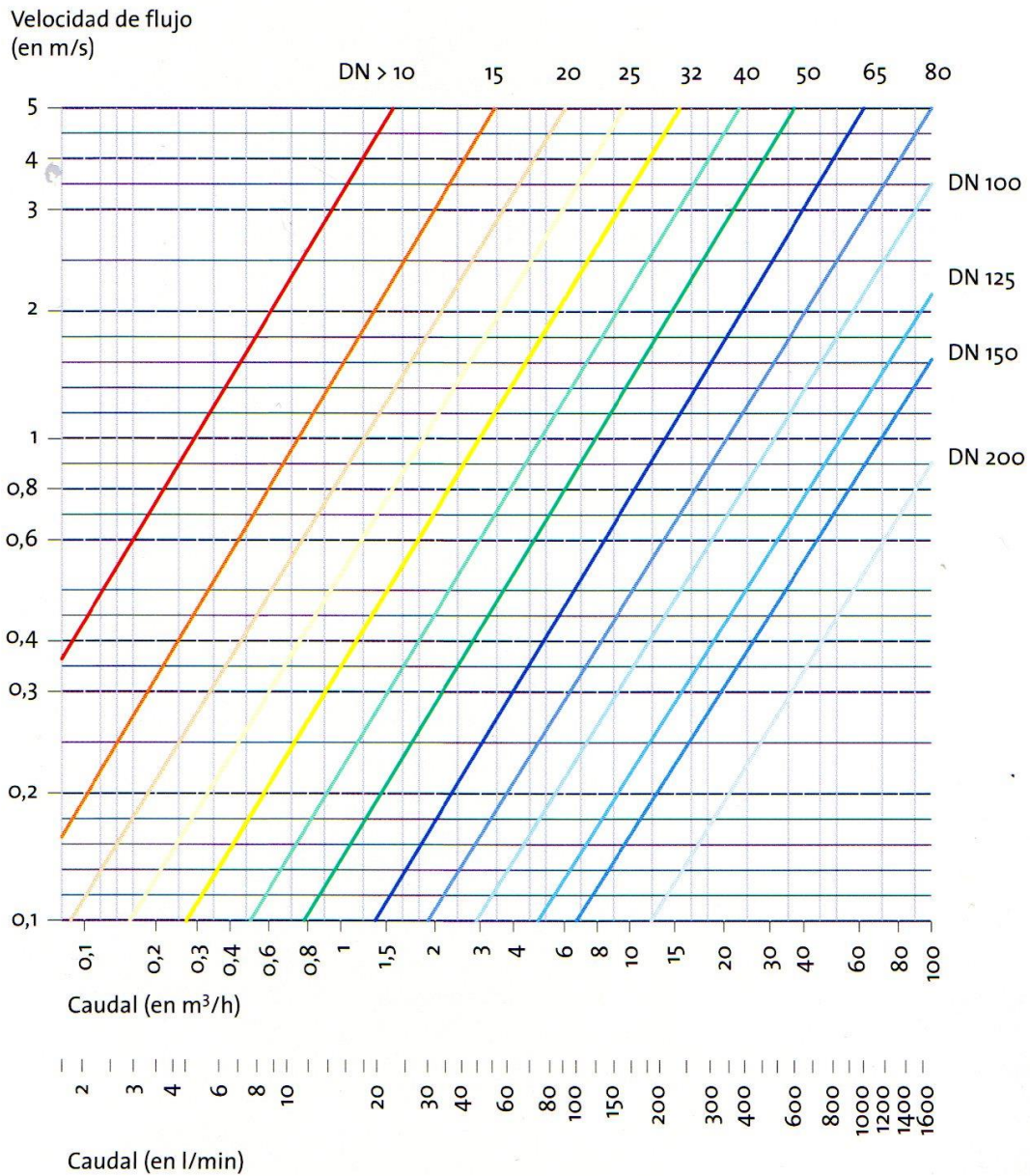
V = Caudal, por ejemplo, (m<sup>3</sup>/h)

W = Velocidad por circulación (m/s)

Se selecciona aquel ancho nominal que mas se acerque al diámetro interior calculado.

### **3.7 Pérdida de carga en tuberías**

Según Grote & Feldhusen (2011), "la velocidad de flujo en tuberías debe ser determinada en función de las perdidas de carga y de los costos de inversión". En tuberías largas como, por ejemplo, en tuberías de cerveza los gastos de explotación dependen sobre todo de la pérdida de carga resultante. Por lo tanto, la velocidad de flujo aprovechable adecuadamente es limitada por ciertos factores. En todo caso se deberá aspirar a lograr los costos totales mínimos, los cuales resultan de los costos de inversión y de los gastos de explotación.



DW-524-h027-o 07/03

**Ilustración 5 – Nomograma**

Fuente: (Krones AG, 2012)

En el caso de tubos cortos son admisibles velocidades de flujo mucho mayores. Por ejemplo, los tubos distribuidores pueden ser dimensionados con anchos nominales menores que la tubería para facilitar su manipulación.



Para estimar inicialmente la velocidad de flujo también se pueden emplear monogramas.

