

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA**



**“EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO DE  
UNA CERVECERÍA CON BASE A SUS FUTUROS  
AUMENTOS DE PRODUCCIÓN”**

**Realizado por:**

**Jhonatan José Alonso Morales**

Trabajo de Grado presentado ante la Universidad de Oriente

Como requisito parcial para optar al Título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

**Puerto La Cruz, Mayo de 2009.**

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA**



**“EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO DE  
UNA CERVECERÍA CON BASE A SUS FUTUROS  
AUMENTOS DE PRODUCCIÓN”**

**ASESORES:**

---

**Prof. Orlando Ayala  
Asesor Académico**

---

**Ing. Josué Márquez  
Asesor Industrial**

**Puerto La Cruz, Mayo de 2009.**

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA**



**“EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO DE  
UNA CERVECERÍA CON BASE A SUS FUTUROS  
AUMENTOS DE PRODUCCIÓN”**

**JURADO**

El Jurado hace constar que asignó a esta Tesis la calificación de:

**EXCELENTE**

---

**Prof. Orlando Ayala**  
**Asesor Académico**

---

**Prof. Jesús Moreno**  
**Jurado Principal**

---

**Prof. Lino Camargo**  
**Jurado Principal**

**Puerto La Cruz, Mayo de 2009.**

## **RESOLUCIÓN**

### **ARTÍCULO 44**

#### **REGLAMENTO DE LOS TRABAJOS DE GRADO**

“Los Trabajos de Grado son de exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y sólo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo participará al Consejo Universitario”.

## DEDICATORIA

Este gran triunfo y éxito en la culminación de mis estudios superiores, y que representa el inicio de mi nueva etapa como profesional, se lo dedico a mi Dios, porque me dio la fuerza necesaria para luchar y vencer todos los obstáculos que enfrente en el transcurso de mi carrera. Gracias Dios, por estar conmigo siempre, sólo tu y yo sabemos que he vivido para superar esta meta.

A mis padres, Ana Maria Morales y José Ángel Alonso, por formarme como persona y por haberme apoyado constantemente en toda mi carrera. Gracias mama por mantenerte a mi lado siempre. Los quiero mucho....!

José Ángel Alonso Morales, mi hermano, que ha sido mi mejor amigo y compañía en todos estos años de estudios y en mi vida personal.

A toda mi familia, a mis abuelos, mi abuela Mary y Orensia que me dieron esos sabios consejos que nunca en mi vida olvidare, a mis tíos y todos mis primos; por poner su granito de arena en mi formación como persona y ayudarme a conseguir mi sueño.

A mi novia, amiga y apoyo de día a día MI BEBE "Eileen Sánchez", por apoyarme en todo momento, ser comprensiva y ayudarme a alcanzar mis metas.

A mis grandes amigos Roberto y Eduardo, por el apoyo y consejos que me han dado en la vida.

A mis compañeros de clases y todos aquellos que estuvieron conmigo durante mis estudios, en especial con quienes compartí los mejores y peores momentos de mi vida como estudiante: Víctor, Florangel, Verónica, Glorimar, Carolina, Carlos, y de quienes me llevo gratos recuerdos.

## **AGRADECIMIENTOS**

A ti Dios, agradecer toda la fuerza, paz, salud y vida que me ayudo a enfrentar mis estudios y culminación de esta meta.

A nuestra grandiosa Universidad de Oriente, que me otorgo la oportunidad de cumplir mi sueño, así como también a todos mis profesores que de una u otra manera contribuyeron a lo largo de mi carrera a mi formación personal y profesional.

A mi asesor académico Ing. Orlando Ayala, primero por aceptarme la propuesta de asesoramiento, por guiarme y ofrecerme su enseñanza ya que sin sus conocimientos y sus consejos no hubiera sido posible la culminación de esta meta.

A Cervecería Polar, Planta oriente, de la mano de mi asesor industrial por abrirme las puertas de sus instalaciones y la colaboración ofrecida durante la realización de mi pasantía. Mención especial para mi amiga Sonia Nucette, por la persona especial que eres y la oportunidad ofrecida.

A todas las personas que contribuyeron en esta meta cumplida, muchas gracias.

## RESUMEN

En el siguiente Trabajo de Grado se presenta la evaluación del sistema de aire comprimido de una planta cervecera con base a sus futuros aumentos de producción, por la puesta en operación de dos líneas de elaboración de cerveza y una de refresco. En este estudio se determinó la eficiencia del sistema de aire comprimido en la generación, almacenamiento, transporte y distribución, así como, su grado de utilización en las diferentes áreas. En la primera fase, se efectuó el levantamiento y actualización del sistema mediante planos isométricos. Luego se realizó la evaluación del sistema de aire comprimido para las Etapas Actual, Aumento de Producción y Futura. En estas se simuló las redes de tuberías que suministran aire comprimido para las diferentes áreas mediante un simulador de flujos en tuberías, donde se obtuvieron las caídas de presiones en las mismas, siendo el área más crítica Envasado. Adicionalmente se estudio la capacidad de expansión futura del sistema de aire comprimido, determinándose que este tiene una capacidad para la instalación de tres líneas de producción de cerveza sin presentar deficiencias. Una vez evaluadas las diferentes áreas se realizaron las propuestas de mejoras para cada etapa, como fue el rediseño de los diámetros de las tuberías, redistribución de los equipos en el área de Envasado y la instalación de un amplificador de presión con la finalidad de bajar la presión del sistema para obtener una disminución del consumo de la planta. A su vez se evaluó la factibilidad económica de las propuestas mediante la aplicación de la fórmula del valor presente neto.

# ÍNDICE

<b>RESOLUCIÓN</b> .....	<b>IV</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>5</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>6</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>7</b>
<b>ÍNDICE</b> .....	<b>VIII</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>X</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>XII</b>
<b>CAPITULO I</b> .....	<b>14</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>14</b>
1.1 RESEÑA HISTÓRICA .....	14
1.2 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	16
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	17
1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	18
<b>CAPITULO II</b> .....	<b>19</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>19</b>
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....	19
2.2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS .....	20
2.3.4 Aire.....	31
2.3.5 Componentes del sistema de aire comprimido .....	31
2.3.6 Caída de presión .....	34
2.3.7 Simulador de flujos en tuberías.....	36
2.3 METODOLOGÍA DESARROLLADA EN EL PROYECTO .....	37
2.3.1 Revisión bibliográfica. ....	37
2.3.2 Levantamiento de los diagramas de proceso e instrumentación del sistema de aire comprimido. ....	37
2.3.4 Elaboración de las propuestas de mejoras para cada etapa del sistema de aire comprimido.....	38
2.3.5 Estudio económico de las propuestas de mejoras para cada etapa de la evaluación del sistema de aire comprimido.....	39
<b>CAPITULO III</b> .....	<b>40</b>

<b>ETAPA ACTUAL DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO.....</b>	<b>40</b>
3.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ACTUAL.....	40
3.2 EVALUACIÓN DE LA ETAPA ACTUAL.....	59
<b>CAPITULO IV.....</b>	<b>77</b>
<b>ETAPA DE AUMENTO DE PRODUCCIÓN Y FUTURA.....</b>	<b>77</b>
4.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA EN LA ETAPA DE AUMENTO DE PRODUCCIÓN.....	77
4.2 EVALUACIÓN DE LA ETAPA DE AUMENTO DE PRODUCCIÓN.....	77
4.3 EVALUACIÓN DE LA ETAPA FUTURA.....	86
<b>CAPITULO V.....</b>	<b>88</b>
<b>DESARROLLO DE PROPUESTAS.....</b>	<b>88</b>
5.1 PROPUESTAS PARA LA ETAPA ACTUAL.....	88
5.2 PROPUESTA PARA LA ETAPA DE AUMENTO DE PRODUCCIÓN.....	92
5.3 PROPUESTAS PARA LA ETAPA FUTURA.....	96
<b>CAPITULO VI.....</b>	<b>100</b>
<b>EVALUACIÓN ECONÓMICA.....</b>	<b>100</b>
6.1 ESTUDIO ECONÓMICO DE LA ETAPA ACTUAL.....	101
6.2 ESTUDIO ECONÓMICO DE LA ETAPA DE AUMENTO DE PRODUCCIÓN..	102
6.3 EVALUACIÓN ECONÓMICA PARA LA ETAPA FUTURA.....	104
6.4 CÁLCULO DEL VALOR PRESENTE NETO.....	106
<b>CAPITULO VII.....</b>	<b>109</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>109</b>
7.1 CONCLUSIONES.....	109
7.2 RECOMENDACIONES.....	111
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>112</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>113</b>
<b>METADATOS.....</b>	<b>114</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla</b>	<b>Descripción</b>	<b>Página</b>
2.1	Características de las tuberías de aire comprimido	22
3.1	Características del compresor Elliot	27
3.2	Características del compresor Atlas Copco	28
3.3	Características de las secadoras York	29
3.4	Características de los Tanques Buffer	30
3.5	Especificaciones de los post-enfriadores	31
3.6	Consumo de los equipos de la líneas	33
3.7	Consumos de los equipos de la líneas	33
3.8	Consumo de los equipos de la líneas	34
3.9	Consumo de las cajas de válvulas de P.T.A.B y P.T.A.R	36
3.10	Consumo de los equipos en el área de P.T.A.R	37
3.11	Caudal y presión de los equipos en Elaboración I	38
3.12	Caudal y presión de los equipos de Elaboración II	39
3.13	Consumo de aire de los equipos en la línea	40
3.14	Consumo de aire de los equipos en la línea 2-3	41
3.15	Consumo de aire de los equipos en las líneas 4, 5 y 8	41
3.16	Consumo de aire de los equipos en la línea 6	42
3.17	Consumo de aire de los equipos de las líneas 7, 9 y 10	43
3.18	Caída de presión en sala de máquinas	46
3.19	Caída de presión en el Puente Principal	47
3.20	Caída de presión en el área de Pepsi	48
3.21	Caída de presión en Planta de Tratamiento	50
3.22	Caída de presión en Elaboración I	52
3.23	Caída de presión en Elaboración I (Aire Húmedo)	52
3.24	Caída de presión en Elaboración II (Filtración)	55
3.25	Caída de presión en Elaboración II (T.C.C)	55
3.26	Caída de presión en la tubería 1 de Envasado	56

3.27	Caída de presión en la tubería 2 de Envasado	57
3.28	Caída de presión en la tubería 3 de Envasado	59
3.29	Caída de presión en la tubería 4 de Envasado	60
4.1	Caída de presión en las tuberías del Puente Principal	63
4.2	Caída de presión en la tubería 1 de Envasado	63
4.3	Caída de presión en la tubería 2 de Envasado	66
4.4	Caída de presión en la tubería 3 de Envasado	66
4.5	Caída de presión en la tubería 4 de Envasado	68
4.6	Caída de presión en las líneas de Pepsi	69
5.1	Distribución actual para las tuberías de Envasado	73
5.2	Flujos Máximos permitidos en tuberías de Envasado	74
5.3	Nueva distribución para las tuberías de Envasado	75
5.4	Especificaciones para la Etapa de Aumento	76
5.5	Parámetros de diseño para las líneas en la sala	77
5.6	Diámetros nuevas líneas de los compresores 1,2,3 y 4	77
5.7	Parámetros para la línea principal sala de máquinas	78
5.8	Especificaciones técnicas del Videojet	81
5.9	Característica del amplificador modelo ADD-2	82
5.10	Evaluación del amplificador modelo ADD-2	83
6.1	Estimación de los costos de redistribución de equipos	86
6.2	Estimación de los costos de la propuesta de reubicación	87
6.3	Costos para reubicación de compresores	88
6.4	Costos estimados de un amplificador de presión	89
6.5	Estimación de la disminución del consumo Etapa Futura	89
6.6	Estimación de los costos de inversión de las propuestas	90
6.7	Estimación de Bs por las propuestas para las etapas	90

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Descripción</b>	<b>Página</b>
1.1	Vista aérea de Cervecería Polar Planta Oriente	2
2.1	Proceso de elaboración de la Cerveza y Malta	12
2.2	Proceso de elaboración de la Cerveza y Malta	16
2.3	Organigrama de la distribución de aire comprimido	25
3.1	Vista aérea de las zonas de producción de la Planta	26
3.2	Diagrama funcional del compresor Elliot	27
3.3	Diagrama funcional del compresor Atlas Copco	28
3.4	Diagrama funcional de la secadora York	29
3.5	Diagrama funcional de los tanques Buffer	30
3.6	Vista de las secadoras, buffer y post-enfriadores	31
3.7	Líneas de producción del área de Pepsi	35
3.8	Vista de las tuberías 1, 2 y 3 de Envasado	43
3.9	Diagrama de la simulación de sala de máquinas	45
3.10	Diagrama de simulación en el área del Puente Principal	47
3.11	Diagrama de simulación de Pepsi	49
3.12	Diagrama de la simulación del área de P.T.A.B	50
3.13	Diagrama de la simulación de Elaboración	51
3.14	Diagrama de la simulación de aire húmedo	52
3.15	Diagrama de la simulación de Elaboración II (Filtración)	53
3.16	Diagrama de la simulación de Elaboración II (T.C.C)	54
3.17	Diagrama de la simulación de la tubería	56
3.18	Diagrama de la simulación de la tubería	58
3.19	Diagrama de la simulación de la tubería	59
3.20	Diagrama de la simulación de la tubería	60
4.1	Diagrama de la simulación del Puente Principal	62
4.2	Diagrama de la simulación de la tubería	64

4.3	Diagrama de la simulación de la tubería	65
4.4	Diagrama de la simulación de la tubería	67
4.5	Diagrama de la simulación de la tubería	68
4.6	Diagrama de la simulación de Pepsi	69
4.7	Diagrama de la simulación del puente principal	70
5.1	Simulación de las tuberías de la sala de máquinas	79
5.2	Amplificador de presión Haskel	80
5.3	Simulación del amplificador de presión para Envasado	82
6.1	Diagrama de Flujo Neto para el cálculo del VPN	91

# **CAPITULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Reseña histórica**

Fue en la parroquia de Antímano donde Lorenzo Mendoza Fleury gesta la creación de una empresa cervecera cuando corría el año 1939. Desde el mismo momento en que se plasmó como proyecto, ya estaba pensada y destinada a convertirse en una de las principales empresas del país. Así nace Polar, con la visión futurista y el ánimo emprendedor de sus fundadores. El Acta constitutiva de Cervecería Polar C.A., se firma el 13 de marzo de 1941, y se registra el 14 de marzo del mismo año. En un tiempo relativamente corto y estimulada por el aumento de la demanda, Polar responde a las exigencias del mercado proyectando la creación de otras plantas cerveceras. En 1950 se inaugura Cervecería de Oriente C.A., en Barcelona, estado Anzoátegui. En 1951 entra en actividad Planta Los Cortijos, en sustitución de la ubicada en Antímano. En 1960 comienza a operar Cervecería Modelo en Maracaibo. Y en 1975, empieza a funcionar Cervecería Polar del Centro, en San Joaquín, estado Carabobo, constituyéndose en el complejo cervecero más moderno de América Latina.

A Cervecería Polar Oriente C.A., se incorporó como unidad productiva la planta de Barcelona a orillas del río Neverí y de esta manera se creó en el oriente del país una importante fuente de trabajo. Con la planta de Barcelona se cubría el mercado de los estados Nueva Esparta, Sucre, Monagas y Anzoátegui. Su primer despacho se realizó con destino a la ciudad insular de Porlamar, el 28 de mayo de 1950. El centro de producción oriente se inicio con una capacidad instalada de 500 mil litros al mes, hoy en día su capacidad instalada supera los 60 millones de litros mensuales. En 1950, la instalación de un tren de latas en su área de

Envasado fue una verdadera revolución, por cuanto esa tecnología no se conocía en el país ni en Latinoamérica. El año 1951 dio vida a Maltín Polar, para satisfacer la demanda de una bebida refrescante y nutritiva. Hoy en día este centro de producción elabora cerveza Polar tipo Pilsen, Polar Ice, Polar Light, Solera, Solera Light, además de Maltín Polar en sus diferentes presentaciones, atendiendo más del 60% del territorio nacional.

### **1.2 Ubicación del área de estudio**

Cervecería Polar Planta Oriente (ver figura 1.1), se encuentra ubicada, a las orillas del río Neverí, Carretera Negra, km.15, Sector Ojo de Agua, Barcelona, estado Anzoátegui. En el área de Servicios Industriales (sala de máquinas) se ubican todos los sistemas de energías necesarios para la elaboración de la cerveza y la malta.



Figura 1.1. Vista aérea de Cervecería Polar Planta Oriente.

Fuente. Google Maps.

### **1.3 Planteamiento del problema**

La gerencia de servicios industriales (sala de máquinas) es la encargada de recibir, convertir y distribuir la energía a los diferentes procesos mediante los sistemas de vapor, aire comprimido, recuperación de CO<sub>2</sub>, electricidad y refrigeración. El sistema de aire comprimido dispone de tres compresores centrífugos marca Elliot y un compresor de tornillo marca Atlas Copco. El aire es tomado del ambiente, aspirado a través de un filtro a la presión y temperatura ambiente, y comprimido hasta unas condiciones finales de 100 psi y 150 °C. Posteriormente, el aire comprimido es sometido a enfriamiento en los post-enfriadores, saliendo a una temperatura de 30 °C aproximadamente y enviado a dos tanques de almacenamiento. El aire comprimido contenido en los tanques buffer fluye en dos tuberías, una con un flujo de aire en condiciones de humedad, utilizado en el área de elaboración para el transporte de nepe y trub de las tolvas hacia los silos y el otro flujo hacia dos secadores de capacidades iguales que operan con alcohol cuyo objetivo es retirar el resto del vapor de agua mediante condensación del aire logrando la condición de aire comprimido seco. Finalmente el aire es distribuido por redes de tuberías a las áreas de Planta de Tratamiento de Aguas, Elaboración I, Elaboración II, Envasado, Pepsi y Taller para ser utilizado en las actividades de control, instrumentación, transporte, limpieza, líneas de producción, entre otros. En la actualidad Cervecería Polar C.A., en su estrategia de cumplir con demandas de producción cada vez mayores y mantener la innovación tecnológica, propuso realizar un estudio al sistema de aire comprimido, que se desarrolló en tres fases. La fase uno de evaluación del sistema actual llamada Etapa Actual. Una segunda fase denominada Etapa de Aumento de Producción donde se estudiarán las obsolescencias de los componentes, reubicación de los compresores y puesta en servicio de tres líneas de producción. En la última fase de crecimiento a largo plazo denominada Etapa Futura donde se estudió el sistema según las demandas de servicios para años futuros.

La evaluación se basó en el estudio del mercado actual y futuro, obsolescencias de los componentes del sistema, así como en los requerimientos para nuevos equipos. Este estudio tiene la finalidad de facilitar un crecimiento progresivo y ordenado del sistema de aire comprimido a fin de que cumpla con las expectativas de las demandas proyectadas para cada período. En el proyecto se evaluarán los componentes del sistema de aire comprimido en las tres etapas del estudio basadas en las proyecciones Polar. Luego se simulará el sistema de aire comprimido mediante un software computarizado para cada fase en busca de caídas de presiones que afecten al sistema al aumentar las demandas de producción y se desarrollarán las propuestas para subsanar tales deficiencias, tomando en consideración las normas de Polar.

#### **1.4 Objetivos de la investigación**

##### **1.4.1 Objetivo general**

Evaluación del sistema de aire comprimido de una cervecería con base a sus futuros aumentos de producción.

##### **1.4.2 Objetivos específicos**

1. Realizar el levantamiento de los diagramas de proceso e instrumentación del sistema de aire comprimido.
2. Evaluar los equipos y componentes del sistema de aire comprimido para cada fase del estudio.
3. Proponer las mejoras del sistema de aire comprimido para cada fase del estudio.
4. Simular las propuestas del sistema de aire comprimido para cada etapa del estudio mediante el simulador de flujos PIPEPHASE 8.1.
5. Realizar el estudio económico del proyecto basado en las premisas Polar.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Antecedentes de la investigación**

En el año 2007, Alonso Juan, desarrolló el proyecto “Evaluación del sistema de aire comprimido para la mejora del consumo energético de una cervecería”. Realizó un estudio en los equipos y componentes de las áreas más críticas del sistema de aire comprimido, como el dimensionamiento de las cuchillas de las secadoras de botellas, regularización de los windjet, automatización de los videojet y mejoramiento del sistema de transporte de nepe [1].

En febrero de 2006, Tovar Marisela, realizó la tesis “Análisis energético del sistema de generación y distribución de aire comprimido de una cervecería”. Como objetivos principales examinó los componentes del sistema, determinó el consumo de los equipos con relación a la cantidad de bebidas procesadas, diseñó placas orificios para cada área de producción y elaboró un manual de operación del sistema de aire comprimido. Concluyó que los post-enfriadores tenían alta eficiencia, los secadores suministraban aire a condiciones adecuadas y que el área de envasado es la más crítica [2].

Este trabajo se diferencia de los mencionados proyectos debido a que es un estudio del sistema de aire comprimido de la sala de máquinas en el período actual, a mediano plazo y largo plazo. Ello permitirá conocer si este, puede operar con las nuevas proyecciones de demandas de producción de una manera óptima con los componentes y equipos actuales. La evaluación del estudio permitirá desarrollar las propuestas que permitan un crecimiento ordenado y progresivo del sistema de aire comprimido en términos de facilidades para mejorar su mantenimiento, operatividad y seguridad.

## **2.2 Fundamentos teóricos**

### **2.2.1 Materia Prima**

Antiguamente la cerveza se elaboraba con cebada, lúpulo, agua y levadura. Con la industrialización, una serie de países incorporaron las hojuelas de cereales como el maíz y arroz, y obtuvieron una bebida más refrescante y suave capaz de adaptarse a las exigencias climáticas de cada región. En sus inicios Polar fabricó cerveza muy similar a las europeas, específicamente a las alemanas es decir: 100 % cebada malteada, pero el consumidor sentía la sensación de llenura que no le provocaba seguir consumiéndola al instante. En el año 1942 con la llegada de Carlos Roubicek a la empresa, se decidió reemplazar entre un 15 y un 25 % el uso de cebada malteada por las hojuelas de maíz. [3]

#### **2.2.1.1 Cebada**

La Cervecería Polar importa desde Europa y Canadá la más selecta cebada malteada, cuya óptima calidad está garantizada por los rigurosos y sucesivos controles aplicados durante su cultivo, cosecha, malteo y transporte. Contar con un insumo de esta categoría les permite a los maestros cerveceros elaborar productos con la excelencia de siempre. [3]

#### **2.2.1.2 Lúpulo**

Es una planta trepadora cuya flor en forma de cono contiene la lupulina, un componente insustituible a partir del cual se genera el noble sabor amargo y el aroma tan particular de la cerveza. Las presentaciones de este producto pueden ser en flor, en polvo, pellets (especie de pequeños taquitos compactos en forma de cilindro), extracto y aceites. Cervecería Polar lo adquiere en extracto, debido a que se obtiene con la más moderna tecnología para concentrar los componentes esenciales para el proceso cervecero, llamado alfa ácidos, alcanzando su máximo aprovechamiento gracias al empleo de gas carbónico (CO<sub>2</sub>), un solvente

completamente natural, bajo temperaturas y presiones críticas. Los alfa ácidos constituyen el componente más importante en el cervecero porque determinan el característico sabor amargo de la cerveza.

#### **2.2.1.3 Hojuelas de Maíz**

La cebada malteada no es la única fuente de almidón que se utiliza en el proceso productivo. De 15 a 25 % es sustituida por hojuelas de maíz o arroz pregelatinizadas. El uso de adjuntos produce cervezas de un color más claro, un sabor más vigorizante, mayor luminosidad, mejor estabilidad física y superiores cualidades de aceptación de enfriamiento. Mediante su uso se logra impartirle a la cerveza un toque de frescura y cuerpo balanceado, sabor ideal para las condiciones de nuestro clima tropical que ha sido aceptado y complace nuestros consumidores. Se utiliza maíz selecto que se somete a un complejo proceso de refinación.

La concha y el germen son eliminados con el fin de descartar la grasa. [3]

#### **2.2.1.4 Agua**

La calidad del agua ha sido reconocida durante siglos como un factor importante para determinar la calidad de la cerveza. Está debe estar libre de organismos que produzcan enfermedades y de sustancias que causen efectos fisiológicos perjudiciales. El agua debe ser también transparente, sin color ni olor y libre de cualquier sabor objetable. El agua para el proceso de fabricación de cerveza debe cumplir también con los requerimientos específicos para asegurar el debido pH de la masa, la debida extracción del lúpulo, buena coagulación en la paila u olla de cocción, sana fermentación y el debido desarrollo del color y sabor dentro de la cerveza terminada. [3]

#### **2.2.1.5 Levadura**

Las levaduras son hongos unicelulares. El termino levadura se aplica a un concepto que se ha desarrollado a través de la historia y que cubre un

grupo heterogéneo y mal definido de organismos. Su clasificación es extremadamente compleja y difícil y ha exigido el esfuerzo de muchos microbiólogos. Las levaduras que se usan en la fabricación de cerveza tienen similitudes básicas y en sus propiedades. La selección de una buena levadura se lleva a cabo considerando sus buenas cualidades, tanto del sabor que produce como de reproductividad, pues debe ser genéticamente estable, reutilizable en dos o tres procesos y permitir una fermentación considerablemente rápida que facilite la obtención del grado alcohólico deseado. Además, debe ser fácil de separar de la cerveza joven o verde, después de cumplir su acción fermentativa. [3]

## **2.2.2 Proceso de elaboración de la cerveza**

### **2.2.2.1 Recepción y almacenamiento**

La elaboración de la Cerveza Polar, comienza con la recepción de la cebada malteada y de las hojuelas de maíz. La cebada malteada, proviene de países como Estados Unidos, Alemania, Inglaterra y Francia, entre otros. Es transportada hasta Venezuela en barcos que arriban al puerto de Guanta para abastecer a Cervecería de Oriente, C.A. (Barcelona), luego a Puerto Cabello para surtir a Cervecería Polar del Centro C.A. (San Joaquín) y Cervecería Polar, C.A. (Los Cortijos en Caracas) y por último, al puerto de Maracaibo para abastecer a Cervecería Modelo C.A. ubicada en esa ciudad. Las hojuelas de maíz, son materias primas nacionales suministradas por las plantas de la Unidad Estratégica de Negocios de Alimentos. Las materias primas, son descargadas y enviadas a los silos mediante sistemas de transporte mecánicos que incluyen el pesado y limpieza que permiten eliminar las partículas extrañas que puedan contener. [3]

### **2.2.2.2 Molino**

Para asegurar la formulación apropiada, debe pesarse la cebada malteada y las hojuelas de maíz. La cebada malteada pasa por un molino,

donde los granos son triturados para facilitar la extracción de sus componentes solubles, lo que permite el trabajo de las enzimas sobre los almidones y proteínas, para dar origen al mosto. El molino está compuesto por una serie de rodillos que trituran los granos de cebada malteada transformándola en harina y sémola. Adicionalmente posee un sistema de cedazos que apartan la cáscara, la cual se utilizará como material filtrante en el proceso de cocimiento.

### **2.2.2.3 Mezcla y Maceración**

Una vez triturada la cebada malteada se envía a la paila de pre-mezcla donde se va a unir con las hojuelas de maíz y el agua previamente tratada. En esta etapa, los ingredientes permanecen el tiempo necesario para formar una mezcla totalmente homogénea antes de pasar a la maceración. En la paila de maceración, la mezcla obtenida anteriormente, permanece aproximadamente una hora y media en constante agitación a temperaturas que oscilan entre 55 y 75 °C. La maceración permite que las enzimas de la cebada malteada actúen sobre el almidón contenido en ella y en el de las hojuelas de maíz, para generar los azúcares fermentables que se requerirán posteriormente, obteniéndose además, vitaminas y minerales. [3]

### **2.2.2.4 Filtración del mosto**

Finalizada la maceración, se bombea la mezcla hacia la cuba de filtración, a fin de separar el líquido llamado mosto, de la parte sólida e insoluble, conocida como afrecho o nepe. La cuba de filtración posee un falso fondo con rejillas que permiten retener toda la parte sólida, la cual se mueve con unos brazos giratorios para que el líquido pase a través de él. Este proceso tiene una duración aproximada de 3 horas. El nepe que se extrae es un subproducto rico en proteínas y fibras que tiene aplicación industrial, como valioso aditivo en la fabricación de alimentos para animales.

#### **2.2.2.5 Hervida**

El mosto cervecero obtenido en la filtración, rico en azúcares, aminoácidos, vitaminas y minerales, es transferido a la paila de cocción donde es llevado a punto de ebullición para luego adicionarle el extracto de lúpulo, que impartirá el sabor amargo y aroma característico a la cerveza. Durante este proceso, que dura aproximadamente una hora y media, se logra activar las enzimas de la cebada malteada, una vez cumplidas sus funciones, y evaporar el exceso de agua para lograr un mosto con la concentración requerida. Además, durante la ebullición, a través de reacciones entre azúcares y proteínas, se obtiene el color típico de la cerveza y se esteriliza el mosto para obtener un líquido puro y biológicamente estable.

#### **2.2.2.6 Clarificación y Refrigerio**

Terminado el cocimiento, el mosto es enviado al rotapool para ser sometido al proceso de clarificación, el cual se logra a través de un movimiento de fuerzas centrífugas que separan la parte líquida de los sedimentos y partículas insolubles, tales como residuos de lúpulo y complejos proteínicos no deseados en el producto terminado. Los sedimentos y partículas insolubles provenientes del rotapool son clarificados en el Decantador para recuperar el mosto que queda todavía mezclado. Finalmente, el mosto obtenido en el rotapool y el decantador, es bombeado al área de refrigerio donde mediante un Intercambiador de calor se enfría hasta alcanzar una temperatura de 10 °C aproximadamente con el fin de obtener las condiciones para que la levadura agregada a la salida del enfriador junto con el aire estéril, efectúe la fermentación. [3]

#### **2.2.2.7 Fermentación y Maduración**

La fermentación y maduración se realizan en enormes tanques conocidos como tanques cilindro cónico (T.C.C.), de acero inoxidable, con capacidad

de hasta 750.000 litros cada uno. A ellos se envía el mosto frío, aireado y con la levadura necesaria para comenzar con el proceso de la fermentación. El proceso de fermentación, es sin duda, el más complejo de la elaboración de la cerveza, tarda un promedio de siete (7) días, durante los cuales la levadura actúa sobre los azúcares fermentables obtenidos de la maceración, para transformarlos en gas carbónico, alcohol etílico y gran número de compuestos aromáticos adicionales, proporcionando el carácter típico de la cerveza. El gas carbónico producido durante este proceso es recuperado, purificado y almacenado para posteriormente ser reinyectado a la cerveza o al maltín ya filtrados. Concluida la fermentación, se inicia el proceso de maduración y ya no se habla de mosto, sino de cerveza joven o verde. La levadura es extraída, pudiendo ser utilizada nuevamente hasta cinco (5) veces, si así lo determina el laboratorio de aseguramiento de la calidad. La maduración de la cerveza se realiza en los mismos tanques, durante unas dos semanas, periodo en el cual la cerveza se mantiene en reposo, a una temperatura aproximada de  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Este proceso favorece la precipitación de sustancias insolubles y la sedimentación de la levadura aún en suspensión. [3]

#### **2.2.2.8 Filtración de la Cerveza**

Aunque durante el proceso de maduración se produzca una cierta clarificación natural, la cerveza no es todavía lo suficiente brillante, por lo que requiere pasar por el proceso de filtración. La filtración de la cerveza se realiza en tanques que poseen gran cantidad de pequeños cilindros o velas, donde se coloca la tierra infusoria. Polvo blanco, muy fino, constituido por microorganismos fósiles, cuyas características permiten eliminar las últimas células de levadura y partículas mínimas de proteínas precipitadas, garantizando la brillantez y estabilidad físico-química de nuestro producto. La salida del filtro de cerveza, se reinyecta el volumen necesario de gas carbónico ( $\text{CO}_2$ ), producido y recuperado durante la

fermentación y extraído para su purificación, proporcionándole frescura a la cerveza y además promueve la formación de espuma. [3]

### 2.2.2.9 Tanques de Gobierno

Finalizada la filtración de la cerveza, esta es enviada directamente a los tanques de gobierno donde permanece fría hasta el momento de envasarlo. Estos tanques reciben este nombre ya que en el trayecto entre los filtros y ellos, se encuentran medidores que registran los litros de cerveza producidos. Basado en estos registros, el Ministerio de Hacienda determina los impuestos que la planta debe cancelar al fisco nacional por concepto de producción de bebidas con contenido alcohólico. El diagrama del proceso de elaboración de la cerveza se muestra en la figura 2.1.

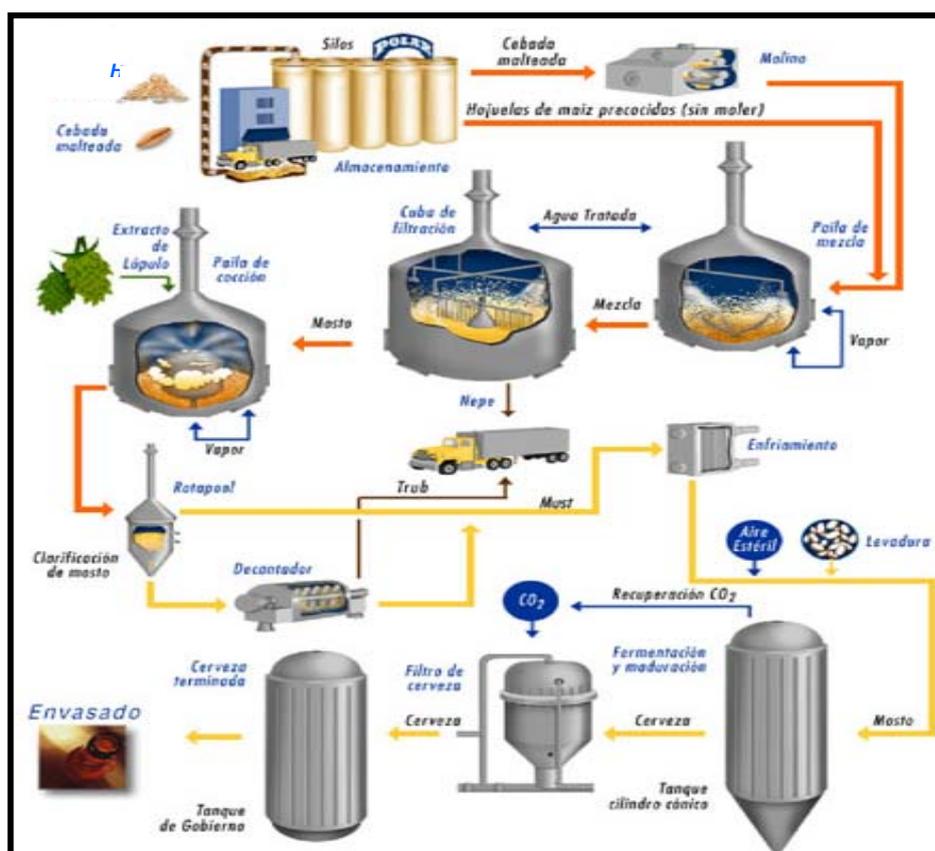


Figura 2.1. Proceso de elaboración de la Cerveza y Malta.

Fuente. Manual de elaboración de la cerveza de Polar.

### **2.2.3 Proceso de llenado y envasado de la cerveza**

Cervecería Polar del Centro, C.A. cuenta con nueve (9) líneas o trenes para envasar sus productos en las diversas presentaciones. Ocho (8) envasan productos en botellas y uno (1) en latas. Las velocidades de llenado varían desde 1.000 a 2.000 unidades por minuto, dependiendo de la configuración y el tipo de producto.

#### **2.2.3.1 Recepción de botellas vacías**

Los envases de botellas vacías, apilados en torres denominadas paletas, son traídos en gandolas, desde las distribuidoras o agencias hasta el sitio de recepción para luego ser llevados por montacargas hasta la despaletizadora. [3]

#### **2.2.3.2 Despaletizadora**

Las gaveras recibidas, se separan de las paletas usando aire comprimido que accionan los brazos mecánicos conocidos como despaletizador. Esta se encarga de descargar, camada por camada, las gaveras contenidas en cada paleta y distribuir las en las vías transportadoras para su posterior traslado hacia la desembaladora de botellas. Las paletas vacías son llevadas hasta el arrumador de paletas, para ser utilizadas posteriormente en la paletizadora.

#### **2.2.3.3 Desembaladora**

Esta máquina tiene como función retirar, mediante un sistema neumático de succión, las botellas vacías contenidas en cada gavera y colocarlas en la banda transportadora que las trasladarán hasta la lavadora de botellas. Además separa las gaveras vacías dirigiéndolas hacia las vías que la transportarán hasta la máquina lavadora de cajas.

#### **2.2.3.4 Lavadora de botellas**

En este equipo los envases son lavados, a temperaturas que oscilan entre 60 y 80 °C, con una solución entre 2, 5 y 3 % de soda cáustica y agua

debidamente tratada. A la entrada de la lavadora, las botellas son rociadas con agua a fin de eliminar desperdicios grandes y facilitar su posterior lavado. Finalizada esta etapa los envases son sumergidos en tanques con la solución indicada y se les inyecta soda cáustica caliente.

A continuación, las botellas se sumergen en tanques de agua fresca, con disminución progresiva de temperatura, para eliminar los residuos internos y externos de soda cáustica. Finalmente las botellas son inyectadas con agua desmineralizada, conocida también como agua suave, con el objeto de asegurar un mejor enjuague. El proceso de lavado dura aproximadamente 30 minutos, al final de cuyo lapso, se obtiene un envase perfectamente limpio, microbiológicamente estéril y apto para ser llenado. El aire comprimido en este equipo es usado solo para el control de las válvulas. Al salir de la lavadora, las botellas son colocadas en hileras antes de ser revisadas por el inspector electrónico, que detecta si cada una de estas botellas presenta las condiciones adecuadas para ser llenadas, rechazando aquellas que no cumplan tales requerimientos. Este equipo verifica la presencia de aquellos elementos extraños, tales como pitillos y papel, que puedan estar en el fondo del envase o adheridos a sus paredes. Además inspecciona los picos de las botellas rechazando mediante un mecanismo neumático aquellas que puedan presentar roturas. [3]

#### **2.2.3.5 Llenadora – Tapadora**

La llenadora es una máquina giratoria de forma similar a la de un carrusel, que envasa los productos, de acuerdo con el nivel indicado en cada presentación. Esto se realiza previa minimización del contenido de oxígeno en los envases. Seguidamente, se llenan las botellas a una velocidad de 2000 unidades por minuto, bajo contrapresión de gas carbónico, altamente compatible con la cerveza. De inmediato, los envases pasan por la tapadora, donde son cerrados herméticamente. El producto se envasa frío a una temperatura aproximada de 4 °C, lo cual

evita la formación de espuma en exceso. Ya llenas y tapadas, las botellas pasan por un inspector que verifica el llenado previsto y que se encuentre debidamente tapada. Las que tengan algún defecto son descartadas, mientras que las que pasan la prueba siguen hacia la pasteurización. El aire comprimido en este equipo es usado para el control de las válvulas de llenado de cerveza, movimiento de las botellas y tapadora, así como en la limpieza del mismo. [3]

#### **2.2.3.6 Pasteurizadora**

Luego de verificar el correcto tapado y nivel del líquido en el inspector de botellas llenas, y antes de abandonar la línea, los envases son sometidos a un proceso de pasteurización para proporcionarle al consumidor no solamente una cerveza brillante y exquisita, sino también un producto que se conserve microbiológicamente impecable. Los envases salen de la pasteurización a temperatura ambiente, listos para ser distribuidos a todas las regiones del país y el exterior. El vapor que utiliza el equipo es controlado por medio de válvulas que utilizan aire comprimido para el control.

#### **2.2.3.7 Embaladora**

La última etapa del proceso de llenado es el embalaje, el cual se realiza con maquinarias automatizadas mediante un sistema neumático que colocan los envases en cajas plásticas. Para garantizar que las cajas estén completas, pasan por un inspector antes de efectuarse el proceso de paletizado y despacho. [3]

#### **2.2.3.8 Paletizadora**

La máquina paletizadora se encarga de ensamblar mediante brazos neumáticos las cajas en pilas, para ser cargadas en las gandolas de las compañías que llevarán el producto en las condiciones ideales hasta los depósitos de las agencias encargadas de su distribución con el despacho. El proceso de llenado y envasado se muestra en la figura 2.2.