Para calcular la pérdida de carga condicionada dinámicamente hay que basarse en el principio de la conservación de la energía. De ahí resulta para el flujo sometido a fricción de líquidos incomprensibles la ecuación de Bernoulli:

$$p_1 + \rho \cdot g \cdot h_1 + \rho \cdot \frac{w_1^2}{2} = p_2 + \rho \cdot g \cdot h_2 + \rho \cdot \frac{w_2^2}{2} + \Delta p$$

#### **Ecuación 8 - Ecuación de Bernoulli**

Fuente: (Serway, R. A., & Jewett, J. W., 2015)

P = Presión estática en (N/m<sup>2</sup>)

$\rho$  = Densidad en (kg/m<sup>3</sup>)

G = Aceleración de la gravedad = 9.81 m/s<sup>2</sup>

H = Altura en (m)

W = Velocidad de flujo en (m/s)

$\Delta P$  = Pérdida de carga en (N/m<sup>2</sup>)

Índices 1,2: puntos 1 y 2 o respectivamente extremo inicial y final de una tubería.

A partir de esta ecuación se puede deducir la pérdida de carga de un caudal dentro de una tubería recta:

$$\Delta p = \lambda \cdot \frac{l \cdot \rho \cdot w^2}{d \cdot 2}$$

#### **Ecuación 9 - Pérdida de carga de caudal en tubería recta**

Fuente: (Krones AG, 2012)

$\Delta P$  = Pérdida de carga en (N/m<sup>2</sup>)

$\lambda$  = Coeficiente de rozamiento, coeficiente de resistencia

L = Longitud de la tubería en (m)

D = Diámetro de la tubería en (m)

$\rho$  = Densidad en (kg/m<sup>3</sup>)

W = Velocidad de flujo en (m/s)

El coeficiente de resistencia  $\lambda$  es calculado para flujo **laminar** ( $Re < 2.320$ ):

$$\lambda = \frac{64}{Re}$$

**Ecuación 10 - Cálculo del coeficiente de resistencia  $\lambda$**

Fuente: (Krones AG, 2012)

$$Re = \frac{w \cdot d}{\nu}$$

**Ecuación 11 - Cálculo del numero de Reynolds**

Fuente: (Serway, R. A., & Jewett, J. W., 2015)

Re = Numero de Reynolds, adimensional

W = Velocidad de flujo en (m/s)

V = Velocidad cinemática en (m<sup>2</sup>/s)

D = Diámetro en (m)

El coeficiente de resistencia  $\lambda$  es calculado para flujo **turbulento** ( $Re > 2.320$ ):

Según Blasius:  $\lambda = 0.3164 Re^{-0.25}$  para  $2.320 < Re < 10^5$

Según Nikuradse:  $\lambda = 0.0032 + 0.221 Re^{-0.237}$  para  $10^5 < Re < 5 \cdot 10^6$

Para los tubos de acero inoxidable generalmente empleados en la industria de las bebidas podemos suponer condiciones de tubo hidráulico liso, es decir que para fluidos similares al agua (mosto, cerveza) se tiene aproximadamente  $\lambda = 0.03$ .

La pérdida de carga  $\Delta p$  en una grifería se puede determinar según:

$$\Delta p = \zeta \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2}$$

**Ecuación 12 - Pérdida de carga en una grifería**

Fuente: (Krones AG, 2012)

$\zeta$  = Coeficiente de pérdida de carga, coeficiente de resistencia

El coeficiente de resistencia es determinado sobre todo de manera experimental o analítica.

Tabla 8 - Ejemplo para coeficiente de resistencia

Codo de 90°, R = 2x DN	$\zeta = 0.25$
Válvula de retención	$\zeta = 1.5$
Codo de segmento de 90°	$\zeta = 0.70$
Tamiz de tubo angular	$\zeta = 3 - 4$
Codo de 180°	$\zeta = 1.40$
Codo de 2 x 90°	$\zeta = 1.80$
Pieza en T en el paso	$\zeta = 0.05$

Fuente: (Krones AG, 2012)

Por lo tanto, el cálculo de la pérdida de carga en una tubería solo es posible si se conocen los parámetros característicos, esto es especialmente válido para los coeficientes o índices de resistencia de la grifería y de las tuberías en cuestión.

### 3.8 Abastecimiento con medios de la llenadora

Los medios para la llenadora son suministrados a través de tuberías fijas o de mangueras. Las tuberías proporcionan un alto nivel higiénico para la línea y además poseen una larga vida útil y protegen el producto. En comparación, las mangueras en calidad de elementos de conexión con la llenadora representan una solución más económica, pero son menos favorables en cuanto a vida útil e higiene (Baker, 2000). Generalmente el conjunto de válvulas de distribución es integrado para el suministro de diferentes medios y se encarga de abastecer de manera centralizada la llenadora con vapor, agua caliente, agua fría, aire comprimido, CO<sub>2</sub> u otros gases inertes, así como los medios de limpieza, además de estar conectado con la llenadora a través de un mando electrónico. Este conjunto de válvulas está conectado mediante tuberías de acero inoxidable a los respectivos puntos de suministro.

#### 3.8.1 Aire comprimido

En la industria de bebidas el aire comprimido seco, libre de aceite y de gérmenes (aire estéril) es empleado como gas de presión para el transporte de líquidos y para la aireación. Además, el aire comprimido es empleado como energía auxiliar o bien como aire de control para la apertura y el cierre de válvulas y como medio de energía para accionamientos neumáticos

para efectuar movimientos de ascenso (aire de trabajo) (Wagner, 2001). El aire de control y de trabajo debe estar seco.

Le corresponde al control técnico de operación determinar periódicamente la magnitud de las pérdidas y suprimir las fugas lo antes posible.