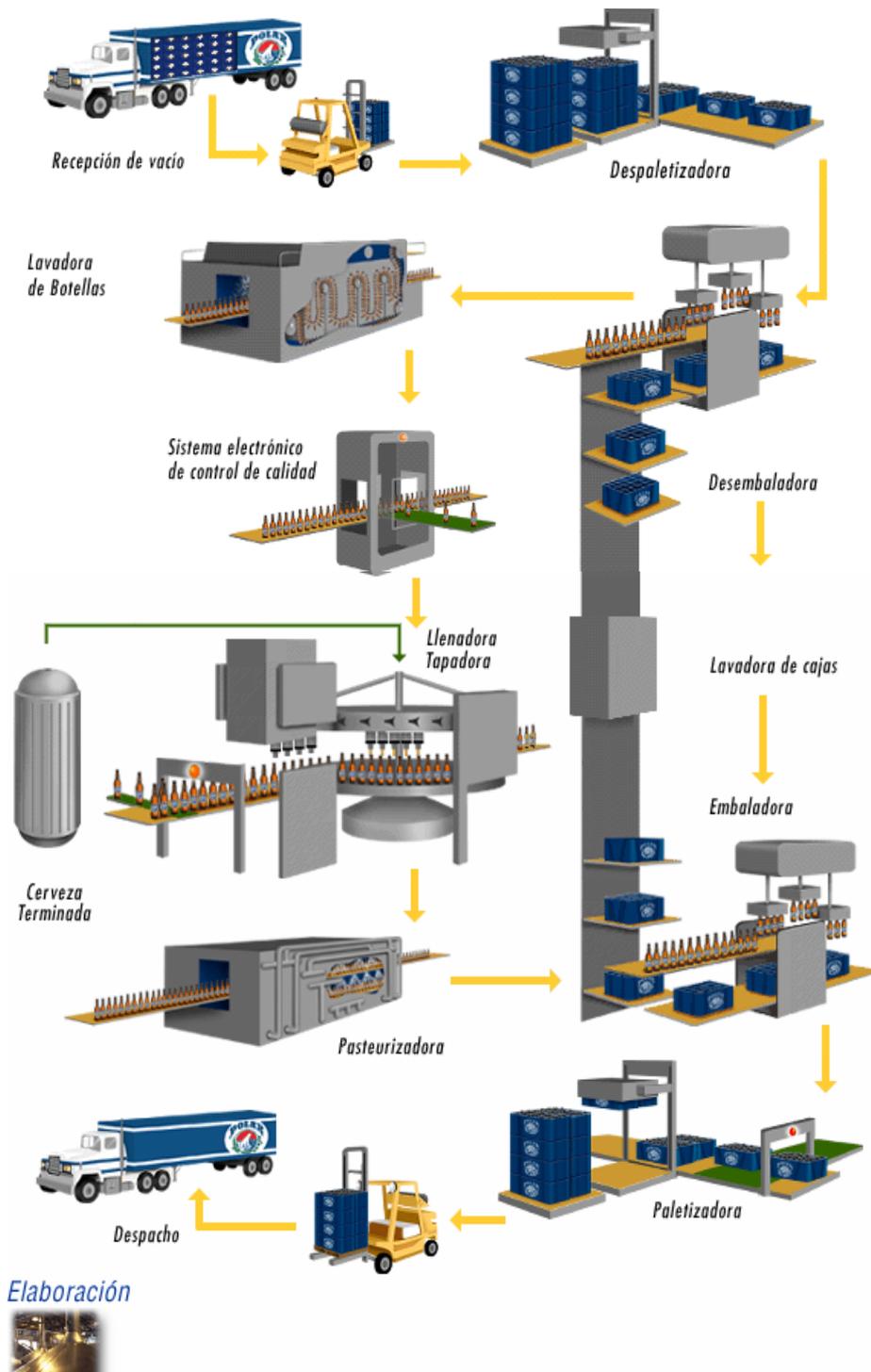


Figura 2.2. Proceso de elaboración de la Cerveza y Malta.  
Fuente. Manual de elaboración de la cerveza de Polar

### **2.3.4 Aire**

El aire es una mezcla de nitrógeno, oxígeno y vapor de agua. El aire seco es la parte de la mezcla compuesta solamente por nitrógeno y oxígeno, y el vapor de agua es lo que se denomina humedad. Existen dos estados extremos del aire atmosférico: el aire seco en el que no hay absolutamente nada de vapor de agua y el aire saturado de humedad en el que la mezcla contiene todo el vapor de agua que puede absorber el aire seco a esa temperatura. El aire seco puede absorber más vapor de agua si se lo calienta, y condensa agua líquida en forma de gotas si se lo enfría. Cuando la condensación ocurre sobre una superficie sólida origina la condensación por goteo o rocío. Por eso se suele denominar punto de rocío a la temperatura a la que se condensa un vapor [4].

### **2.3.5 Componentes del sistema de aire comprimido**

#### **2.3.5.1 Filtro del compresor**

Para asegurar un buen funcionamiento del compresor, este deberá llevar siempre un filtro de aspiración eficaz. Este dispositivo es utilizado para eliminar las impurezas del aire antes de la compresión con el fin de proteger al equipo compresor. De otra forma, los abrasivos que hay en el aire llegarían a la unidad y podrían causar desgaste excesivo en los cilindros, anillos, pistón, cojinetes, entre otros. Un buen filtro deberá cumplir los siguientes requisitos: gran eficacia de separación de impurezas, buena capacidad de acumulación, baja resistencia al flujo de aire, construcción robusta, entre otros [5].

#### **2.3.5.2 Compresores**

Son máquinas que tienen por finalidad aportar una energía a los fluidos compresibles (gases y vapores) sobre los que operan, para hacerlos fluir aumentando al mismo tiempo su presión. En esta última característica precisamente, se distinguen de los soplantes y ventiladores que manejan grandes cantidades de fluidos compresibles (aire por ejemplo) sin

modificar sensiblemente su presión, con funciones similares a las bombas de fluidos incompresibles. [6]

#### **2.3.5.2.1 Compresores Centrífugos.**

En estos compresores el flujo del gas es esencialmente radial; estos componentes están constituidos por uno o más rodetes y un número de pasajes divergentes fijos a la carcasa, denominado difusores, en donde el fluido es desacelerado. El principio de funcionamiento de estos compresores es que el gas a ser comprimido entra por el centro de una rueda giratoria provista con álabes radiales (rodete o impulsor), los cuales lanzan el gas hacia la periferia mediante la fuerza centrífuga. Antes de ser guiado el gas hacia el centro del siguiente impulsor, se le hace pasar por un difusor que transforma la energía cinética en presión. Los compresores radiales se adaptan bien a la refrigeración intermedia en cada etapa o a cada grupo de ellas, con lo cual el proceso se hace más isotérmico con la consiguiente mejora del rendimiento. Los refrigeradores son voluminosos debido a que estos compresores son muy sensibles a la caída de presión.

Las velocidades de funcionamiento son altas en comparación a otros compresores: las unidades comerciales operan en su mayoría a 20.000 revoluciones por minuto con fuertes tendencias a aumentar; a su vez los compresores radiales por debajo de 400 kPa (58,01 psi) de presión efectiva, normalmente no se refrigeran [6].

##### **Condición de Bombeo**

Cuando la presión de aire del sistema va aumentando debido a un menor consumo de la planta, el compresor entregará menos aire hasta el punto donde los pasajes internos del conjunto impulsión no podrán mantenerse llenos de aire provocando la interrupción del flujo continuo de aire a través de los impulsores. Si se redujera aún más el consumo de aire en la planta, caería en un área de inestabilidad y el compresor no podría mantener un flujo de aire continuo de tal manera que el flujo cambiaría de dirección, desplazándose esta vez del sistema hacia el compresor hasta

que se establece un equilibrio momentáneo entre el compresor y el sistema de aire comprimido. Este flujo invertido es lo que se conoce como Bombeo u Oleaje y es similar a la cavitación cuando se compara a una bomba centrífuga. [7]

#### Condición de obstrucción por resistencia

Cuando la presión de aire comprimido en el sistema disminuye debido al elevado consumo de los consumidores, el compresor suplirá más y más aire hasta que la velocidad del aire, en alguna parte dentro del compresor, alcance la velocidad del sonido. En este punto de operación se dice que el flujo está en una condición de obstrucción por resistencia o barrera infranqueable, porque cualquier reducción ulterior de presión en el sistema de aire no generará más incremento adicional del flujo de aire. [7]

#### **2.3.5.2.2 Compresores de tornillo.**

Son máquinas donde los rotores helicoidales engranados entre si y ubicados dentro de una carcasa; comprimen y desplazan el gas hacia la descarga. Los lóbulos de los dos rotores no son iguales, los del macho o rotor principal son de forma tal que se ajustan a las cavidades de la hembra o rotor conducido. Por lo general el rotor principal tiene menos lóbulos y por ello opera a mayor velocidad. El principio de estos compresores se basa en que a medida que los rotores giran, el volumen entre los rotores disminuye obteniéndose progresivamente la compresión deseada del aire que llena el espacio entre los lóbulos. La carencia de válvulas de aspiración y descarga, y la inexistencia de fuerzas mecánicas desequilibradoras; hacen que el compresor de tornillo pueda funcionar a elevadas velocidades. En consecuencia, combina una elevada capacidad con reducidas dimensiones. Los compresores de tornillo de tipo seco utilizan engranes de sincronización externos para los rotores macho y hembras, al no haber contacto entre rotores ni entre estos y la carcasa, no se necesita ningún tipo de lubricación dentro de la cámara de compresión y el aire suministrado es exento de aceite [6].

### **2.3.5.3 Post enfriador**

Esencialmente un post-enfriador es un intercambiador de calor en el cual el elemento que pierde calor es el aire comprimido, mientras que el medio que lo gana es algún refrigerante, usualmente aire o agua. El objetivo de este accesorio es disminuir la temperatura del aire luego de la compresión. Al tener lugar una disminución brusca de temperatura se presentarán condensados, por lo cual podemos decir que este equipo sirve también para disminuir la cantidad de agua contenida en el aire.

Esto implica que siempre que se utilice un post-enfriador es necesario instalar algún medio para retirar los condensados que este genera [5].

### **2.3.5.4 Tanque de almacenamiento**

Parte integrante de todo sistema de aire comprimido son unos o varios depósitos de almacenamiento para el fluido comprimido; cuyas principales funciones son: almacenar aire para suplir las demandas picos superiores a la capacidad del compresor, contribuir al enfriamiento y separación del condensado, amortiguar las pulsaciones del compresor recíprocante. [5]

### **2.3.5.5 Secadores**

Como el enfriamiento producido en el post-enfriador no es suficiente para impedir una posterior condensación en el sistema de aire comprimido, es necesario un enfriamiento adicional. Este trabajo lo realiza un secador de aire por refrigeración, el cual efectúa el intercambio de calor entre un refrigerante, usualmente alcohol o amoníaco, y el aire comprimido por medio de un intercambiador. Debido a que el punto de congelación del agua es de 0 °C, el circuito de refrigeración se ajusta hasta enfriar el aire entre 2 a 5 °C como mínimo [5].

### **2.3.6 Caída de presión**

Las fugas de aire comprimido, el exceso de consumo, la forma de la red de tuberías de aire y su rugosidad interna originan pérdida de energía.

Además el uso inadecuado de accesorios en líneas, tales como filtros, trampas, llaves, mangueras y acoples también se traducen en grandes caídas de presión. Un flujo típico de aire comprimido a través de una tubería recta de hierro o acero, se considera para los efectos del cálculo como turbulento. En estas condiciones, es imposible aplicar fórmulas que no sean experimentales. La más común es la que expresa la caída de presión como [5]:

$$\Delta P = \frac{1.6 \times 10^{12} * Q^{1.85} * L}{D^5 * P} \quad (2.1)$$

Dónde,

$\Delta P$ = Caída de presión (kPa).

Q= Flujo de aire (m<sup>3</sup>/s).

L= Longitud (m).

D= Diámetro (mm).

P= Presión inicial (kPa).

Se supone que la temperatura del aire es próxima a la ambiente. A partir de la misma, se puede elaborar una tabla de cálculo donde fijando tres de los parámetros mencionados en la ecuación (2.1), se pueden relacionar los otros dos de acuerdo a las conveniencias del momento. Los accesorios de las líneas y segmentos de tubería no rectos tienen sus caídas de presión expresados en forma de longitud de tubería equivalente. Estos valores pueden ser adicionados al dato de la longitud en la ecuación (2.1) y poder incluir todos los accesorios del caso en el cálculo general. Cuando se requiera seleccionar la tubería para la línea principal y líneas de alimentación de aire comprimido, es necesario que la tubería cumpla con las siguientes condiciones [5]:

1. Caída de Presión en la línea principal  $\Delta P_{m\acute{a}x} = 7$  kPa (1,02 psi).
2. Caída de Presión en la línea secundaria  $\Delta P_{m\acute{a}x} = 3$  kPa (0,44 psi).

Adicionalmente las líneas de distribución y alimentación de aire comprimido a baja presión (< 10 bar) deben cumplir con lo indicado en la tabla 2.1. [8]

Tabla 2.1. Características de las tuberías de aire comprimido.

Fuente. Manual de especificaciones Polar.

SISTEMA	MATERIAL	COMPONENTE	NORMA TUBERIAS ACCESORIOS	MATERIAL TIPO Y GRADO	SCHEDULE ESPESOR/DIAMETRO
AIRE COMPRIMIDO < 10 bar	ACERO AL CARBONO	TUBERIA	ASTM A-53 JIS G-3454 DIN 1629	grados A o B STPG410 St35-8 o St45-8	SCH 40 Todos los Diámetros Norma JIS ver tabla anexa Norma DIN ver tabla anexa
		ACCESORIOS	ASTM A-105 JIS G 3201 DIN 2506	SF 490A St 35-8 o St 45-8	SCH 40 Todos los Diámetros Norma JIS ver tabla anexa Norma DIN ver tabla anexa
	ACERO INOXIDABLE	TUBERIA	ASTM A-312 JIS G 3459 DIN 2463	TP304L SUS 304LTP Wn° 1.4306	SCH 10 Tdos los Diámetros Norma DIN ver tabla anexa Norma JIS ver tabla anexa
		ACCESORIOS	ASTM A-403 JIS G 3214 DIN 2605	WP304L SUS F304L Wn° 1.4306	SCH 10 Tdos los Diámetros Norma JIS ver tabla anexa Norma DIN ver tabla anexa

### 2.3.7 Simulador de flujos en tuberías.

Es un simulador de flujo monofásico y multifásico para predecir presiones, temperaturas y la interrupción líquida en pozos, líneas de flujo y sistemas de distribución. Es útil para diseñar nuevos sistemas, supervisando sistemas corrientes y previniendo o solucionando los problemas. El programa de simulación modela rigurosamente el estado de los flujos multifásicos o monofásicos en redes de gas, petróleo y sistemas de canalización. Tiene el poder y flexibilidad de obtener soluciones de modelos que van desde el análisis de sensibilidad de los parámetros de varios años hasta un estudio de planificación para todo el campo. Además combina un algoritmo de solución probada con métodos modernos de producción de software y técnicas de análisis para crear una sólida y eficiente herramienta de planificación. Con un amplio banco de datos de

propiedad física, y una interfaz intuitiva basada en Windows de interfaz de usuario, este simulador de flujos en tuberías cubre la gama completa de los fluidos encontrados en la industria del petróleo. [9]

## **2.3 Metodología desarrollada en el proyecto**

### **2.3.1 Revisión bibliográfica.**

Esta etapa constituyente del método científico en el cual el investigador la información referente al planteamiento del problema a través de la documentación en libros, manuales, Internet, revistas, información suministrada por los asesores, entrevistas no estructuradas y estructuradas al personal de operadores entre otros. A fin de que se puedan facilitar los conocimientos del tema propuesto y realizar la elaboración del proyecto.

### **2.3.2 Levantamiento de los diagramas de proceso e instrumentación del sistema de aire comprimido.**

En esta etapa se elaborarán y actualizarán (según sea el caso) los diagramas de proceso e instrumentación del sistema de aire comprimido que permitirán conocer la distribución de las redes de tuberías del sistema de aire comprimido, para verificar y determinar los diámetros de las mismas, ubicar los equipos y componentes conectados, así como detallar las condiciones de los mismos. Para la realización de los diagramas se utilizará el programa AutoCAD, el cual tiene el formato de trabajo DWG, el cual es compatible con muchos otros, lo que lo hace una herramienta muy versátil a la hora de compartir archivos entre programas. La técnica utilizada es la observación directa, realizando anotaciones y medidas de los sistemas.

### **2.3.3 Evaluación del sistema de aire comprimido para las diferentes etapas.**

El desarrollo del proyecto se dará en las Etapas Actual, Aumento de Producción y Futura del sistema de aire comprimido. Para la Etapa Actual

se estudiarán las diferentes áreas de producción y generación que se encuentran actualmente en la planta, sin realizar ningún tipo de modificación. Para la Etapa de Aumento de Producción se realizará un estudio en cuanto a la reubicación de los equipos compresores debido a la instalación de una estación de agua Grado Plato requerida para la elaboración del agua para la cerveza. La finalidad es la de facilitar el crecimiento progresivo y ordenado del sistema de aire comprimido, a fin de que este cumpla con las expectativas de las demandas proyectadas.

Además se busca obtener alguna deficiencia que presenten los equipos y componentes al incrementarse el consumo de aire comprimido en la planta. Así mismo en esta fase se consideran las obsolescencias de los equipos y los requerimientos de instalación de nuevos tomando en consideración las premisas de Cervecería Polar. En la Etapa Futura, el sistema de aire comprimido es evaluado, basándose en las previsiones de crecimiento a mediano plazo y largo plazo. Este estudio determinará si los componentes y los equipos del sistema podrán cumplir con futuras instalaciones de trenes de producción en las áreas de Envasado y Pepsi.

Las técnicas a usar para la evaluación de las tres fases del estudio es el desarrollo computacional. En estas se utilizará el simulador de redes de flujos para determinar las caídas de presiones.

#### **2.3.4 Elaboración de las propuestas de mejoras para cada etapa del sistema de aire comprimido.**

Una vez evaluadas las tres Etapas, se elaborarán según sea necesario las propuestas de mejoras del sistema de aire comprimido para cada una de estas, con la finalidad de lograr que el sistema de aire comprimido trabaje sin inconvenientes y asegurar que el mismo se encuentre en operación cuando sea requerido al incrementar la demanda de producción. Las técnicas a utilizar son el análisis de datos y resultados mediante el procesamiento de datos.

### 2.3.5 Estudio económico de las propuestas de mejoras para cada etapa de la evaluación del sistema de aire comprimido.

De acuerdo a las mejoras planteadas se realizará la evaluación técnico-económica de las mismas, determinando la inversión y el valor presente neto con el fin de corroborar que las propuestas son factibles económicamente. Para la realización de esta etapa, empresa Polar Oriente suministró los datos necesarios para la evaluación económica como es: la tasa mínima de retorno de la empresa, costos de los kilowatts contratados. En la figura 2.3 se observa el organigrama de la metodología desarrollada.

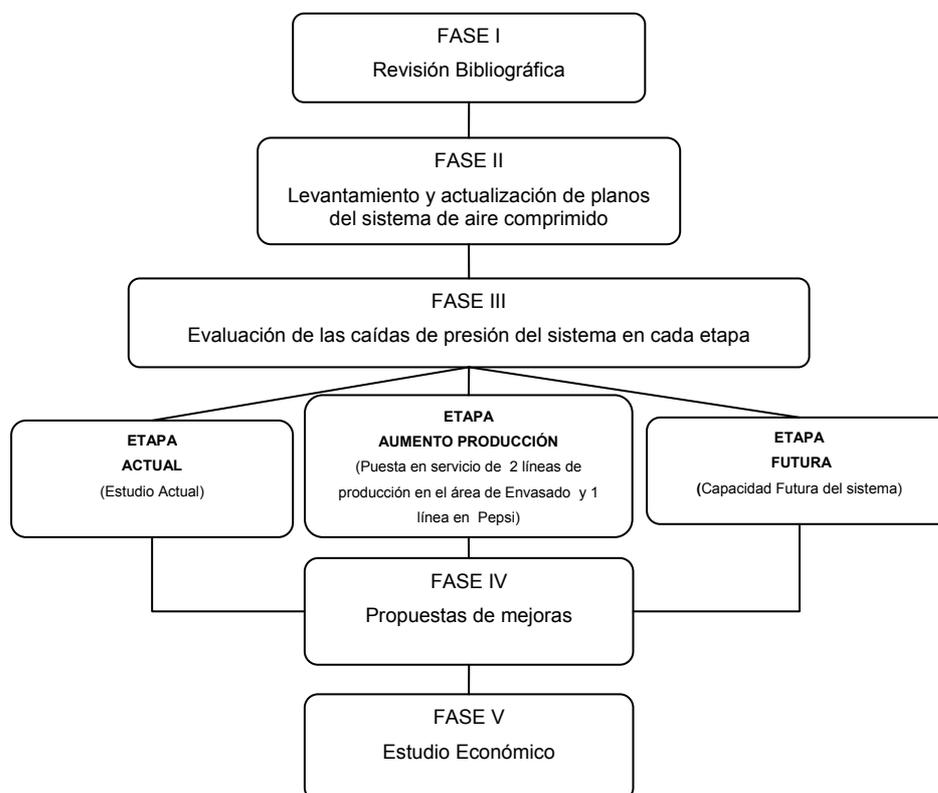


Figura 2.3. Organigrama de la distribución de aire comprimido.

Fuente. Elaboración propia.

## CAPITULO III

### ETAPA ACTUAL DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO

#### 3.1 Descripción del sistema actual.

La generación de aire comprimido se realiza en la sala de máquinas y se distribuye por medio de un sistema de redes de tuberías de diferentes diámetros con sus respectivas válvulas de control y accesorios. Esta distribución se realiza a través del puente principal de 400 m de longitud y 13 m de alto, que se ubica desde el área de Pepsi hasta el área de Envasado. La tubería principal del sistema se muestra de color azul en la figura 3.1 y proviene desde los buffer del área de sala de máquinas. Esta suministra el aire comprimido a la tubería denominada tubería del puente principal que conectan las diferentes áreas de producción de la planta como son: Envasado (Mostaza), Pepsi (Rojo), Elaboración I (Naranja), Elaboración II (Verde) y Planta de Tratamiento (Amarillo).



Figura 3.1. Vista aérea de las zonas de producción de la Planta.

Fuente. Elaboración propia

### 3.1.1 Descripción del área de Sala de máquinas.

En la sala de máquinas (ver anexo A.1) se genera toda la energía que necesitan las áreas de producción para realizar el proceso de elaboración de la cerveza y cuenta con los siguientes equipos:

#### 3.1.1.1 Compresores Centrifugos

Existen tres (3) compresores centrifugos de la marca Elliot del modelo 220-DA3 (ver figura 3.2). Estos compresores realizan la compresión del aire en tres (3) etapas y tienen cada uno una capacidad de 3.600 m<sup>3</sup>/h (F.A.D) y una presión de salida de 7 bar. Las características de este equipo se encuentran resumidas en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Características del compresor Elliot.

Fuente: Manual de especificaciones Elliot.

Flujo de agua de enfriamiento (m <sup>3</sup> /h)	22
Potencia (kW)	373
Presión de descarga (bar)	7
Temperatura de entrada del agua ( °C )	30
Revolución por minuto (RPM)	3.550

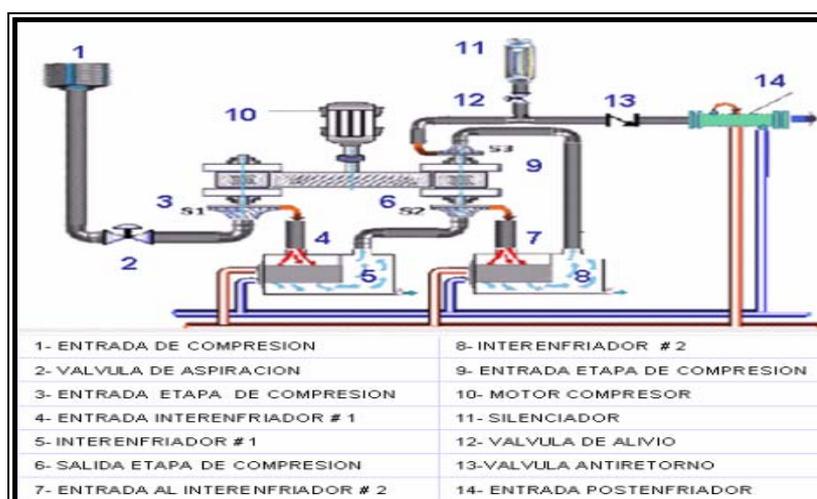


Figura 3.2. Diagrama funcional del compresor Elliot.

Fuente: Manual de operación Elliot.

### 3.1.1.2 Compresor de Tornillo

Existe también un (1) compresor de tornillo recién incorporado marca Atlas Copco del modelo ZR-315VSD (ver figura 3.3) de dos etapas de compresión y de una capacidad 2.700 m<sup>3</sup>/h (F.A.D). En la tabla 3.2 se muestran las características del equipo.

Tabla 3.2. Características del compresor Atlas Copco.

Fuente: Manual de especificaciones Atlas Copco.

Presión salida (bar)	7
Flujo de agua de enfriamiento (m <sup>3</sup> /h)	15
Temperatura entrada 2da.etapa (°C)	70
Potencia (kW)	296
Temperatura de Aceite (°C)	70

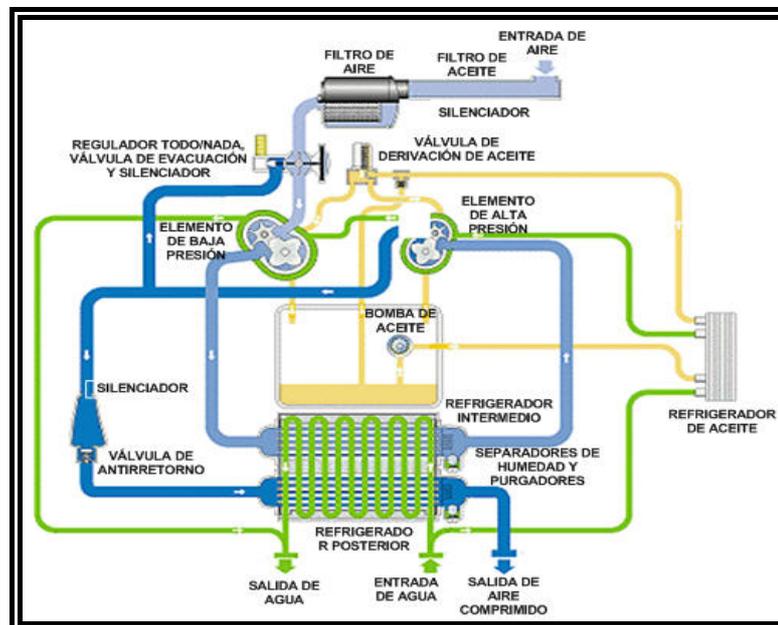


Figura 3.3. Diagrama funcional del compresor Atlas Copco.

Fuente: Manual de operación Atlas Copco.

### 3.1.1.3 Secadoras de aire.

Como el enfriamiento producido en los post-enfriadores no es suficiente para impedir una posterior condensación en el sistema de aire comprimido, es necesario un enfriamiento adicional. La planta cuenta con dos secadoras de aire comprimido de marca York (ver figura 3.4). Estas permiten que el aire cumpla con los requisitos de calidad con el fin de no dañar equipos, válvulas de control, herramientas neumáticas, entre otros.

En la tabla 3.3 se observan las características de las secadores presentes en polar.

Tabla 3.3. Características de las secadoras York.

Fuente: Manual de especificaciones Polar.

Presión de trabajo (bar)	6,88
Temperatura de trabajo (°C)	7
Temperatura de entrada del aire (°C)	30
Temperatura de entrada del refrigerante (°C)	-3 a -1
Tipo de refrigerante	Alcohol

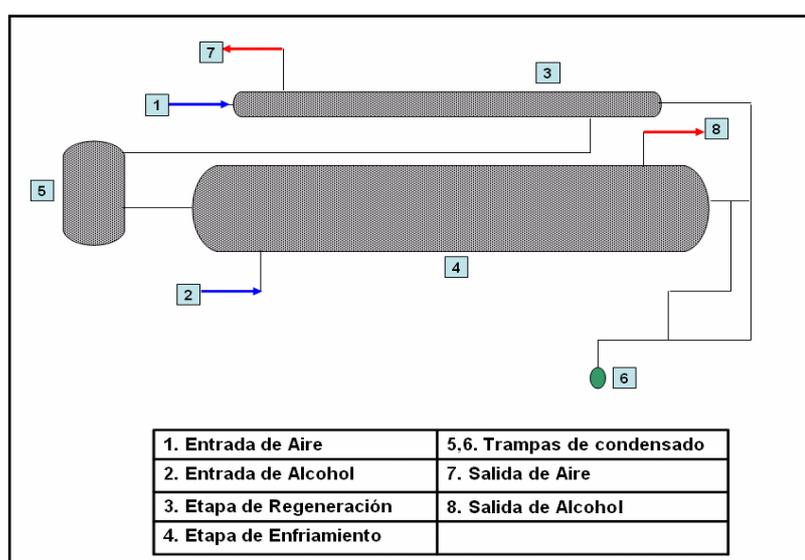


Figura 3.4. Diagrama funcional de la secadora York.

Fuente: Manual de operación Polar.

### 3.1.1.4 Tanques Buffer

Parte integrante de todo sistema de aire comprimido son unos o varios depósitos de almacenamiento para el fluido comprimido, cuyas principales funciones son: almacenar aire para suplir las demandas picos superiores a la capacidad del compresor, contribuir al enfriamiento y separación del condensado. En el área de sala de máquinas existen dos (2) tanques buffer (ver figura 3.5) de marca Hispania de iguales capacidades y dimensiones. Las características que presentan los buffer se encuentran en la tabla 3.4.

Tabla 3.4. Características de los Tanques Buffer.

Fuente: Manual de especificaciones Polar.

Presión de diseño (bar)	6,89
Presión del tanque (bar)	6,50
Longitud (m)	5,25
Diámetro (m)	1,60
Disposición	Horizontal
Volumen (m <sup>3</sup> )	12

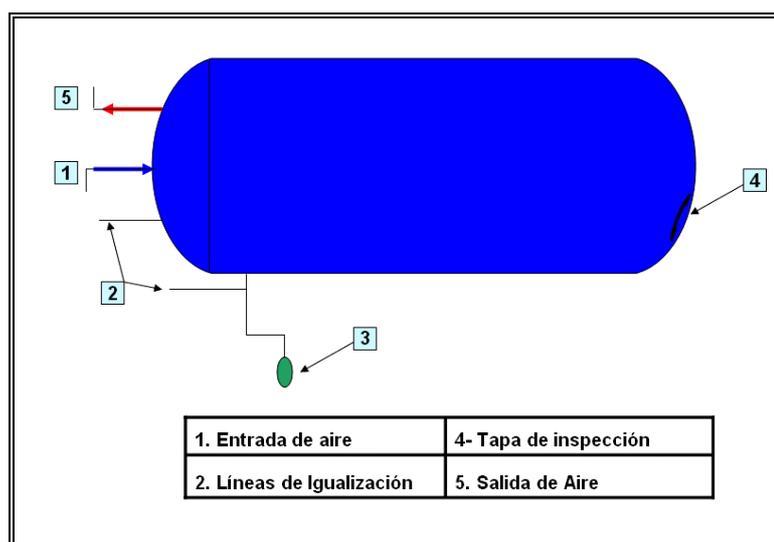


Figura 3.5. Diagrama funcional de los tanques Buffer.

Fuente: Manual de operación Polar.

### 3.1.1.5 Post-enfriadores

El objetivo de este elemento, es disminuir la temperatura del aire comprimido luego de la compresión. En la planta se cuenta con seis (6) post- enfriadores, tres (3) de marca Ingersoll-Rand (ver tabla 3.5) y otros tres (3) de la marca R. P Adams Company. Los buffer, secadoras y post enfriadores se muestran en la figura 3.6.

Tabla 3.5. Especificaciones de los post-enfriadores.

Fuente: Manual de especificaciones Polar.

Características	Ingersoll	Adams
Espesor de carcasa (mm)	7,11	7,11
Presión máxima (bar)	10,34	11,38
Flujo de agua de enfriamiento (m <sup>3</sup> /h)	5,91	2,45
Diámetro del tubo (m)	0,22	0,15
Diámetro de la carcasa (m)	0,25	0,17



Figura 3.6. Vista de las secadoras, buffer y post-enfriadores.

Fuente: Manual de operación Polar.

### **3.1.2 Descripción del área del Puente Principal**

La tubería del puente principal (ver figura 3.1) es la encargada de distribuir el aire comprimido mediante una tubería a todas las áreas de producción de la planta como son: Pepsi, Elaboración I, Elaboración II, Planta de Tratamiento de Aguas (P.T.A.B) y Envasado. Es por ello la importancia de determinar si esta, presenta caídas de presiones considerables, ya que pueden ser perjudiciales para los equipos presentes. Para las dimensiones de este sistema ver anexo A.2.

### **3.1.3 Descripción del área de Pepsi**

Esta zona es la encargada de la elaboración de las bebidas gaseosas, es decir, refrescos. Entre las múltiples energías necesarias para la elaboración de estas se encuentra el aire comprimido. Este llega al área desde la sala de máquinas de Servicios Industriales a través del puente principal (ver figura 3.1), distribuyéndose mediante tuberías a las tres (3) líneas de producción existentes denominadas: línea 2, línea 5 y línea 4 (ver figura 3.7). La ubicación de los componentes y equipos de este sistema se muestran en el plano isométrico del anexo A.3.

#### **3.1.3.1 Línea 2**

Es la encargada de la producción de refrescos de un volumen de 266 mL y con una capacidad de producir 2500 cajas/hora. Los equipos presentes en esta línea de producción así como su consumo y presión se observan en la tabla 3.6.

#### **3.1.3.2 Línea 4**

Este tren de producción también denominado línea de envases plásticos, se encarga de llenar las botellas de refrescos de 2 L ó 1½ L según sea el plan de producción. Los valores de consumo y presión para esta línea se muestran en la tabla 3.7.

Tabla 3.6. Consumo de los equipos de la línea 2.

Fuente. Fichas técnicas de polar

<b>Cantidad</b>	<b>Equipos</b>	<b>Presión (bar)</b>	<b>Caudal (m<sup>3</sup>/h)</b>
1	Despaletizador	4,5	13,52
1	Despaletizador bulk	4,5	4
1	Inspector de botellas vacías	4	8,5
1	Llenadora	4	45,6
1	Inspector de nivel	3,5	8,5
1	Video jet	5,5	1,2
1	Embalador	2	15
1	Desembalador	2	17
1	Paletizador	4,5	7,3
1	Robot y Paramix	4	4,5
Total			125,12

Tabla 3.7. Consumos de los equipos de la línea 4.

Fuente. Fichas técnicas de polar.

<b>Cantidad</b>	<b>Equipos</b>	<b>Presión (bar)</b>	<b>Caudal (m<sup>3</sup>/h)</b>
2	Despaletizador	4,5	27,04
1	Despaletizador bulk	4,5	4
1	Inspector de botellas vacías	4	8,5
1	Llenadora	4	45,6
1	Inspector de nivel	3,5	8,5
1	Video jet	5,5	1,2
2	Embalador	2	15
2	Desembalador	2	15
1	Paletizador	4,5	9,3
1	Paramix y Robot	4	4,5
Total			195,68

### 3.1.3.3 Línea 5

Está línea se encuentra fuera de servicio. En funcionamiento se encarga de elaborar los refrescos de botellas plásticas de 1½ L de capacidad a razón de 2500 cajas/hora. En la tabla 3.8 se muestran las presiones y consumos de los equipos pertenecientes a está línea de producción.

Tabla 3.8. Consumo de los equipos de la línea 5.

Fuente. Fichas técnicas de polar.

<b>Cantidad</b>	<b>Equipos</b>	<b>Presión (bar)</b>	<b>Cauda (m<sup>3</sup>/h)</b>
1	Etiquetadora	4,5	90
1	Llenadota	4	45,6
1	Inspector de nivel	3,5	8,5
1	Video jet	5,5	1,2
1	Embalador	2	3,3
1	Posimat	4	7,5
1	Mojonnier	4	9,95
1	Sistema de limpieza	-	2
1	Robocombi	4	2
1	Robotpac	4	9
<b>Total</b>			<b>179,05</b>

En la figura 3.7 se muestra el diagrama ilustrativo de las líneas de producción de Pepsi, así como su ubicación e identificación de las líneas, entre otros.

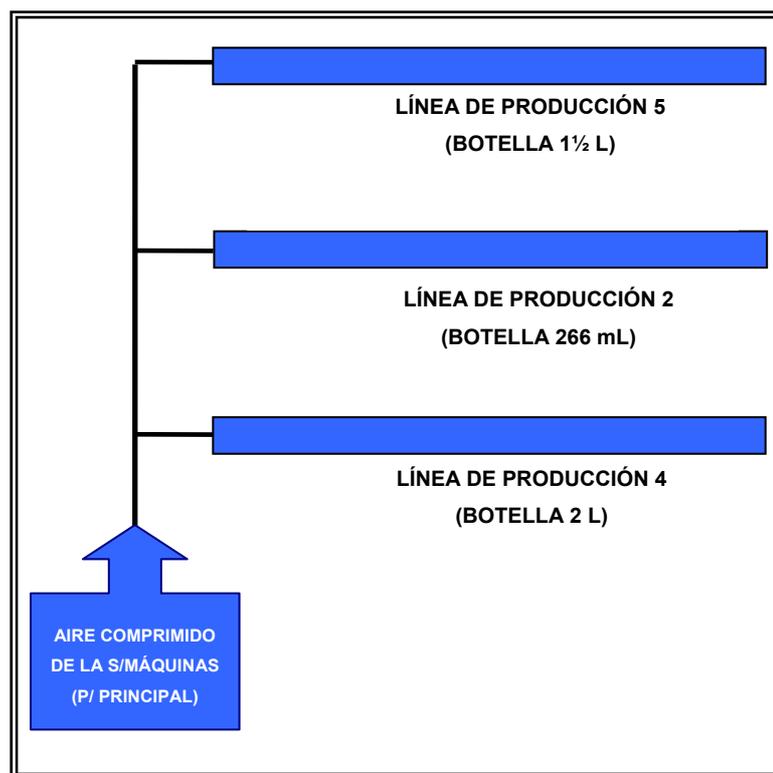


Figura 3.7. Líneas de producción del área de Pepsi.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.4 Descripción del área de Planta de Tratamiento de Aguas Blancas y Residuales (P.T.A.B y P.T.A.R)

Está es un área de suma importancia ya que se encarga del suministro de agua tratada para todas las zonas de producción de la planta. El agua es tomada del río Neverí y llevada a los tanques de desestabilización, luego es enviada a los tanques floculadores que con la ayuda de polímeros logra que las partículas sólidas se depositen en el fondo de estos. Luego es enviada a los diferentes filtros de carbón, arena y de materia orgánica.

El aire comprimido es suministrado de la tubería del puente principal por medio de la tubería de color amarilla (ver figura 3.1) y es utilizado en está zona es para el accionamiento de válvulas de control, aireación de los desestabilizadores de los tanques (ver tabla

3.10), mantenimiento de los filtros desionizadores encargados de los niveles de Calcio y Magnesio y para los filtros Scavenger que son los encargados de eliminar la materia orgánica que no se eliminó en el proceso de los tanques floculadores. En el anexo A.4 se encuentra la ubicación de las cajas de válvulas, tuberías y accesorios.

La tabla 3.9 fue suministrada por la sala de control de sala de máquinas y en esta se muestra el caudal consumido por las cajas de válvulas en el área de tratamiento de aguas.

Tabla 3.9. Consumo de las cajas de válvulas de P.T.A.B y P.T.A.R.  
Fuente. Sala de control de Polar.