La cantidad de pérdidas por fugas depende de:

- Numero de conexiones (bridas, manguitos, acoplamientos)
- Estado de las conexiones (presión superficial de los sellos; las juntas de goma se endurecen y se vuelven porosas)
- Ancho nominal
- Presión de servicio
- Cantidad y tipo de válvulas

Un sistema de control sencillo es la medición de la pérdida de presión en el acumulador o pulmón de aire comprimido durante un lapso definido y con la planta sin operar, o con determinadas secciones desconectadas, por ejemplo, durante el fin de semana. Las pérdidas se obtienen de la diferencia de presión medida, el tiempo y el volumen del pulmón (Bohl, 2002).

**Tabla 9 - Pérdidas de aire comprimido, según el tamaño de la fuga**

<b>Diámetro del agujero en mm</b>	<b>Área de sección en mm<sup>2</sup></b>	<b>Pérdida de aire a <math>\Delta p = 6</math> bar</b>	<b>Potencia requerida del compresor para ello en kW</b>
<b>1</b>	0.8	1,24 l/s	0.4
<b>3</b>	7.1	11.14 l/s	4.0
<b>5</b>	19.6	30.95 l/s	10.8
<b>10</b>	78.5	123.80 l/s	43.0

Fuente: (Krones AG, 2012)

El aire de trabajo y de control requiere una sobrepresión de 6-8 bar. Para ello se puede poner a disposición el aire comprimido en forma centralizada, lo mas cercana posible al principal punto de utilización, por ejemplo, al proceso de llenado.

El aire comprimido para aplicaciones en la industria de fermentación y de bebidas debería poseer las siguientes características (según Pneurop 6611/1984):

- No contener partículas  $\geq 1 \mu\text{m}$  Clase 2
- Concentración de partículas  $\leq 1 \text{ mg/m}^3$  Clase 2
- Punto de rocío bajo presión  $\leq 2 \text{ }^\circ\text{C}$  Clase 3
- Contenido de aceite  $\leq 1 \mu\text{g/m}^3$  Clase 1

Además, el aire comprimido debe estar libre de gérmenes nocivos para las bebidas. Por ellos se filtra con filtros de membrana con un tamaño de poro de  $\leq 2 \mu\text{m}$ . Los sistemas de tubería desde el filtro estéril hasta la unidad de consumo deberían ser aptos para ser sometidos a CIP y a vapor.

Debe tenerse en cuenta que solamente se puede utilizar universalmente aire comprimido con un punto de rocío bajo presión  $\leq -20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Un punto de rocío bajo presión de aprox. 1 ... 2  $^\circ\text{C}$  conduce a una condensación adicional de agua en el caso de un enfriamiento adicional (tuberías a la intemperie, operación en invierno).

**Tabla 10 - Clases de aire comprimido según Pneurop 6611**

Clase	Partículas solidas		Aceite	Punto de rocío bajo presión		
	Tamaño de partícula $\mu\text{m}$	Concentración $\text{mg}/\text{m}^3$	Contenido de aceite $\text{mg}/\text{m}^3$	ISO 8571.1 $^{\circ}\text{C}$	ISO 8573.1 $^{\circ}\text{C}$	Pneurop 6611 $^{\circ}\text{C}$
1	0.1	0.1	0.01	- 60	- 70	- 40
2	1.0	1.0	0.1	- 40	- 40	- 20
3	5.0	5.0	1.0	- 20	- 20	+ 2
4	40.0	10.0	5.0	+ 3	+ 2	+ 10
5	-	-	25.0	+ 7	+ 10	-

Fuente: (Krones AG, 2012)

### 3.8.2 Fuentes de errores en el abastecimiento de los medios

Los sistemas técnicos del suministro de energía en forma de vapor o de frío, así como los gases (aire comprimido y  $\text{CO}_2$ ) con frecuencia no son incluidos en los controles normales de rutina y no se tienen en cuenta en relación con un posible riesgo para el producto final. Con frecuencia los defectos en el olor y/o sabor son atribuidos a diferentes fases de la producción, siendo posible su detección a tiempo si se conocen los riesgos potenciales de los sistemas técnicos. Por lo tanto, es imprescindible incluir los sistemas técnicos en el control de operación para detectar fuentes de error y tomar a tiempo las medidas correctivas.

**Tabla 11 - Fuentes de error en los sistemas técnicos y posibles efectos sobre el producto tomando como ejemplo la cerveza**

Error/irregularidad	Posibles efectos	
Aire comprimido	Punto de rocío alto	Contaminación del aire, turbidez, sabor defectuoso, de la cerveza
	Aceite	Sabor defectuoso, reducción de la espuma
	Olor extraño, sabor extraño	Sabor defectuoso, olor extraño en la cerveza

Fuente: (Krones AG, 2012)

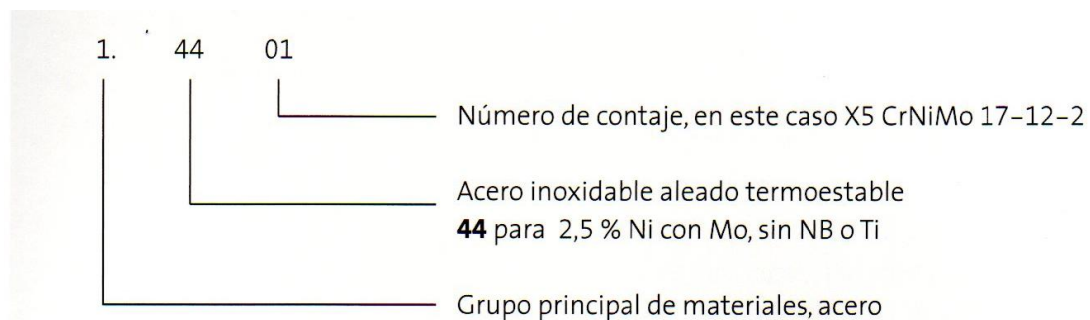
En su mayoría las modernas líneas de llenado son construidas en acero inoxidable. La selección del material también juega un papel muy importante en los sellos ya que estos están expuestos a diferentes presiones y oscilaciones en la temperatura de ser expuestos – especialmente la limpieza CIP - a cambios de medios realizados en breve tiempo.