<b>Caja Válvulas</b>	<b>Nº Válvulas</b>	<b>Nº Accionamientos</b>	<b>Caudal (m<sup>3</sup>/h)</b>
V-21	16	8	26,59
V-22	16	8	26,59
V-31 V-32	16	8	26,59
V-33	15	8	24,93
V-36	23	3	14,33
V-41	6	3	3,74
V-42 V-43	14	3	8,72
V-44 V-45	12	3	7,48
Químicos	16	2	6,64
<b>TOTAL</b>	<b>134</b>	<b>-</b>	<b>145,61</b>

Tabla 3.10. Consumo de los equipos en el área de P.T.A.R  
Fuente. Sala de control de Polar.

<b>Caja Válvulas</b>	<b>Nº válvulas</b>	<b>Nº Accionamiento</b>	<b>Caudales (m<sup>3</sup>/h)</b>
Reactores	4	2	1,66
Fosa Húmeda	4	2	1,66
Tanque Floculador	-	-	12,56
V-03	15	2	6,23
<b>TOTAL</b>	<b>23</b>	<b>-</b>	<b>22,11</b>

### 3.1.5 Descripción del área de Elaboración I

En esta área ocurre el proceso de molido de los granos hasta la obtención del mosto del rotapool, que es bombeado hacia el área de Elaboración II para su posterior fermentación y almacenaje como se explicó en el capítulo 2 en la elaboración de la cerveza. El aire comprimido es suministrado a través de la tubería de color naranja (ver figura 3.1) y es utilizado para:

- 1) El accionamiento de válvulas neumáticas (ver tabla 3.11), ya que éstas son necesarias para el control de todos los procesos.
- 2) En la aireación del mosto, proceso en el cuál para lograr que el mosto se transporte de forma eficiente a través del sistema de tuberías, este es aireado con aire comprimido seco durante todo el envío hasta los tanques de fermentación de Elaboración II.
- 3) En el transporte del Trub a las tolvas de nepe, proceso en el cual las partículas de materia prima recuperadas del rotapool son llevadas al decanter para terminar de ser separadas y luego enviadas a las tolvas para su posterior traslado a los silos.
- 4) La limpieza de los componentes y sistemas.

En anexo B.3 se observa el levantamiento de las válvulas existentes en las cajas de válvulas de esta área suministradas por la sala de control de Polar. Estas son el medio para distribuir el aire comprimido a las válvulas neumáticas de control. El tipo de válvula utilizada en esta zona es la marca Keystone mariposa con actuador tipo 006s. En el área de Elaboración I se utiliza aire comprimido proveniente de los buffer que no pasa por las secadoras, es decir, aire húmedo (ver tabla 3.11) para transportar el nepe desde las tolvas de las pailas de cocción hacia la zona de los silos (ver anexo A.6).

Tabla 3.11. Caudal y presión de los equipos y procesos en Elaboración I.

Fuente. Elaboración propia.

<b>Equipo o Proceso</b>	<b>Presión (bar)</b>	<b>Caudal (m<sup>3</sup>/h)</b>
Válvulas neumáticas	4,5	766,63
Aireación del mosto	4,5	0,37
Transporte del nepe (Húmedo)	3,5	1.617
Total		2.384

Las especificaciones de las tuberías de suministro de aire comprimido seco para esta área como sus diámetros, longitudes y accesorios, se encuentran ilustrados en el plano isométrico en el anexo A.5.

### **3.1.6 Descripción del área de Elaboración II**

En esta área se cuenta con dos zonas: área de T.C.C (ver anexo A.7), donde se realiza la fermentación y maduración del mosto obtenido de la zona de Elaboración I y área de Filtración (ver anexo A.8), en la cual una vez fermentada la cerveza, se somete a filtración y se traslada a los tanques de almacenamiento llamados tanques de gobierno, para su

posterior utilización en el área de Envasado. El aire comprimido es suministrado desde la tubería principal por medio de de la tubería verde (ver figura 3.1) y se utiliza en: accionamiento de válvulas neumáticas, desfogue de los tanques de levadura, aireación de los tanques de levadura, vaciado de los tanques de levadura, aireación del propagador, limpieza de los filtros, traslados de tierras infusorias utilizadas en los filtros y vaciado de los tanques cilindros cónicos (almacenamiento). Para la obtención de los caudales de esta área se realizó un seguimiento en la sala de operaciones, donde se observó la realización del proceso, así como, un levantamiento en sitio de todos los elementos. El consumo (ver tabla 3.12) para los procesos de aireación de la levadura, desfogue de los tanques de la levadura, mantenimiento de los filtros, entre otros, así como el consumo de las cajas de válvulas del anexo B.4 fueron suministradas por la sala de operaciones de la zona de Elaboración II.

Tabla 3.12. Caudal y presión de los equipos de Elaboración II.

Fuente. Elaboración propia.

<b>Equipo o Proceso</b>	<b>Presión (bar)</b>	<b>Caudal (m<sup>3</sup>/h)</b>
Válvulas neumáticas	4,5	1.366,1
Aireación de los tanques de levadura	4	123,01
Desfogue de los tanques de levadura	4	123,01
Vaciado de los tanque de levadura	4	13,59
Aireación del tanque de propagación	4	77,53
Vaciado de los T.C.C.	1	65,17

Total	1.768,41
-------	----------

### 3.1.7 Descripción del área de Envasado

El área de Envasado cuenta con nueve (9) líneas de producción para el llenado y envasado de la cerveza y/o malta según sea el plan de producción. Los planos de distribución de las tuberías de aire comprimido y equipos se muestran en el anexo A.9.

#### 3.1.7.1 Línea 1

Esta línea se encarga del envasado de las latas de cerveza o malta de diferente volumen con una capacidad de 2000 latas/min. Los equipos presentes así como sus consumos y presiones requeridas en esta línea se muestran en la tabla 3.13.

Tabla 3.13. Consumo de aire de los equipos en la línea 1.

Fuente. Fichas técnicas Polar.

Cantidad	Equipo	Presión (bar)	Caudal (m <sup>3</sup> /h)
1	Despaletizador	4,5	13,52
2	Video jet	5,5	3,39
2	Paletizador	4,5	14,6
2	Inspector de nivel	3,5	30
2	Kisters	4,5	46,67
4	Difusor	4	160
2	Llenadora	4	60
Total			328,18

### 3.1.7.2 Línea 2-3

Está línea llena y envasa botellas de cerveza desechables (no retornables) a una razón de 1400 botellas/min. La cantidad de equipos así como sus consumos y presiones se muestran en la tabla 3.14.

Tabla 3.14. Consumo de aire de los equipos en la línea 2-3.

Fuente. Fichas técnicas Polar.

Cantidad	Equipo	Presión (bar)	Caudal (m <sup>3</sup> /h)
2	Despaletizador	4,5	27,04
2	Video jet	5,5	3,39
4	Paletizador	4,5	29,2
2	Inspector de nivel	3,5	30
2	Kisters	4,5	46,67
2	Llenadora	4	60
2	Etiquetadora	4,5	90
Total			286,3

### 3.1.7.3 Líneas 4, 5 y 8

Estos trenes de producción (ver tabla 3.15) están encargados del llenado y envasado de las botellas retornables de cerveza y/o malta de diferentes capacidades con una operación de 1400 botellas/min. Actualmente las líneas 4 y 5 se encuentran fuera de servicio.

Tabla 3.15. Consumo de aire de los equipos en las líneas 4, 5 y 8.

Fuente. Fichas técnicas Polar.

Cantidad	Equipo	Presión (bar)	Caudal (m <sup>3</sup> /h)
1	Despaletizador	4,5	13,52
1	Paletizador	4,5	7,3
2	Inspector de nivel	4,5	30
1	Embaladora	2	30

4	Difusor	4	160
1	Desembaladora	2	30
2	Llenadora	4	60
1	Inspector de gaveras	4,5	15
1	Video jet	5,5	3,39
Total			349.21

### 3.1.7.4 Línea 6

Está línea se encarga del llenado y envasado de las botellas desechables (no retornables) de cerveza o malta, con capacidad operacional de 1400 botellas/min. Los equipos presentes en está línea de producción se observan en la tabla 3.16.

Tabla 3.16. Consumo de aire de los equipos en la línea 6.

Fuente. Fichas técnicas Polar.

Cantidad	Equipo	Presión (bar)	Caudal (m <sup>3</sup> /h)
1	Despaletizador	4,5	13,52
1	Video jet	5,5	3,39
1	Paletizador	4,5	7,3
2	Inspector de nivel	3,5	30
1	Embaladora	2	30
4	Difusor	4	160
1	Etiquetadota	2	30
2	Etiquetad	4	60
1	Inspector de gaveras	4,5	15
2	Etiquetadota	4,5	90
2	Inspector de lavado	4,5	30
Total			469,21

### 3.1.7.5 Líneas 7, 9 y 10

En la tabla 3.17 se muestran los equipos pertenecientes a estas líneas encargadas del llenado y envasado de las botellas retornables de cerveza y malta de diferentes capacidades a una velocidad operacional de 2000 botellas/min. El diagrama de las líneas de producción y ubicación de las tuberías se muestra en la figura 3.8.

Tabla 3.17. Consumo de aire de los equipos de las líneas 7, 9 y 10.

Fuente. Fichas técnicas Polar.

<b>Cantidad</b>	<b>Equipo</b>	<b>Presión (bar)</b>	<b>Caudal (m<sup>3</sup>/h)</b>
2	Despaletizador	4,5	27,04
2	Video jet	5,5	3,39
2	Paletizador	4,5	14,6
2	Inspector de nivel	3,5	30
2	Embaladora	2	60
4	Difusor	4	160
2	Desembaladora	2	60
2	Llenadora	4	60
2	Inspector de gaveras	4,5	30
2	Inspector de lavado	4,5	30
<b>Total</b>			<b>475,03</b>

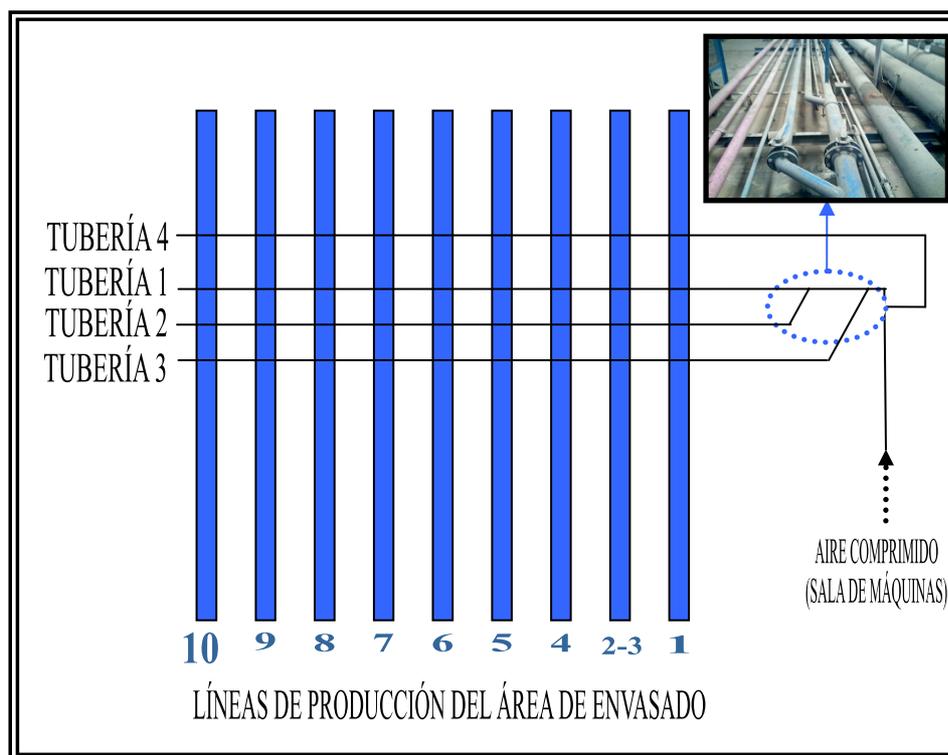


Figura 3.8. Vista de las tuberías 1, 2 y 3 de Envasado.

Fuente. Elaboración propia.

Todos los equipos pertenecientes a las líneas de producción antes mencionadas están conectados mediante cuatro (4) tuberías de suministro de aire comprimido denominadas: Tubería 1, Tubería 2, Tubería 3 (ver figura 3.8) y Tubería 4 (se encuentra en el techo de la planta baja del área de envasado). Los equipos conectados a cada una de estas tuberías se encuentran ilustrados en el plano isométrico en el anexo A.9. Es importante resaltar que en el seguimiento realizado al sistema de aire comprimido para el levantamiento y actualización del sistema mediante los planos isométricos se detectó la falta de manómetros, medidores de flujos, así como deficiencias en cuanto a ubicación y señalización de los flujos de aire comprimido en las áreas de envasado, sala de máquinas y puente principal. En los recorridos efectuados anteriormente también se detectó mala práctica de los operadores en el uso de las mangueras de limpieza de los equipos, ya que estos lo utilizan con un fin personal.

### **3.2 EVALUACIÓN DE LA ETAPA ACTUAL**

En la evaluación de la etapa actual, se busca conocer los flujos volumétricos y las presiones que actualmente se encuentran suministrando el sistema a través de las tuberías para operar los distintos equipos y componentes de aire comprimido en las múltiples áreas de producción. Esto con la finalidad de evaluarlo en cuanto a sus caídas de presiones y caudales mediante un simulador de flujos en tuberías. Para la realización de la simulación fue necesario seleccionar la correlación de flujo que mejor se adapte al sistema de la planta. Debido a la falta de valores de campo, la correlación escogida es la de Weymouth por ser la recomendada para estudio de gases en tuberías con diámetros  $2'' < \varnothing < 12''$ . [10]. Las condiciones de caudal utilizadas para las simulaciones realizadas en las tres etapas de evaluación fueron el caudal de aire libre (F.A.D.). Este es el caudal del gas comprimido y entregado en el punto Standard de descarga referido a las condiciones atmosféricas del sitio no afectado por el compresor (ISO 1217). Las condiciones de referencia son: Temperatura: 20 °C, Presión: 100 kPa, humedad relativa: 0% y agua de enfriamiento y temperatura ambiente de 20 °C.

#### **3.2.1 Evaluación de la caída de presión en Sala de Máquinas.**

El caudal promedio actual de la planta obtenido del seguimiento realizado en la sala de control es de 5.600 m<sup>3</sup>/h aproximadamente, los cuales se suplen con la operación de un compresor Elliot a máxima carga y un compresor de tornillo Atlas Copco controlando el flujo faltante. Actualmente la planta mantiene los otros dos compresores Elliot restantes en reserva. La simulación se realizó para un caudal de 6.300 m<sup>3</sup>/h para cubrir la demanda pico. Las especificaciones del sistema de tuberías (ver figura 3.9) de las mismas como son sus diámetros, longitudes y accesorios se encuentran ilustrados en el plano isométrico en el anexo A.1.

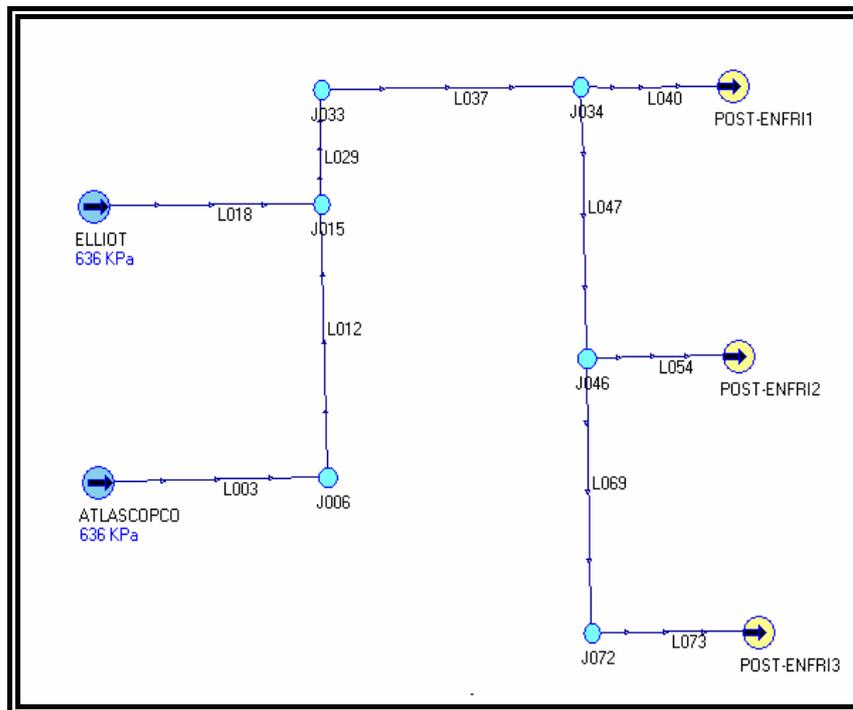


Figura 3.9. Diagrama de la simulación del área de sala de máquinas.

Fuente. Elaboración propia.

En la tabla 3.18, se muestra los valores obtenidos de la simulación para el área de sala de máquinas desde los compresores hasta los buffer de almacenamiento (ver figura 3.9), evaluada en la etapa actual cuyo flujo de aire de los compresores es de  $6.300 \text{ m}^3/\text{h}$ . No existen en el sistema de tuberías caídas de presión mayores a las recomendadas por el Manual Atlas Copco para tuberías principales. Este sistema se encuentra óptimo para su operación. En esta área se encuentran los secadores de aire y los post-enfriadores a los cuales se les asignó según Normas TEMA una caída de presión de diseño para la simulación de  $34.4 \text{ kPa}$  ( $5 \text{ psi}$ ), debido a que se desconocía este valor. El reporte completo de esta simulación se encuentra en el anexo C.1.

Tabla 3.18. Caída de presión en sala de máquinas.

Fuente. Elaboración propia.

Líneas	Caída de presión (kPa)	Recomendación Atlas Copco (kPa)
--------	------------------------	---------------------------------

Compresores Postenfriadores	2	7
Postenfriadores Buffer	0,5	

### 3.2.2 Evaluación de la caída de presión en la tubería del Puente Principal

Según se observa en la tabla 3.19, para las líneas del puente principal (ver anexo A.2) evaluadas en la etapa actual, no existen caídas de presiones mayores a la recomendada por el Manual Atlas Copco para tuberías principales. En la figura 3.10 se muestra en círculos de color rojo las áreas de suministros de aire comprimido. El caudal que maneja la línea es de 5.652 m<sup>3</sup>/h con una presión de salida del buffer de 600 kPa (87.02 psi). El sistema de tuberías se encuentra en condiciones óptimas de operación para esta etapa ya que el flujo volumétrico y la presión suministrada cumplen con los requerimientos de cada área de producción. El resumen del reporte completo de esta simulación se muestra en el anexo C.2.

Tabla 3.19. Caída de presión en el Puente Principal.

Fuente. Elaboración propia.

Líneas		Caída de presión (kPa)	Recomendación Atlas Copco (kPa)
Desde	Hasta		
Buffer	Elaboración I	1,1	7
	Pepsi	2,5	
	Planta de Agua	2,1	
	Envasado	4,5	
	Elaboración II	3,8	

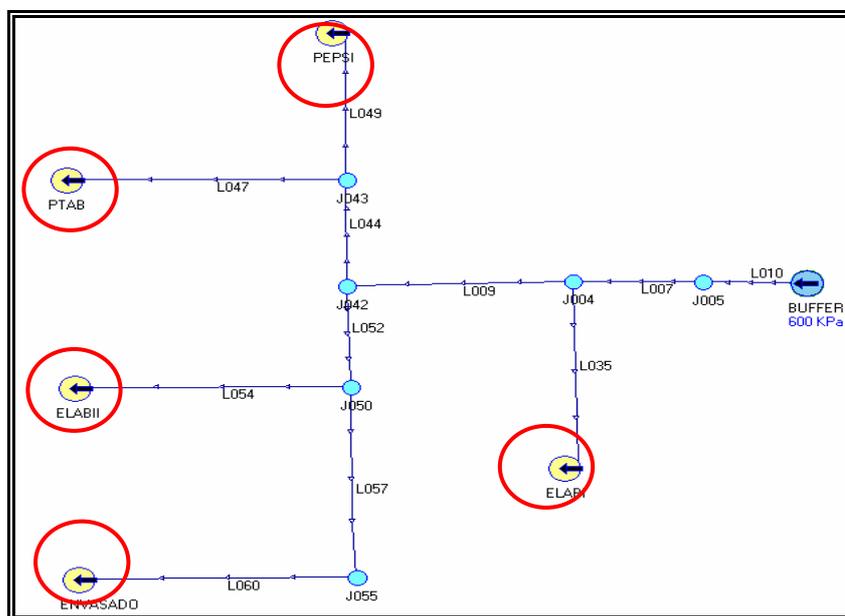


Figura 3.10. Diagrama de simulación en el área del Puente Principal.

Fuente. Elaboración propia.

### 3.2.3 Evaluación de la caída de presión en el área de Pepsi

La evaluación de esta área se realiza con dos de las tres líneas de producción debido a que la línea 4 se encuentra fuera de servicio en esta etapa. Las especificaciones de las tuberías de cada línea como son sus diámetros, longitudes y accesorios, se encuentran ilustrados en el plano isométrico en el anexo A.3. El consumo total de aire comprimido para la Etapa Actual en el área de Pepsi con las líneas 2 y 5 en operación es de 314 m<sup>3</sup>/h, siendo el equipo con mayor requerimiento la etiquetadora con un caudal de 90 m<sup>3</sup>/h y los equipos de mayor requerimiento de presión los videojet (ver tablas 3.6 y 3.8). Como se observa en la tabla 3.20, las caídas de presiones en el sistema de Pepsi para la Etapa Actual son bajas, indicando que el sistema se encuentra bien distribuido. Estos resultados son acordes debido a que esta área de producción es nueva y se encuentra bien diseñada. Esta zona maneja una presión de entrada al

área de 597.6 kPa (86.67 psi) cumpliendo con la presión requerida por los videojet. El reporte de los resultados de esta simulación se encuentra en el anexo C.3.

Tabla 3.20. Caída de presión en el área de Pepsi.

Fuente. Elaboración propia.

<b>Líneas</b>	<b>Caída de presión (kPa)</b>	<b>Recomendación Atlas Copco (kPa)</b>
Tubería Principal	0,9	7
Línea 2	0,6	3
Línea 5	0,8	

En la figura 3.9, se muestra la tubería principal desde S001-J003 con una caída de 0,5 kPa. La elipse de color rojo muestra la línea 2 mientras que la de color azul la línea 5. Para conocer los equipos que suministran cada tubería, ver plano isométrico en el anexo C.3

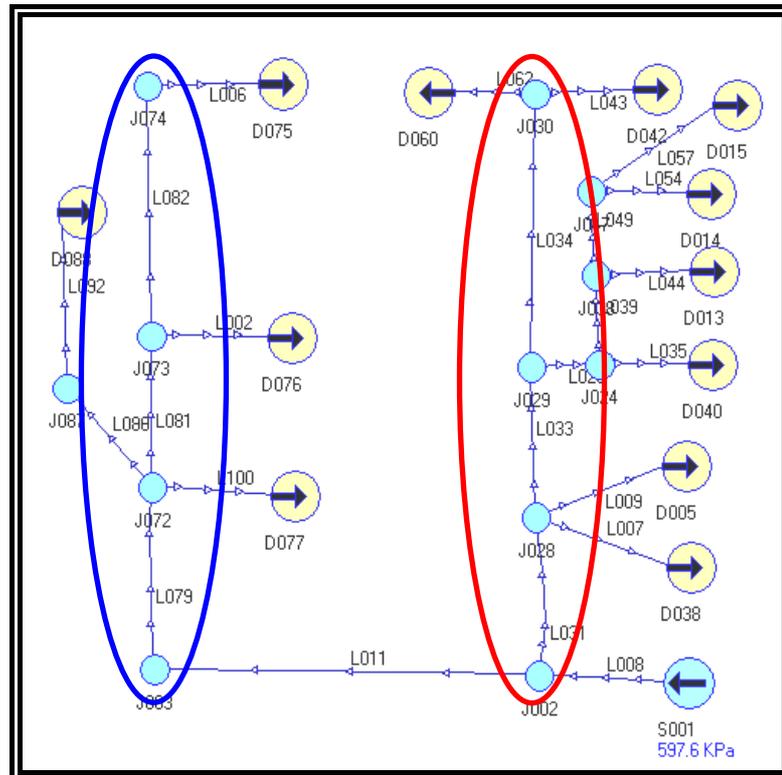


Figura 3.11. Diagrama de simulación de Pepsi.

Fuente. Elaboración propia.

### 3.2.4 Evaluación de la caída presión en el área de planta de Tratamiento de Aguas Blancas y Residuales (P.T.A.B y P.T.A.R)

La evaluación de P.T.A.B y P.T.A.R es sencilla ya que en esta se encuentran cajas de válvulas para el control de los tratamientos. Esta área resulta una de las que requiere menos consumo para realizar su proceso con un caudal total para la etapa actual de  $171 \text{ m}^3/\text{h}$  (ver tablas 3.9 y 3.10). Las especificaciones de las tuberías (ver figura 3.12) como son sus diámetros, longitudes y accesorios, se encuentran ilustrados en el plano isométrico en el anexo A.4. Como se observa en la tabla 3.21, no existen mayores caídas de presiones a las recomendadas por el Manual Atlas Copco. Se muestra como ejemplo de la simulación la tubería secundaria L80 en color rojo (ver figura 3.12) que se ubica desde la tubería principal hasta la caja de válvulas N°23, donde el resto de tuberías

secundarias presentan estas misma caídas ya que la distribución en esta zona es igual. La presión de entrada al área es de 597.9 kPa la cual es suficiente para cubrir los requerimientos de los equipos. Como se observa a pesar de ser un área importante esta no es crítica para el sistema de aire comprimido debido a que requiere poco caudal. En el anexo C.4 se encuentra el resumen del reporte de esta simulación.

Tabla 3.21. Caída de presión en Planta de Tratamiento de Aguas.  
Fuente. Elaboración propia.

Tuberías	Caída de presión (kPa)	Recomendación Atlas Copco (kPa)
Principal (Buffer-J011)	0,1	7
Secundaria (L80)	0,8	3

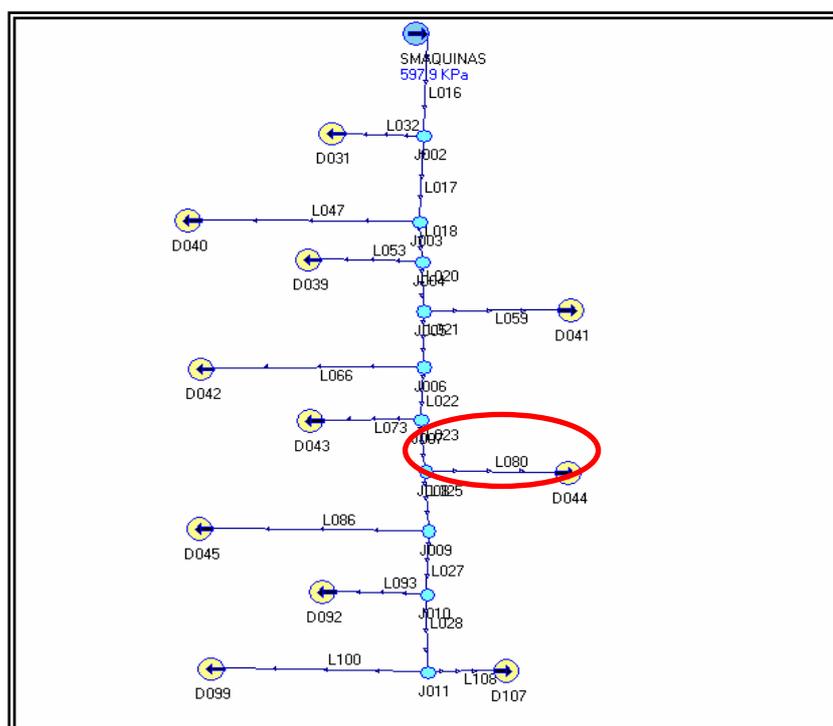


Figura 3.12. Diagrama de la simulación del área de P.T.A.B.  
Fuente. Elaboración propia.

### 3.2.5 Evaluación de la caída de presión en el área de Elaboración I

En la tabla 3.22, se muestran las tuberías con mayores caídas de presión, como por ejemplo L29 - L49 (ver figura 3.13). Estas son muy inferiores a las recomendadas por el Manual Atlas Copco, lo que indica que el área no presenta deficiencias en esta característica. La zona recibe una presión de 599 kPa (86.88 psi) y un caudal de 800 m<sup>3</sup>/h suficientes para cumplir los requerimientos de los equipos. Los resultados obtenidos de la simulación de la tubería que suministra aire húmedo (ver figura 3.14) usado para el transporte de nepe hacia los silos se muestran en la tabla 3.23. Las caídas de presión en las mismas son bajas lo que indica que maneja el flujo eficientemente. Para ver el resumen de los resultados completos de estas simulaciones ver en los anexos C.5 y C.6.

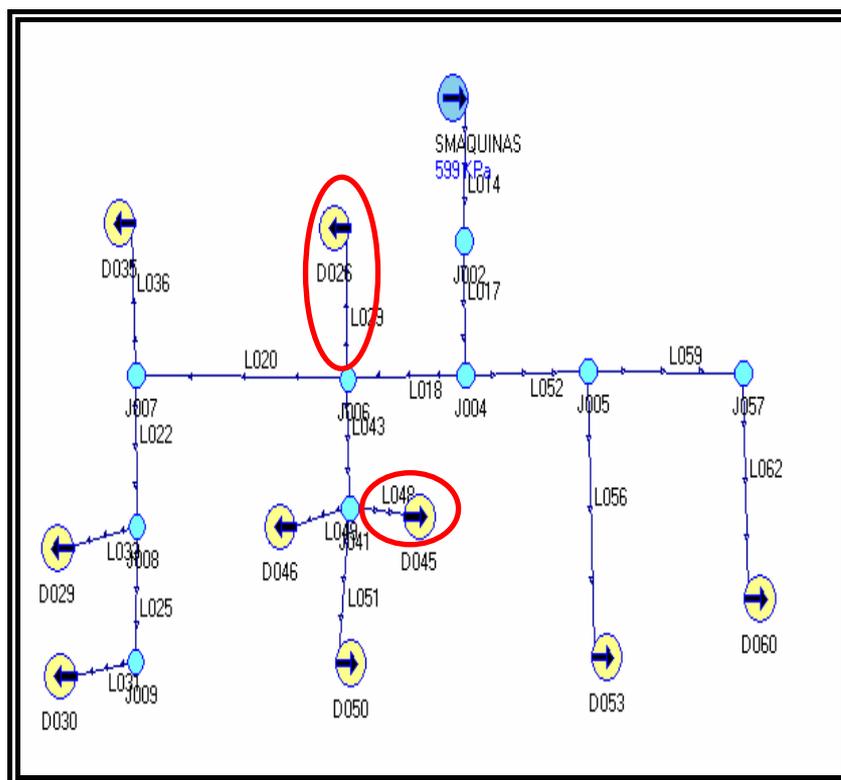


Figura 3.13. Diagrama de la simulación de Elaboración I.

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 3.22. Caída de presión en Elaboración I.

Fuente. Elaboración propia.

Tuberías	Caída de presión (kPa)	Recomendación Atlas Copco (kPa)
Principal (Buffer-J009)	0,0285	7
Secundarias (L29)	0,1025	3
Secundarias (L49)	0,007	

Tabla 3.23. Caída de presión en Elaboración I (Aire Húmedo).

Fuente. Elaboración propia.

Tuberías	Caída de presión (kPa)	Recomendación Atlas Copco (kPa)
Principal (S001-J090)	2,1	7
Secundarias(L100)	0,9	3
Secundarias (L080)	0,8	

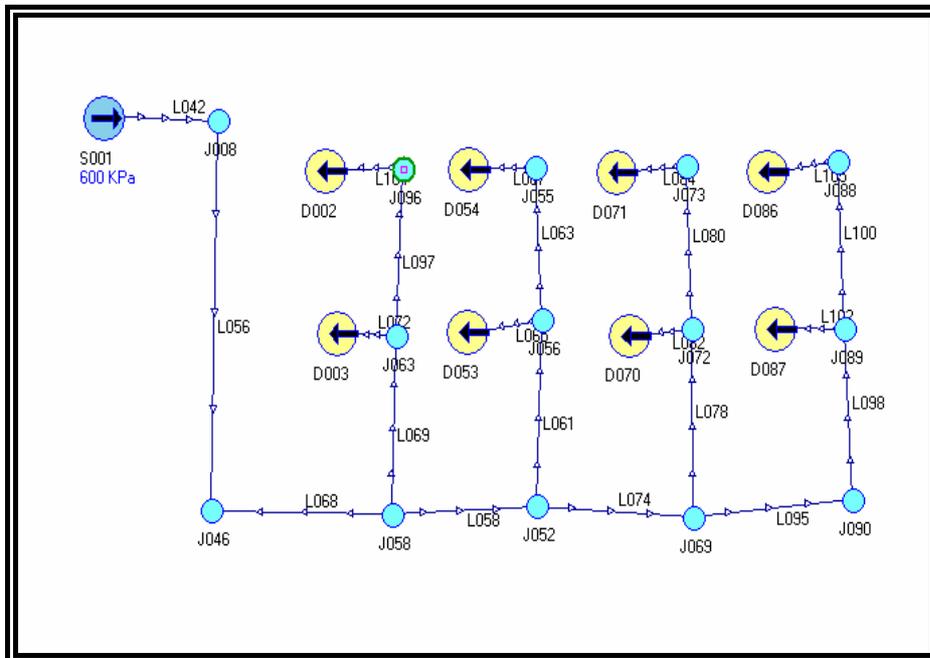


Figura 3.14. Diagrama de la simulación de aire húmedo.

Fuente. Elaboración propia.

### 3.2.6 Evaluación de la caída de presión en el área de Elaboración II

#### 3.2.6.1 Caída de presión en Elaboración II (Zona de Filtración)

Las especificaciones de las tuberías (ver figura 3.15) como son sus diámetros, longitudes y accesorios, se encuentran ilustrados en el plano isométrico en el anexo A.8.

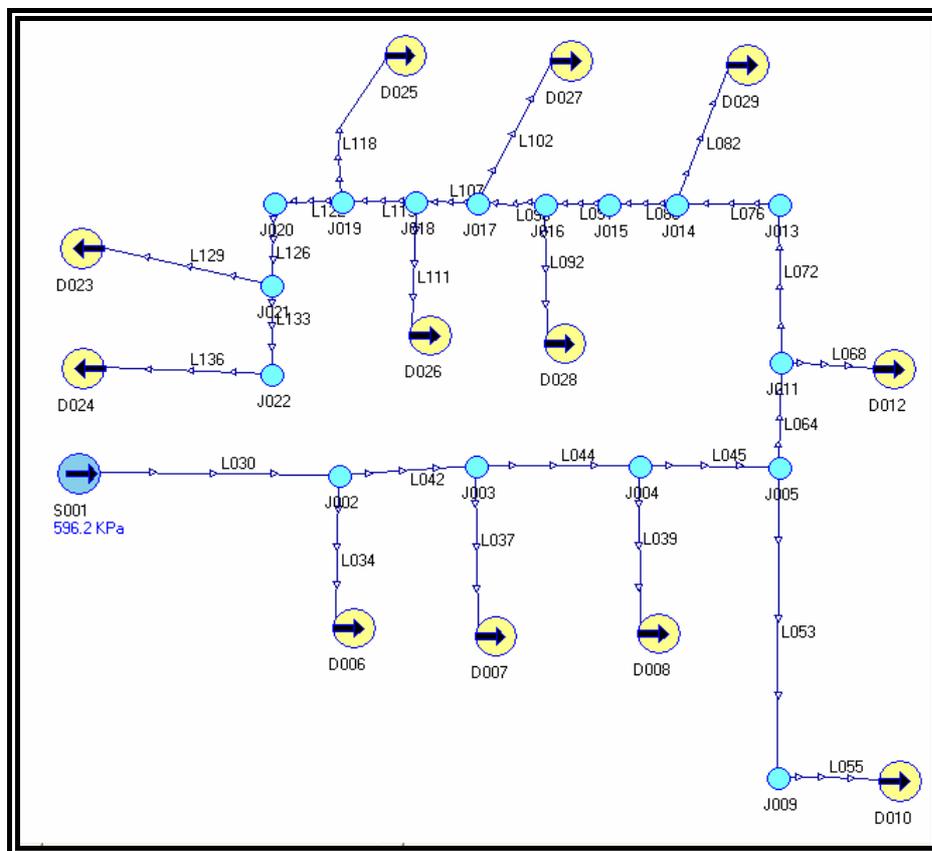


Figura 3.15. Diagrama de la simulación de Elaboración II (Filtración).

Fuente. Elaboración propia.

### 3.2.6.2 Caída de presión en Elaboración II (Área de T.C.C's)

Las especificaciones de las tuberías (ver figura 3.16) como son sus diámetros, longitudes y accesorios, se encuentran ilustrados en el plano isométrico en el anexo A.7.

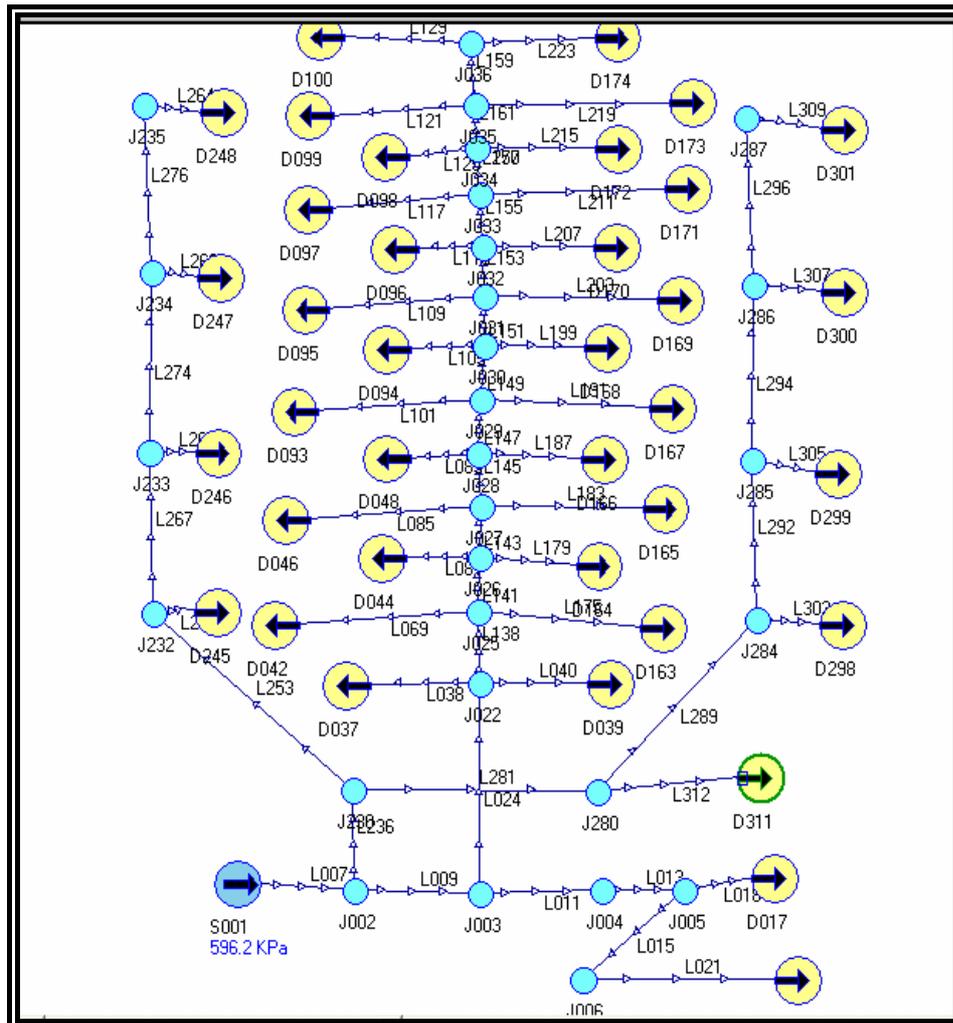


Figura 3.16. Diagrama de la simulación de Elaboración II (T.C.C.).

Fuente. Elaboración propia.

En las zonas presentes de Elaboración II tanto para el área de Filtración que maneja un caudal de  $893 \text{ m}^3/\text{h}$  como el área de T.C.C con un flujo de  $1.136 \text{ m}^3/\text{h}$ , se observa poca caída de presión (ver tablas 3.24 y 3.25) con respecto a la recomendada por el Manual Atlas Copco. Esto

indica que el sistema se encuentra bien distribuido y dimensionado. El flujo total que recibe esta área es de 2.029 m<sup>3</sup>/h lo cual es el requerido por todos los equipos presentes. El resumen del reporte de esta simulación se encuentran en el anexo C.7 y C.8.