### 3.9 Materiales metálicos (aceros)

La norma DIN EN 10020 establece tres tipos de acero:

- No aleados
- Inoxidables
- Otros aceros aleados

En la industria de las bebidas se procesan sobre todo aceros inoxidables. De su nombre abreviado se deduce su composición química por ejemplo X5 CrNiMo17-12-2; el número de material 1.4401 asignado es una indicación codificada y significa:



**Ilustración 6 - Clasificación de los aceros**

Fuente: (Krones AG, 2012)

Internacionalmente los aceros inoxidables son designados generalmente con la clasificación AISI, según la cual el material 1.4301 lleva el número AISI 304 y el material 1.4404 es denominado AISI 316L.

Los aceros resistentes a la corrosión y a los ácidos, entre ellos figuran especialmente los aceros austeníticos al CrNi y al CrNiMo, son los materiales más empleados en la industria de las bebidas a manera de productos de fundición y de acero laminado. Poseen altos valores

característicos de alargamiento de rotura, son resistentes a la rotura frágil incluso a temperaturas bajas y se dejan soldar fácilmente bajo condiciones de atmosfera controlada.

### 3.10 Materiales no metálicos

Además de los materiales metálicos, también los materiales no metálicos poseen gran importancia. Sus propiedades especiales tales como baja densidad, baja conductividad eléctrica, resistencia a la corrosión, indiferencia a medios agresivos, buena y amplia procesabilidad, relativa dureza, bajos coeficientes de fricción son aspectos que justifican su empleo.

**Tabla 12 - Materiales polímeros orgánicos**

#### Sintéticos termoplásticos

PA	(poliamida, PA 6.6, PA 6)
PBTP	(polibutilenotereftalato)
PC	(policarbonato, biberones para bebés)
PE	(polietileno)
PES	(poliéster sulfona)
PMMA	(polimetil-metacrilato; Plexiglas)
POM	(polioximetileno, poli acetal, transparente)
PP	(polipropileno)
PS	(poliestireno; ABS)
PUR	(poliuretano)
PVC	(cloruro de polivinilo)
PVCD	(policloruro de vinilideno)

#### Como materiales de embalaje hay que mencionar

PET(P)	(polietileno tereftalato)
PEN(P)	(polietileno naftalato)

#### Sintéticos termoestables

Plásticos fenólicos	La primera masa para moldeo
Amnioplásticos	Masa de moldeo de resina de melamina



<b>UP</b>	Resinas de poliésteres insaturados
<b>EP</b>	Resina epoxi
<b>Sintéticos elásticos</b>	
<b>Caucho natural</b>	
<b>Caucho PUR</b>	
<b>Caucho estireno butadieno</b>	(Buna)
<b>Caucho Perbunan</b>	(Caucho-nitrilo)
<b>Caucho de silicona</b>	
<b>EPDM</b>	
<b>Elastómero fluorado</b>	(Vitron)

Fuente: (Krones AG, 2012)

### 3.11 Superficies de los materiales

La superficie de los materiales es determinada sobre todo por los procedimientos de transformación y de tratamiento. Una medida para expresar la estructura de la superficie es el valor promedio de la rugosidad  $R_a$  (la media de la profundidad de rugosidad  $R_z$  y la profundidad de la rugosidad  $R_t$  son parámetros menos usuales).

Los materiales empleados para la fabricación de las tuberías, grifería, recipientes, maquinas y equipos de la industria de las bebidas deben poseer un valor promedio de rugosidad lo mas bajo posible para asegurar procesos de limpieza y de desinfección efectivos y para prevenir la formación de depósitos de los productos.

En las superficies en contacto con el producto el valor promedio de rugosidad debería ser  $R_a \leq 1.6 \mu\text{m}$  y en lo posible se debería tratar de alcanzar valores  $R_a \leq 0.8 \mu\text{m}$ .

Los tubos de acero inoxidable sin costuras son fabricados con un valor promedio de rugosidad de  $R_a \leq 2.5 \mu\text{m}$  y  $\leq 1.6 \mu\text{m}$ , los tubos soldados con un valor promedio de rugosidad de  $R_a \leq 1.6 \mu\text{m}$  y  $\leq 0.8 \mu\text{m}$ .

La norma UNE EN 10088 establece los tipos de ejecución de las superficies de los aceros inoxidables.

### 3.12 Corrosión y protección contra la corrosión



**Ilustración 7 - Galvanizado por baño de inmersión**

Fuente: (Revista Petroquímicas, 2018)

Bajo corrosión se define la alteración indeseada de la superficie de un material o de la estructura de un material. Es provocada por influencias químicas, bioquímicas o bien electroquímicas y depende especialmente del valor pH y de la temperatura, en parte de tensiones mecánicas existentes, de potenciales eléctricos y de la presencia de ciertos elementos o bien de sus iones.

Metales diferentes (en algunos casos es suficiente una diferencia mínima en la composición de la aleación) forman dentro de un medio acuoso un elemento galvánico (elemento local). El metal menos noble se disuelve electroquímicamente.