Tabla 3.24. Caída de presión en Elaboración II (Filtración).

Fuente. Elaboración propia.

<b>Tuberías</b>	<b>Caída de presión (kPa)</b>	<b>Recomendación Atlas Copco (kPa)</b>
Principal (S001-J022)	0,9	7
Secundaria (L068)	0,011	3

Tabla 3.25. Caída de presión en Elaboración II (T.C.C).

Fuente. Elaboración propia.

<b>Tuberías</b>	<b>Caída de presión (kPa)</b>	<b>Recomendación Atlas Copco (kPa)</b>
Principal (S001-J036)	0,2	7
Secundaria (L312)	0,1	3

### **3.2.7 Evaluación de la caída de presión en el área de Envasado**

Esta área maneja un flujo de 3.054 m<sup>3</sup>/h y una presión de 595.5 kPa (86.37 psi) para la Etapa Actual, ya que se encuentran fuera de servicio los trenes de producción 4 y 5.

#### **3.2.7.1 Evaluación de la caída de presión en la tubería 1.**

Al simular la tubería 1 (ver figura 3.17) se observa que las caídas de presión en las tuberías tanto principal como secundaria son inferiores a las caídas recomendadas por el Manual Atlas Copco (ver tabla 3.26). El

flujo manejado por esta tubería es de 302 m<sup>3</sup>/h lo que indica la poca cantidad de equipos conectados (ver anexo A.9). La presión de llegada S001 (ver figura 3.17) es de 595,5 kPa (86,37 psi) la cual es suficiente para suplir los requerimientos de los equipos conectados (ver tabla 3.13).

El resumen completo de esta simulación se observa en el anexo C.9.

Tabla 3.26. Caída de presión en la tubería 1 de Envasado.

Fuente. Elaboración propia.

Tuberías	Caída de presión (kPa)	Recomendación Atlas Copco (kPa)
Principal (S001-J003)	1,1	7
Secundaria (L005)	1,2	3

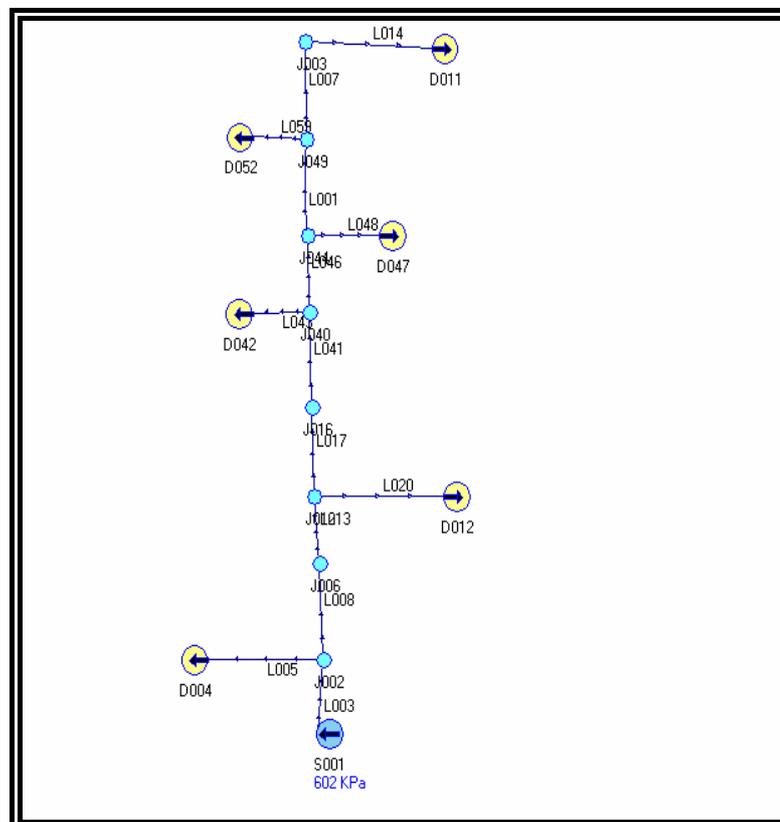


Figura 3.17. Diagrama de la simulación de la tubería 1.

Fuente. Elaboración propia.

### 3.2.7.2 Evaluación de la caída de presión en la tubería 2

Al evaluar la tubería 2 y según se observa en la tabla 3.27, existen 5 tuberías que presentan caídas de presión mayores a la recomendadas por Atlas Copco. Estas se identifican como: la tubería principal S094-J162 (ver figura 3.18), la cual presenta una caída de 8,4 kPa por arriba a lo recomendado y 4 tuberías secundarias que se mencionan a continuación:

- ❖ La tubería (L098) ubicada desde la tubería principal hasta los equipos pasteurizador 1, Inspector de nivel 1, Difusor 1 y Kisters 1.
- ❖ La tubería (J119-D135) que se ubica desde la tubería principal hasta los equipos paletizadores 1, 2-3, 6, 7, 8, 9.
- ❖ La tubería (J119-D143) que se ubica desde la tubería principal hasta los despaletizadores 1, 2-3, 6, 7.
- ❖ La tubería (L166) que se ubica desde la tubería principal hasta los difusores 10.

El flujo total manejado por la tubería 2 para la Etapa Actual es de 1.586 m<sup>3</sup>/h lo que indica la gran cantidad de equipos conectados a la misma. En el anexo C.10 se encuentra el reporte de esta simulación.

Tabla 3.27. Caída de presión en la tubería 2 de Envasado.

Fuente. Elaboración propia.

<b>Tuberías</b>	<b>Caída de presión (kPa)</b>	<b>Recomendación Atlas Copco (kPa)</b>
Principal (S094-J162)	15,6	7
Secundaria (L098)	3,3	3

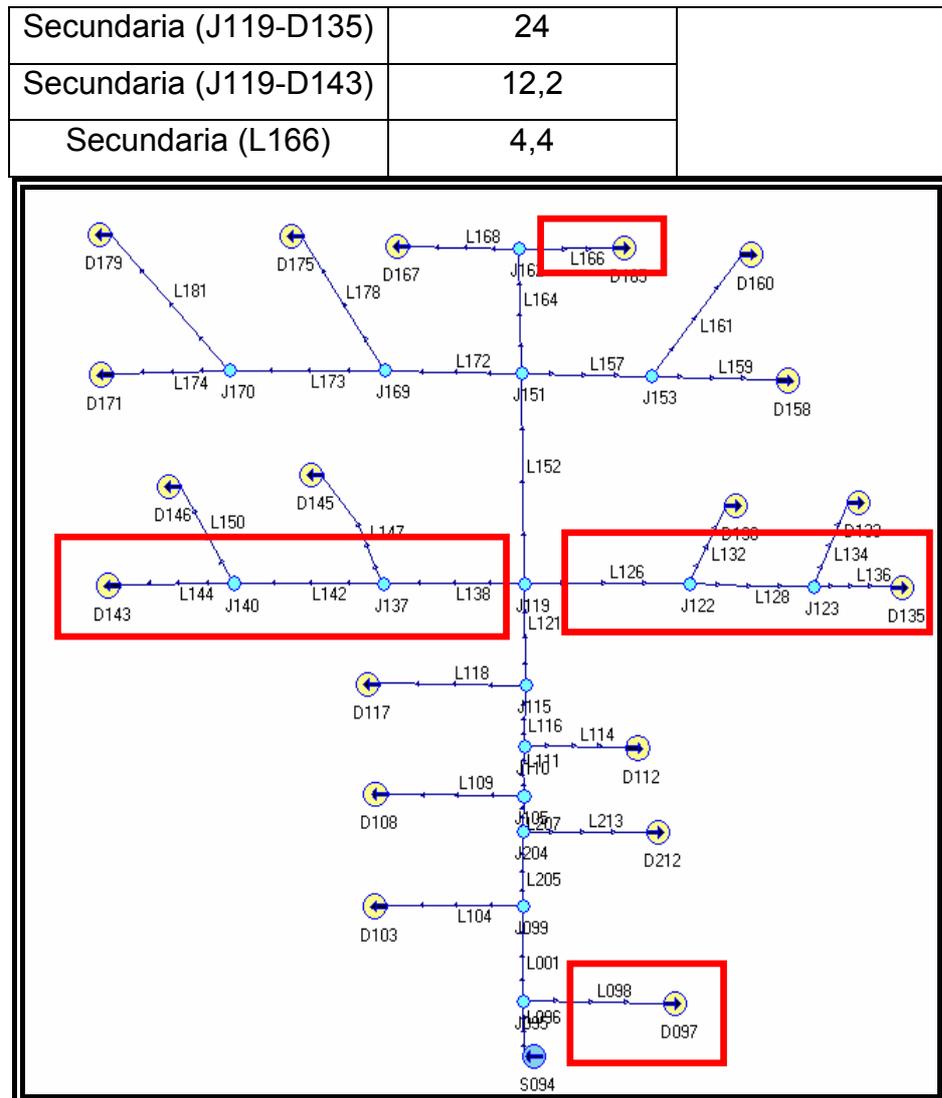


Figura 3.18. Diagrama de la simulación de la tubería 2.

Fuente. Elaboración propia.

### 3.2.7.3 Evaluación de la caída de presión en la tubería 3.

Para la tubería 3 se observa en la tabla 3.28 que las caídas de presión en las tuberías tanto principal como secundaria son inferiores a las recomendadas por el Manual Atlas Copco. Esto debido a que se encuentran conectados solamente los equipos videojet y estos no son críticos en cuanto al consumo. El flujo manejado por esta tubería en la etapa actual es de apenas de  $20 \text{ m}^3/\text{h}$  lo que indica la poca cantidad de

equipos conectados a la misma. La presión de llegada S001 (ver figura 3.19) es de 595,5 kPa (86,37 psi) cumpliendo con la requerida por los equipos videojet para su operación que es de 550 kPa. El reporte de esta simulación se observa en el anexo C.11.

Tabla 3.28. Caída de presión en la tubería 3 de Envasado.

Fuente. Elaboración propia.

Tuberías	Caída de presión (kPa)	Recomendación Atlas Copco (kPa)
Principal (S001-J011)	0,02	7
Secundaria (L046)	0,19	3

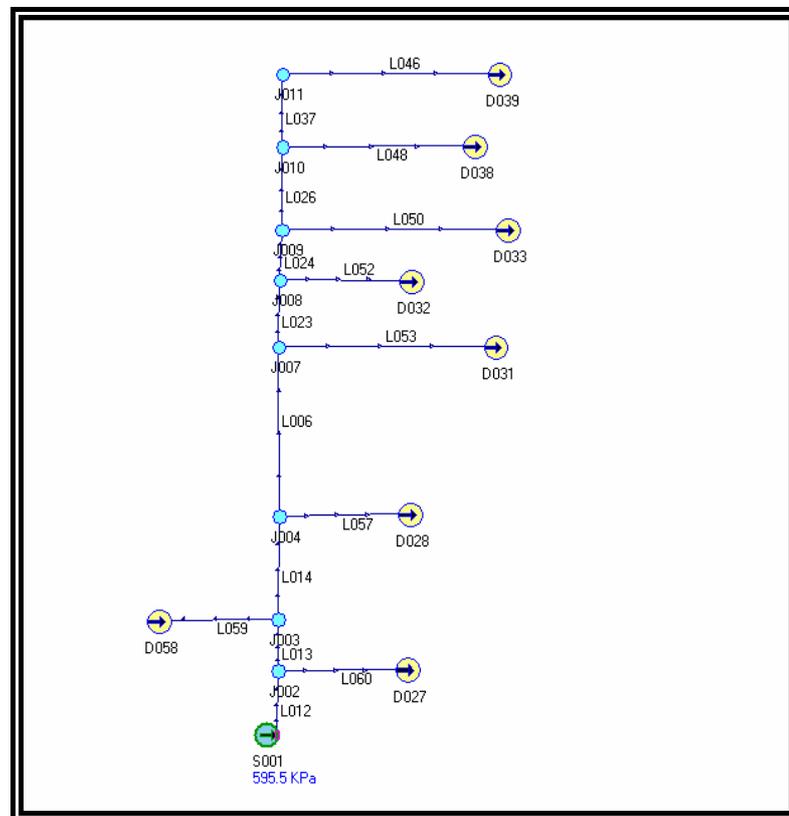


Figura 3.19. Diagrama de la simulación de la tubería 3.

Fuente. Elaboración propia.

#### 3.2.7.4 Evaluación de la caída de presión en la tubería 4.

Al simular la tubería 4 se observa en la tabla 3.29 que las caídas de presión en las tuberías tanto principal como secundaria son inferiores a las caídas recomendadas por el Manual. El flujo manejado por esta en la etapa actual es de 423 m<sup>3</sup>/h y una presión de 595,5 kPa (86.37 psi) a la entrada de la tubería (ver S001 en la figura 3.20) lo cual cumple con los requerimientos de los equipos conectados para esta tubería. Para ver el resumen de los resultados de esta simulación ver anexo C.12.

Tabla 3.29. Caída de presión en la tubería 4 de Envasado.

Fuente. Elaboración propia.

Tuberías	Caída de presión (kPa)	Recomendación Atlas Copco (kPa)
Principal (S001-J067)	0,7	7
Secundaria (L005)	1,7	3

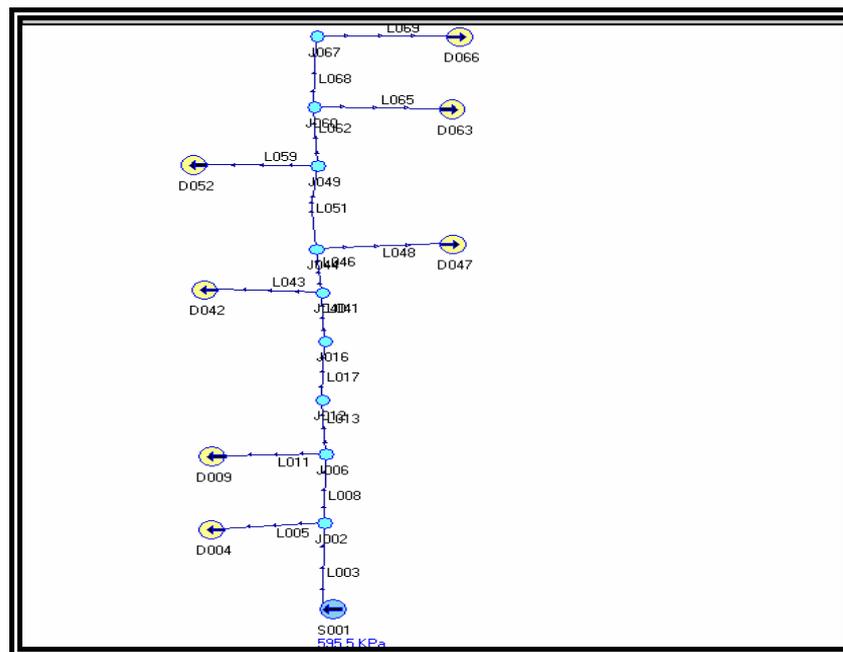


Figura 3.20. Diagrama de la simulación de la tubería 4.

Fuente. Elaboración propia.

## **CAPITULO IV**

### **ETAPA DE AUMENTO DE PRODUCCIÓN Y FUTURA**

#### **4.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA EN LA ETAPA DE AUMENTO DE PRODUCCIÓN**

En esta etapa se presenta un reordenamiento del área de sala de máquinas en la zona de los compresores debido a la instalación de una segunda estación de producción de agua grado plato necesaria para la elaboración de la cerveza y malta. En realidad esta estación no requiere aire comprimido para su funcionamiento, por lo que es independiente del sistema; sin embargo Polar decidió colocarla en el área de sala de máquinas. Esto implica la reubicación de los compresores dentro de la sala lo que afecta el cálculo del sistema de tuberías de suministro aire comprimido. En esta etapa también se evaluará el sistema debido al crecimiento de los caudales requeridos por el aumento en la demanda de producción, con la puesta en servicio de las dos (2) líneas del área de Envasado y una línea de producción del área de Pepsi, con lo cual se estima que la planta maneje un nuevo caudal de  $6.553 \text{ m}^3/\text{h}$ . Adicionalmente el reordenamiento de la sala de máquinas incluirá la adquisición de un compresor centrífugo marca Elliot de una capacidad de  $5.500 \text{ m}^3/\text{h}$  para la sala de máquinas.

#### **4.2 EVALUACIÓN DE LA ETAPA DE AUMENTO DE PRODUCCIÓN**

La evaluación se va a realizar solo en las áreas de Envasado y Pepsi ya que es donde existe el crecimiento de caudales por la puesta en operación de las líneas de producción, mientras que el resto de las áreas seguirán manejando los mismos consumos, calculándose solo las nuevas presiones de llegadas en las mismas por el incremento del suministro.

#### 4.2.1 Caída de presión en el Puente Principal.

Se simuló el sistema de tuberías del puente principal (ver figura 4.1) para la Etapa de Aumento de Producción, es decir, con base al crecimiento de los caudales debido a la puesta en servicio de tres líneas de producción.

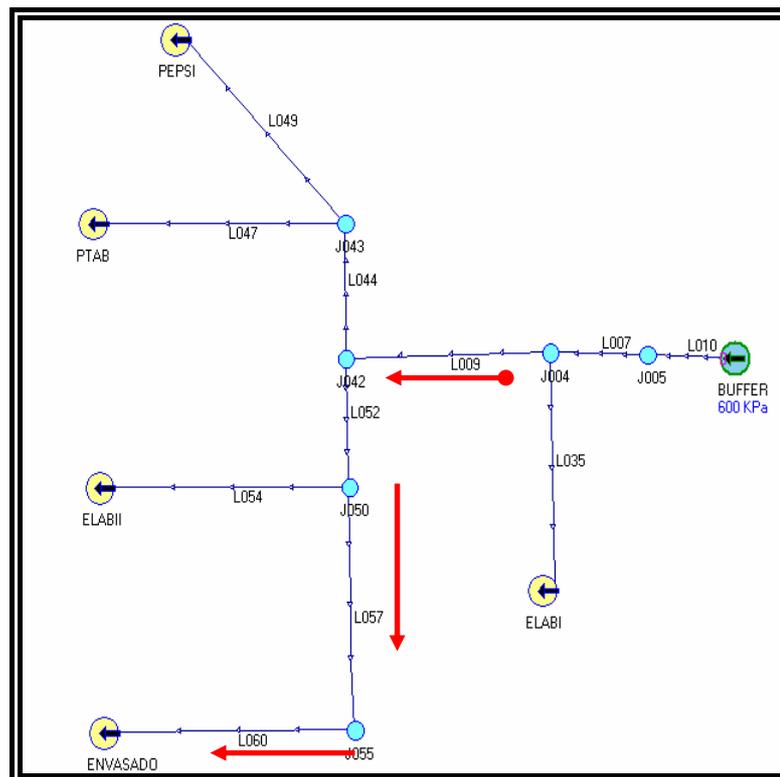


Figura 4.1. Diagrama de la simulación del Puente Principal.

Fuente. Elaboración propia.

Al observar los resultados mostrados en la tabla 4.1, existe una caída de presión en la tubería principal desde los Buffer hasta el área de Envasado tubería que se muestra con la ruta de flechas de color rojo (ver figura 4.1) mayor a la recomendada por el Manual Atlas Copco, lo cual indica que está tubería deberá ser modificada en su diámetro (ver capítulo 5) para reducir esta pérdida. En cuanto a las presiones a la entrada de cada área, estas decrecieron con respecto a las presiones para la etapa actual como se muestra en los anexos C.2 y C.13 sin afectar la operación del

videojet que requiere una presión de 550 kPa (79,77 psi). El reporte de todos los caudales y presiones de esta simulación se encuentra en el anexo C.13.

Tabla 4.1. Caída de presión en las tuberías del puente principal.

Fuente. Elaboración propia.