Podemos distinguir diferentes tipos de corrosión: la corrosión acida (con desprendimiento de hidrogeno) y la corrosión con consumo de oxigeno. Ambos tipos de corrosión pueden presentarse de manera combinada.

La corrosión química puede ser ocasionada por medios corrosivos gaseosos o líquidos no acuosos tales como el oxígeno (oxidación) o dióxido de azufre (corrosión por gas de humo) o debido a temperaturas altas.

La siguiente tabla resume los procesos en las superficies de separación durante la corrosión.

La corrosión puede presentarse de maneras muy diferentes:

- Corrosión uniforme y plana
- Corrosión por picaduras (picado)
- Puede ser ocasionada por iones halógenos ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{I}^-$ ) y/o diferencias de potenciales
- Corrosión por contacto
- Corrosión por intercrystalina
- Corrosión interna por fisuras
- Corrosión en fisuras
- Corrosión selectiva
- Corrosión debida a vibraciones mecánicas, cavitación y erosión

La corrosión se puede evitar y controlar mediante:

- Selección de materiales adecuados conforme a las exigencias
- Recubrimientos no metálicos (pasivadores, capas de oxido, recubrimiento de fosfato, barnizado, recubrimiento con polímeros)
- Recubrimientos metálicos (galvanizado mediante separación catódica del metal, metalizado [galvanizado por inmersión en caliente, estañado en caliente], metalización por proyección [Al, Cu, Zn], plaqueado por ejemplo con acero inoxidable)
- Adición de inhibidores a las soluciones atacantes, protección catódica por corriente ajena, por ánodos de sacrificio.

### 3.13 Sellos

Los sellos tienen la función de obturar uniones separables ya sea roscadas o de brida de tal manera que la superficie de unión quede sellada herméticamente hacia adentro y hacia afuera evitando el paso de líquidos, gases y de microorganismos.

Los sellos perfilados son introducidos en una ranura y apretados mediante un anillo (llamado arandela) que a su vez encaja en la ranura. Este sello de ranura y arandela es especialmente idóneo para el sellado en caso de presiones altas ya que no se puede desplazar lateralmente.

**Tabla 13 - Tipos de sellos y materiales**

<b>Juntas planas</b>	<b>Poli tetrafluoretileno (PTFE), polietileno (PE), polipropileno (PP), etileno-propileno-dieno polimerizado mixto (EPDM), elastómeros fluorados.</b>
<b>Empaques de material blando</b>	Algodón, PTFE, grafito, MoS <sub>2</sub> , fibras de celulosa impregnadas, elastómeros.
<b>Sellos metálicos</b>	Plomo Pb, cobre Cu, aluminio Al, estaño Sn.
<b>Sello mecánico para arboles</b>	Se emplean las combinaciones de materiales carbón artificial/metal duro, grafito/metal duro, cerámica/metal duro, cerámica/cerámica, metal duro/metal duro.
<b>Sellos perfilados, juntas tóricas</b>	Etileno-propileno-dieno polimerizado mixto (EPDM), elastómero fluorado
<b>Anillos obturadores radiales</b>	Elastómeros, en parte construcción de metal compuesto, en parte resorte anular.

Fuente: (Krones AG, 2012)

## **IV. Metodología**

Las variables pueden definirse como aspectos de los problemas de investigación que expresan un conjunto de propiedades, cualidades y características observables de las unidades de análisis, tales como individuos, grupos sociales, hechos, procesos y fenómenos sociales y naturales (Carrasco, 2006).

### **4.1 Variables de Investigación**

Estas se pueden dividir en independientes y dependientes. La variable que manipula el experimentador recibe el nombre de variable independiente. El objeto, proceso o característica a estudiar y que modifica su estado con la modificación de la variable independiente se llama variable dependiente (Echegoyen Olleta, 2012).

#### **4.1.1 Variables Dependientes**

La variable dependiente es el alto consumo de aire comprimido en las líneas de producción de bebidas carbonatadas.

#### **4.1.2 Variables Independientes**

Las variables independientes no se manipularon, se midieron para determinar el impacto que generaban a la variable dependiente. Las variables independientes bajo estudio afectan el consumo de la materia prima durante la producción.

- Procedimientos del proceso de envasado.
- Receta de bebida carbonatada.
- Ancho nominal DN

### **4.2 Enfoque y Métodos**

El enfoque mixto es un proceso que recolecta, analiza y vincula datos cuantitativos y cualitativos en un mismo estudio, en una serie de investigaciones para responder a un planteamiento del problema, o para responder a preguntas de investigación de un planteamiento del problema (Tashakkori & Teddlie, 2010).

Durante la planeación y realización del proyecto se utilizó el método mixto, contando con características de ambos enfoques:

- Enfoque cuantitativo: Mediante la recopilación de datos se determinó las causas y operaciones que generan un mayor consumo de aire comprimido durante la producción de bebidas carbonatadas.
- Enfoque cualitativo: Se involucró al personal de la planta como ser, los operadores, supervisores y jefes de línea, ya que ellos contaban con un mayor conocimiento del proceso y planificación de la manufactura de diversos productos que se elaboran en las líneas.

### **4.3 Técnicas e Instrumentos Aplicados**

A continuación, se detallan los instrumentos y técnicas aplicadas durante el desarrollo del proyecto.

#### **4.3.1 Técnicas Aplicadas**

La recolección de datos se realizó mediante las siguientes técnicas:

1. Solicitud de cotizaciones a proveedores
2. Análisis de documentos
3. Internet
4. Datos obtenidos de los medidores de flujo másico

Se realizaron solicitudes de cotización a proveedores de equipo y tecnología de aire comprimido. La información obtenida mediante estas comunicaciones es de carácter cuantitativo como, por ejemplo, el precio de los equipos y fechas de entrega.

El análisis de documentos tiene como propósito comprender todo el material referente a fichas técnicas de los equipos, manuales de operación y manuales de instalación.

El internet, como uno de los principales medios para recolectar información, se utilizó para recolectar documentación referente a los procesos de carbonatación y llenado de bebidas carbonatadas, así como los últimos avances tecnológicos.

Los datos obtenidos de las lecturas de los medidores de flujo másico son de carácter cuantitativo y utilizado para el análisis de consumos por las líneas de producción.

### 4.3.2 Instrumentos Aplicados

La formula de calidad para el aire comprimido de Kaeser Compressors se utiliza para realizar cálculos de contenido de aire comprimido necesario para el correcto funcionamiento de la planta. Esta formula es utilizada para realizar el correcto dimensionamiento del sistema en la planta de producción de las bebidas carbonatadas.

### 4.4 Materiales

Dentro de los materiales que se cotizaron para la realización de la propuesta del sistema de aire comprimido se encuentran:

- Tuberia de conducción principal
- Tuberia de distribución
- Tuberia de conexión
- Secador
- Unidad de mantenimiento
- Mangueras

### 4.5 Cronograma de Actividades

Tabla 14 - Cronograma

Actividades	SEMANAS																																												
	Semana 1				Semana 2				Semana 3				Semana 4				Semana 5				Semana 6				Semana 7				Semana 8				Semana 9				Semana 10								
	L	M	M	J	V	L	M	M	J	V	L	M	M	J	V	L	M	M	J	V	L	M	M	J	V	L	M	M	J	V	L	M	M	J	V	L	M	M	J	V	L	M	M	J	V
Induccion de seguridad	■																																												
Recorrido del plantel	■	■	■	■	■																																								
Levantamiento del sistema actual						■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Estudio de manuales																																													
Diseño del nuevo sistema																■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Selección de equipo																																													
Cotización de equipo																																													
Elaboración de propuesta de mejora																																													
Entrega de propuesta de mejora																																													

Fuente: Elaboración propia

## **V. Descripción del Trabajo Desarrollado**

El presente capítulo contiene la descripción del trabajo desarrollado en la empresa Embotelladora de Sula S.A. en el departamento de Mantenimiento Industrial durante un periodo de 10 semanas comenzando el 23 de abril del 2018 y finalizando el 29 de junio del 2018.

La primera semana de la practica profesional estuvo dedicada a indicar y enseñar al practicante el trabajo y las funciones a desempeñar. Se le presentó al personal de la empresa y compañeros con los que trabajaría durante la duración de la practica.

### **5.1 Recorrido del plantel**

Durante la primera semana de la práctica se realizó el recorrido del plantel. Un ingeniero de mantenimiento brindó ayuda explicando el funcionamiento del sistema de aire comprimido en la planta de producción y el objetivo del proyecto a realizar.

A la vez, se definieron las rutas de las nuevas tuberías para el nuevo proyecto y se identificaron las tuberías existentes de distribución y conexión de aire comprimido a lo largo del plantel, las cuales cuentan con un color beige para facilitar la identificación de estas.

El proyecto consiste en realizar un levantamiento del sistema actual de aire comprimido en la planta de producción para luego realizar el diseño de un nuevo sistema de distribución de aire comprimido con los diámetros de tuberías ideales para obtener un rendimiento óptimo del sistema. En la entrega de la propuesta del proyecto debe ir el plano en AutoCAD de como sería el nuevo sistema de aire comprimido y el esquema del sistema existente en la planta de producción.

### **5.2 Levantamiento del sistema actual de aire comprimido**

Luego de haber realizado un recorrido preliminar del sistema de aire comprimido, se comenzó con el levantamiento del sistema actual de aire comprimido. Para la toma de datos, la empresa brindó un distancio metro laser para facilitar la medición de distancias dentro de la planta.



Una sugerencia que brindo la empresa fue contabilizar todos los accesorios que tienen las tuberías, entre ellas las válvulas de purga, de conexión y distribución, así como los codos y camisas que existen actualmente para realizar un inventario en el sistema.

Debido a la precisión requerida para el levantamiento, esta función tuvo una duración de 3 semanas para poder realizarlo en toda la planta. Se trabaja a diario, realizando mediciones por la mañana y trabajando en AutoCAD por la tarde para ir presentando los avances solicitados por la jefatura de mantenimiento y el departamento de ingeniería.

Se aprecio que la tubería de aire comprimido es de 3" la cual fue instalada cuando se amplio por primera vez el plantel y en algunas zonas presentaba desgaste. Las tuberías de conexión actuales son de  $\frac{3}{4}$  de pulgada y presentan fugas en las uniones con las mangueras.

### **5.3 Estudio de información de sistemas de aire comprimido**

Luego de finalizado el levantamiento del sistema de aire comprimido actual, se recibieron capacitaciones de sistemas de aire comprimido para tener un mejor entendimiento de su función en la producción y obtener mayor información para comenzar con el diseño del nuevo sistema.

Para el diseño del nuevo sistema, se utilizaron como referencia el manual Técnica de Aire Comprimido de Kaeser Compresores y Sistemas de Aire Comprimido de Krones. También, se tomaron en cuenta las propiedades físicas del fluido, el caudal de flujo de la materia prima y la presión en las tuberías.

El aire comprimido se utiliza en un estado gaseoso a bajo caudal en producciones continuas de 24 horas por 7 días a la semana. El caudal del sistema actual es de 1500 CFM (pies cúbicos por minuto) y las tuberías cuentan con una presión de 115 PSI. El nuevo sistema debe contar un caudal de 1800 CFM y con una presión de 90 PSI para lograr un mejor rendimiento del sistema.

#### 5.4 Diseño del nuevo sistema de aire comprimido

Para el diseño del nuevo sistema de tuberías, se tomó en cuenta utilizar varios soportes existentes en la planta para la instalación de las nuevas tuberías de distribución de aire comprimido. Esto es porque una gran parte de la tubería existente sería remplazada por nueva tubería.

Con la ayuda del plano en AutoCAD de la tubería existente se realizó un nuevo diseño de donde iría colocada la nueva tubería en toda la planta de producción. Debido a que los compresores de aire, secadores de aire y los filtros son modulares, no se tomaron en cuenta para el nuevo diseño de tuberías.

Debido a la confidencialidad con la empresa, no se puede adjuntar el plano de AutoCAD del levantamiento del sistema actual y el nuevo diseño de la planta.

Se tuvo que tomar en cuenta el aumento de caudal en las tuberías que sería el resultado por la instalación de un compresor de aire adicional y el cambio de presión para calcular el diámetro nominal de las nuevas tuberías de aire.

Para el cálculo de pérdidas se consideraron los siguientes casos:

- Pérdidas en tuberías de conducción principal 0.435 PSI
- Pérdidas en tuberías de distribución 0.435 PSI
- Pérdidas en tuberías de conexión 0.580 PSI
- Pérdidas en secador 2.900 PSI
- Pérdidas en unidades de mantenimiento y mangueras 7.250 PSI

Estos cálculos de pérdidas fueron obtenidos por las formulas anteriormente mencionadas en el marco teórico de este informe.

Para facilitar el cálculo de diámetro de tuberías se realizó una tabla en Excel que mediante el uso de las formulas y brindando la información como caudal, longitud, presión de

funcionamiento del sistema y pérdidas de presión realizaba el cálculo de diámetro nominal de la tubería. La tabla se muestra en la siguiente imagen.

<b>Caudal</b>	1770.00	CFM				
	3007.23	m3/h				
<b>Flujo</b>	0.84	m3/s				
<b>Presión del sistema</b>	90.00	PSI				
<b>Presión Absoluta</b>	104.70	PSI				
	721853.10	Pascal				
<b>Pérdida de presión</b>	1					
	0.44	0.00	0.00	0.00	0.00	PSI
	0.44					Total
	2999.22	Pascal				
<b>Longitud</b>	22.00	Metros				
<b>Tipos de pérdidas</b>						
0 <i>No hay pérdidas adicionales</i>	0	PSI				
1 <i>Conduccion principal</i>	0.435	PSI				
2 <i>Conduccion de distribucion</i>	0.435	PSI				
3 <i>Conduccion de conexion</i>	0.58	PSI				
4 <i>Secador</i>	2.9	PSI				
5 <i>Unidad de mantenimiento y manguera</i>	7.25	PSI				
<b>Diámetro Interior</b>	0.10	Metros				
	103.11	Millimetros				
<b>Diámetro Nominal</b>	4	Pulgadas				

**Ilustración 8 - Cálculo del diámetro nominal de tuberías mediante formulas**

Fuente: Elaboración propia

Los resultados fueron que la mayoría de la tubería de 3" que existe actualmente en la planta de producción ya no se da abasto para el consumo actual de la planta lo que provoca que los compresores de aire funcionen al 100% todo el tiempo. El diámetro de la tubería principal recomendada es de 4". La tubería de distribución del plantel principal recomendada es de 3" si se corrigen todas las fugas que existen actualmente en esa zona.

Para el área de la línea de lata, por se la zona mas nueva de la planta, en el momento de su construcción realizaron la instalación con una tubería de 3" por la longitud del área, pero el diámetro recomendado es de 4" para lograr bajar la presión a 90 PSI.

Las tuberías de conexión hacia los equipos se mantendrán siempre de ¾" para estandarizar las salidas de las tuberías de distribución y facilitar la compra de los lances de la tubería.

Se presentaron estos resultados a la jefatura de Mantenimiento Industrial y a la jefatura de Ingeniería para mostrar las recomendaciones a tomar en cuenta para la instalación de las nuevas tuberías de aire comprimido en la planta de producción. A su vez, utilizaran estos resultados para un futuro proyecto de ahorro energético con los compresores de aire.

### **5.5 Selección de equipo**

Para el nuevo sistema de tuberías se seleccionaron las tuberías de metal galvanizado ya que aguantan altas temperaturas. Se seleccionó el método de la soldadura para unir las tuberías y asegurarse de reducir las fugas en las uniones entre ellas. Esto es debido a que se cuenta con este problema en el sistema existente.

Se realizo un estimado de la cantidad de válvulas y codos que serian necesarios para la instalación, pero por decisiones de la empresa el numero de accesorios esta pendiente de confirmar al momento de la compra por posibles variaciones que pueden ocurrir en el diseño durante la instalación.

Una vez seleccionado los materiales a utilizar se paso al proceso de cotizaciones. Por reglamento de compras de la empresa se solicitaron un numero mínimo de cotizaciones por material para brindar al departamento de Compras y continuar con el proceso de compra para el proyecto. Este proceso tomó una semana y media debido al frecuente contacto que había que realizar con varios proveedores.

Las ultimas semanas de la practica fueron utilizadas en la elaboraci3n de la propuesta de mejora para el nuevo sistema de aire comprimido y obtener la autorizaci3n de la jefatura para comenzar con las compras de materiales y ejecuci3n de este.

## VI. Conclusiones

Como dice James & Slater, (2013) "la conclusión debe proporcionar un resumen, sintético pero completo, de la argumentación, las pruebas y los ejemplos consignados en las dos primeras partes del trabajo. Debe relacionar las diversas partes de la argumentación, unir las ideas desarrolladas."

- Se examinó el estado actual del sistema de aire comprimido en la planta de producción de bebidas carbonatadas.
- Se elaboró un plano en AutoCAD del diseño actual del sistema de aire comprimido en la planta de producción.
- Se diseñó el nuevo sistema de aire comprimido para la planta de producción de bebidas carbonatadas.

## **VII. Recomendaciones**

En el presente capítulo se enumeran las recomendaciones para mejora realizadas a la empresa y a la universidad.

### **7.1 Para la empresa**

- Implementar el mantenimiento preventivo para el equipo crítico y auxiliar, con el objeto de reducir el número de incidentes o fallas y que deban ser solucionados con un mantenimiento correctivo.
- Mantener un mejor control de toda la información técnica de la planta y que esté a disposición del personal de mantenimiento para futuras referencias ya sea para mantenimiento o proyecto.

### **7.2 Para la universidad**

- Mejorar el equipamiento de laboratorio de la universidad para que los estudiantes puedan realizar más prácticas y puedan seguir adquiriendo más conocimientos.
- Realizar más visitas académicas a las industrias para que el estudiante conozca el ambiente industrial y su equipamiento.

## VIII. Bibliografía

- Back, W. (2001). *Neu = Empfindlich*. Salzburg: Brauwelt.
- Baker, R. C. (2000). *Flow Measurement Handbook*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Blüml, S., & Fischer, S. (2006). *El mundo de los envases*. Hamburg: Kronos AG.
- Bohl, W. (2002). *Technische Strömungslehre*. Würzburg: Vogel-Fachbuch / Kamprath Series.
- Carrasco, S. (2006). *Metodología de la investigación científica*. Lima: Editorial San Marcos.
- CORINSA, C. d. (2011). *Manual de Inducción*. San Pedro Sula: Grupo CORINSA.
- Deppert, W., & Stoll, K. (2000). *Aplicaciones de la Neumatica*. Mexico D.F.: Alfaomega, S.A.
- Dulhoste, J. F. (2014). *Instrumentación*. Bogotá: Universidad de los Andes.
- Echegoyen Olleta, J. (2012). *Filosofía Contemporanea*. Madrid: Edinumen.
- Gault, J., Redington, J., & Schlager, T. (2000). Undergraduate Business Internships and Career Success: Are They Related? *Journal of Marketing Education*, 45-53.
- Grote, K.-H., & Feldhusen, J. (2011). *Taschenbuch für den Maschinenbau*. Berlin: Springer-Verlag.
- Imholte, T. J., & Imholte-Tauscher, T. K. (2000). *Engineering for Food Safety and Sanitation*. Medfield: Technical Institute of Food Safety.
- James, E. A., & Slater, T. (2013). *Writing your Doctoral Dissertation or Thesis Faster: A Proven Map to Success*. Thousand Oaks: SAGE Publications, Inc.
- Maurício, J. (2012). *Princípios de mecatrônica*. Mexico D.F.: Pearson Education.
- Moreno, M. (2012). *Introducción a la Neumática*. Buenos Aires: Automación Micromecánica s.a.i.c .
- PepsiCo International. (2005). Practicas Operacionales. En *Manual de Calidad* (págs. 149-150). New York: PepsiCo International.
- PepsiCo International. (2005). Procesos de Manufactura. En *Manual de Calidad* (pág. 447). Nueva York: PepsiCo International.
- Rammert, M. (1993). Zur Optimierung von Hochleistungsfüllanlagen für CO<sub>2</sub>-haltige Getränke. Paderborn.
- Sanchez Alarcon, J. A., Pujol, R. O., & Estrany Coda, F. (2006). Planta para la recuperacion de dióxido de carbono de los gases de combustion. *Tecnica Industrial*, 35-36.



Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2015). *Física para Ciencias e Ingeniería*. Mexico D.F.: Cengage Learning Editores.

Solé, A. C. (2011). *Instrumentación Industrial*. Mexico D.F.: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.

Tashakkori, A., & Teddlie, C. (2010). *Handbook of Mixed Methods in Social & Behavioral Research*. Thousand Oaks: Sage.

Wagner, W. (2001). *Strömung und Druckverlust*. Würzburg: Vogel-Fachbuch / Kamprath Series.

## IX. Anexos



Anexo 1 - Tubería de conexión de aire comprimido

Fuente: Elaboración propia



## **Anexo 2 - Tubería de distribución y conexión de aire comprimido en planta**

Fuente: Elaboración propia



## **Anexo 3 - Estructura de soporte de tubería de sistema de aire comprimido**

Fuente: Elaboración propia



**Anexo 4 - Tubería de distribución de aire comprimido en planta**

Fuente: Elaboración propia



**Anexo 5 - Antigua tubería de distribución de aire comprimido**

Fuente: Elaboración propia



**Anexo 6 - Antigua tubería de aire comprimido fuera de servicio**

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

## **Anexo 7 - Tuberías de conexión de aire comprimido en planta**

Fuente: Elaboración propia



## **Anexo 8 - Conexión de aire comprimido en tanque de almacenamiento**

Fuente: Elaboración propia