<b>Tuberías</b>	<b>Caída de presión (kPa)</b>	<b>Recomendación Atlas Copco (kPa)</b>
Principal (Buffer-Envasado)	7,01	7

#### 4.2.2 Caída de presión en la tubería 1 de Envasado.

Con la puesta en funcionamiento de los equipos de los trenes de producción 4 y 5, distribuidos según la propuesta 5.1.1 del capítulo 5 el caudal aumenta a 338 m<sup>3</sup>/h. Los resultados de las simulaciones indican un decrecimiento en la presión en la llegada al S001 (ver figura 4.2) de 595,5 kPa (86,37 psi) en la etapa actual a 592.9 kPa (86 psi) sin embargo esta reducción no afecta los requerimientos de los equipos conectados a esta tubería. Las caídas de presión son menores a las recomendadas por el manual Atlas Copco, al igual que en la evaluación de la etapa actual.

Para ver el resumen del reporte de esta simulación ver anexo C.14. Las tuberías con mayores caídas de presión que se muestra en la tabla 4.2.

Tabla 4.2. Caída de presión en la tubería 1 de Envasado.

Fuente. Elaboración propia.

<b>Tuberías</b>	<b>Caída de presión (kPa)</b>	<b>Recomendación Atlas Copco (kPa)</b>
Principal (S001-J003)	0,8	7
Secundaria (L022,L043)	0,5	3

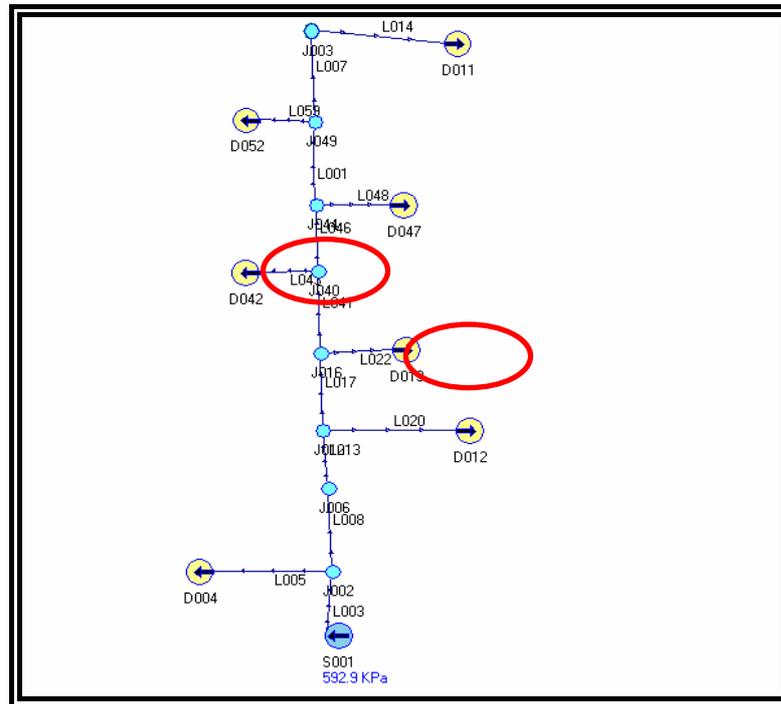


Figura 4.2. Diagrama de la simulación de la tubería 1.

Fuente. Elaboración propia.

#### 4.2.3 Caída de presión en la tubería 2 de Envasado

Según se observa en la tabla 4.3, existen 5 tuberías que presentan caídas de presión mayores a las evaluadas en la etapa actual y a las recomendadas por Atlas Copco. Estas tuberías (ver figura 4.3) se identifican como:

- ❖ La tubería principal S094-J162 la cual presenta una caída de 11,1 kPA por arriba de lo recomendado por el manual Atlas Copco.
- ❖ La tubería (L098) ubicada desde la tubería principal hasta los equipos pasteurizador 1, inspector de nivel 1, difusor 1 y kisters 1.
- ❖ La tubería (J119-D135) que se ubica desde la tubería principal hasta los equipos paletizadores 1, 2-3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9.
- ❖ La tubería (J119-D143) que se ubica desde la tubería principal hasta los despaletizadores 1, 2-3, 4, 5, 6 y 7.



Tabla 4.3. Caída de presión en la tubería 2 de Envasado.

Fuente. Elaboración propia.

<b>Tuberías</b>	<b>Caída de presión (kPa)</b>	<b>Recomendación Atlas Copco (kPa)</b>
Principal (S094-J162)	18,1	7
Secundaria (L098)	3,5	3
Secundaria (J119-D135)	24,3	
Secundaria (J119-D143)	12,3	
Secundaria (J151-D171)	4,5	
Secundaria (L166)	4,6	

#### 4.2.4 Caída de presión en la tubería 3 en Envasado.

Las caídas de presión en las tuberías tanto principal como secundaria son inferiores a las caídas recomendadas por el manual Atlas Copco (ver tabla 4.4) al igual que para la etapa actual. Esto debido a que en estas tuberías se encuentran conectados solamente los equipos videojet (ver figura 4.4). El flujo manejado en esta Etapa de Aumento de Producción es de 25 m<sup>3</sup>/h lo que indica la poca cantidad de equipos conectados a la misma y una presión de entrada (S001, ver figura 4.4) de 592,9 kPa (86 psi) suficiente para cumplir con los requerimientos de los equipos conectados. El reporte de esta simulación se encuentra en el anexo C.16.

Tabla 4.4. Caída de presión en la tubería 3 de Envasado.

Fuente. Elaboración propia.

<b>Tuberías</b>	<b>Caída de presión (kPa)</b>	<b>Recomendación Atlas Copco (kPa)</b>
Principal (S001-J011)	0,012	7

Secundaria (L046)	0,19	3
-------------------	------	---

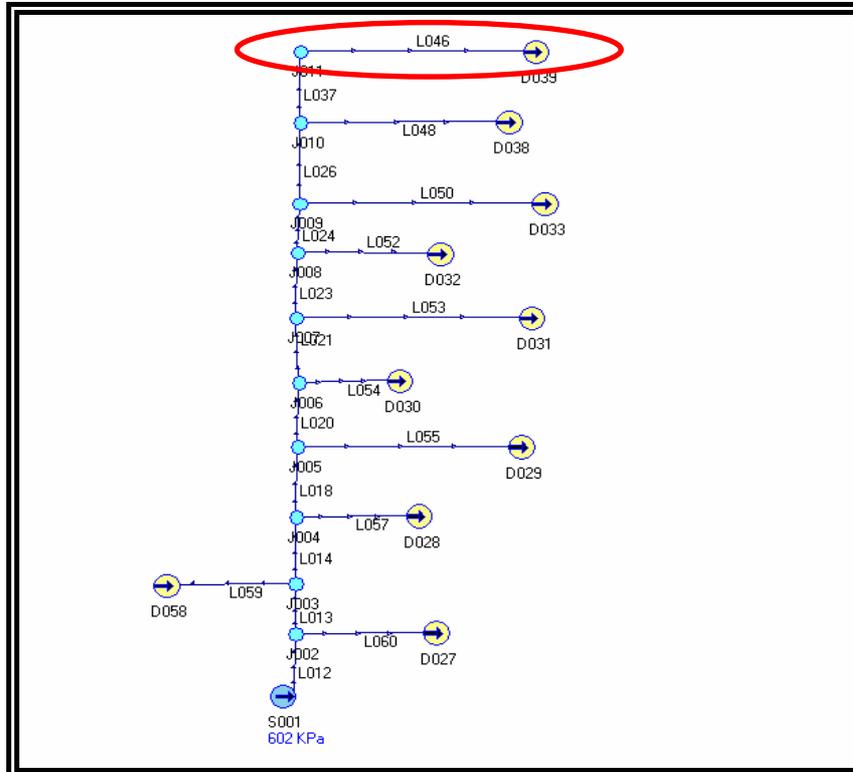


Figura 4.4 Diagrama de la simulación de la tubería 3.

Fuente. Elaboración propia.

#### 4.2.5 Caída de presión en la tubería 4 en Envasado

Se observa que las caídas de presión en la tubería principal es inferior a las caída recomendada por el manual Atlas Copco (ver tabla 4.5) mientras que la tubería secundaria (L022) (ver figura 4.5) presenta una fuerte caída como era de esperarse debido al incremento de la toma de las llenadotas 4 y 5 y sus difusores respectivamente. El nuevo flujo es de 866 m<sup>3</sup>/h y la presión a la entrada (S001. ver figura 4.5) de 592,9 kPa (86 psi) suficiente para cumplir con las presiones requeridas por los equipos. Para ver el resumen de los resultados completos de esta simulación ver en el anexo C.17.

Tabla 4.5. Caída de presión en la tubería 4 de Envasado.

Fuente. Elaboración propia.

Tuberías	Caída de presión (kPa)	Recomendación Atlas Copco (kPa)
Principal (S001-J067)	2,3	7
Secundaria (L022)	6,6	3

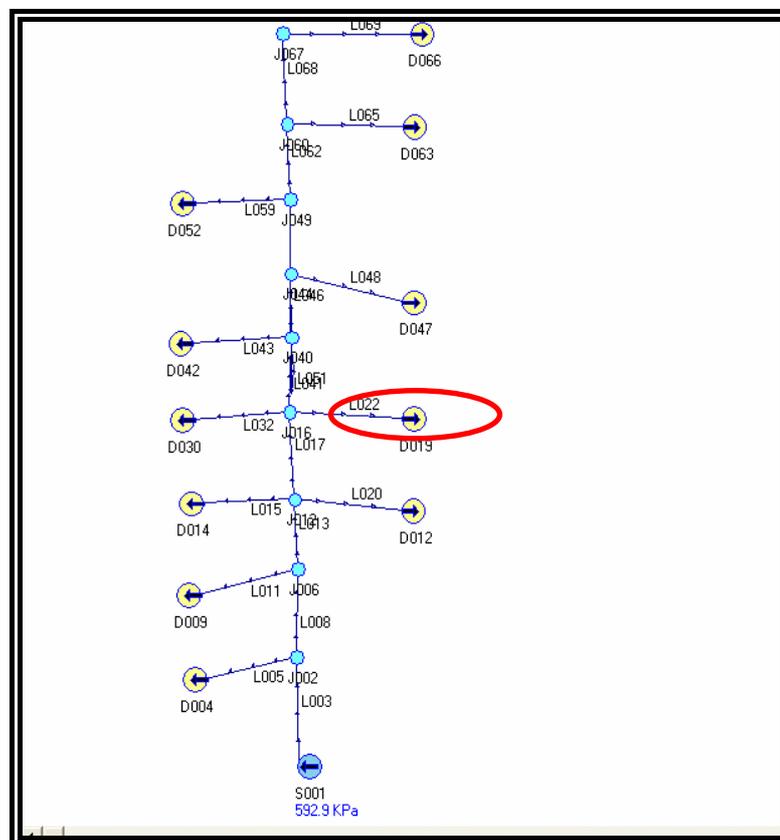


Figura 4.5. Diagrama de la simulación de la tubería 4.

Fuente. Elaboración propia.

#### 4.2.6 Caída de presión en las líneas del área de Pepsi.

Como se observa en la tabla 4.6, las caídas de presiones en el sistema de aire comprimido de Pepsi (ver figura 4.6) en la Etapa de Aumento de Producción están por debajo de lo recomendado por el manual, indicando que el sistema se encuentra bien distribuido. Estos resultados son acordes debido a que esta área de producción es nueva y se encuentra bien distribuida. Esta zona manejará un nuevo caudal de 500 m<sup>3</sup>/h a una presión de entrada (S001, ver figura 4.6) al área de 596,6 kPa (86,53 psi) suficiente para cumplir con los requerimiento de los equipos. Para ver el resumen de esta simulación ver en el anexo C.18.

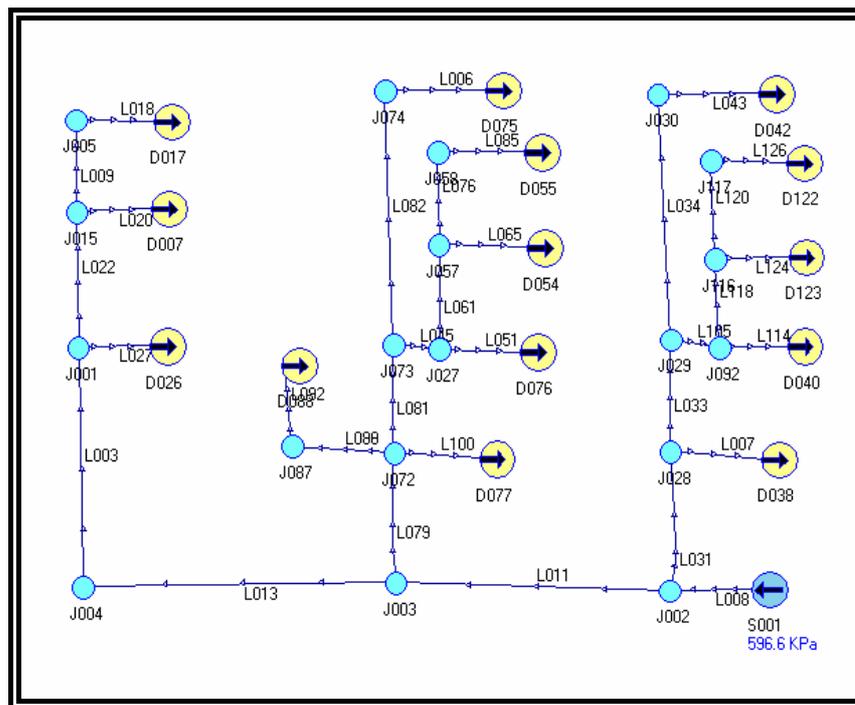


Figura 4.6. Diagrama de la simulación de Pepsi.

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 4.6. Caída de presión en las líneas de Pepsi.

Fuente. Elaboración propia.

Líneas	Caída de presión	Recomendación
--------	------------------	---------------

	(kPa)	Atlas Copco (kPa)
Tubería Principal	0,5	7
Línea 5	0,2	3
Línea 2	0,4	
Línea 4	0,6	

### 4.3 EVALUACIÓN DE LA ETAPA FUTURA

En esta etapa se evaluará el sistema de aire comprimido determinando cual es el caudal máximo de flujo que el sistema disponible en la etapa de Aumento de Producción luego del cambio del diámetro de la tubería de 6" a 8" que se ubica desde Elaboración II hasta Envasado (ver figura 4.7).

Una vez determinado dicho caudal se estudiará cual sería el posible crecimiento en cuanto a instalación de líneas de trenes de producción que el sistema de aire comprimido podrá operar.

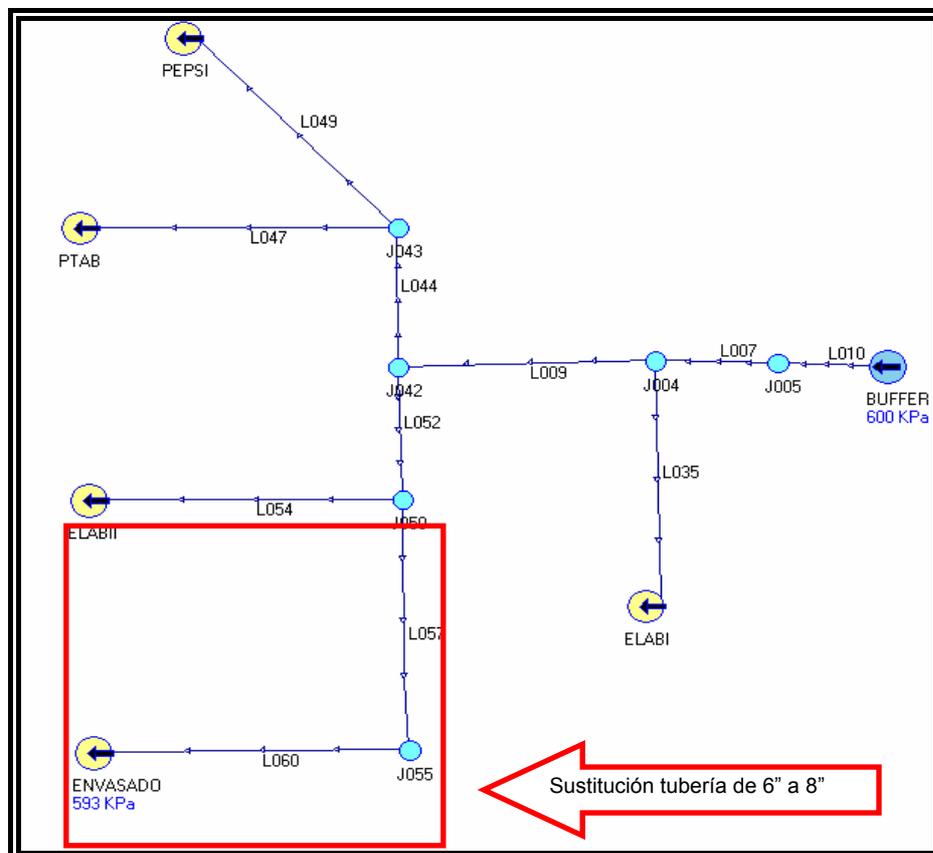


Figura 4.7. Diagrama de la simulación del puente principal.

Fuente. Elaboración propia.

#### **4.3.1 Caída de presión en el Puente Principal**

Al evaluar el sistema de tuberías para un aumento de producción para la Etapa Futura (luego de la sustitución del diámetro de 6" a 8"), se obtiene como caudal máximo para que el sistema de tuberías del puente principal no experimente una caída mayor a 7 kPa (1,02 psi) es de 7.688 m<sup>3</sup>/h.

Este resultado indica que la planta cuenta con 1.135 m<sup>3</sup>/h de caudal para ser utilizado, obtenido de la resta de 7.688 m<sup>3</sup>/h menos los 6.553 m<sup>3</sup>/h del caudal manejado en la etapa de aumento de producción. La futura expansión del sistema de aire comprimido permitiría la incorporación de tres (3) trenes de producción sin realizar ningún tipo de modificación al sistema de la planta ya que el consumo promedio de cada línea de elaboración de cerveza es de 355 m<sup>3</sup>/h aproximadamente. En el anexo C.19 se muestra el reporte de esta simulación.

## **CAPITULO V**

### **DESARROLLO DE PROPUESTAS**

Una vez evaluado el sistema de aire comprimido mediante el simulador de flujos en tuberías para las Etapas Actual, Aumento de Producción y Futura, se plantearán las diferentes propuestas para solucionar los problemas encontrados en las áreas como son: determinación de las nuevas distribuciones de suministro de aire comprimido para las tuberías de Envasado, los nuevos diámetros de tuberías con grandes caídas de presión, mejoras en el nivel de presión, entre otros. Dichas propuestas se realizarán en busca de aumentar el nivel de generación y distribución del sistema de aire comprimido para la planta.

#### **5.1 PROPUESTAS PARA LA ETAPA ACTUAL**

##### **5.1.1 Propuesta para la nueva redistribución de los equipos en las tuberías del área de Envasado.**

Al simular el sistema para la Etapa Actual y de Aumento de Producción, este presentó caídas mayores a las recomendadas por el Manual Atlas Copco. La tubería 2 del área de envasado como se muestran en las tablas 3.29 - 4.3 así como en la tubería 4 según la tabla 4.5 de suministro de aire comprimido en el área de Envasado. Estas caídas son debido a la gran cantidad de equipos que se encuentra conectados ya que no se realizó un estudio de las capacidades de las mismas al ser diseñado. En la tabla 5.1 se muestra la cantidad de equipos conectados a las diferentes tuberías 1, 2, 3 y 4 del área de Envasado.

Tabla 5.1. Distribución actual para las tuberías del área de Envasado.

Fuente. Elaboración Propia.

<b>Línea</b>	<b>Equipos</b>	<b>Número de líneas</b>
Tubería 1	Lavadora	(2)
	Pasteurizador	(2-3,4)
	Embalador Kisters	(2-3)
	Embalador	(4)
	Inspetor de Gaveras	(4)
	Inspector de lavado	(6, 7,8)
	Inspector de Nivel	(9,10)
Tubería 2	Lavadora	(4, 5, 6, 7, 8, 9, 10)
	Pasteurizador	(1, 5, 6, 7, 8, 9, 10)
	Embalador Kisters	(1)
	Embalador	(5, 6, 7, 8, 9, 10)
	Desembalador	(1, 2-3,4, 5, 6, 7, 8, 9, 10)
	Paletizador	(1, 2-3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10)
	Despaletizador	(1, 2-3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10)
	Etiquetadora	(2-3, 6)
	Inspector de gaveras	(5, 6, 7, 8, 9, 10)
	Inspector de lavado	(9, 10)
	Inspector de llenado	(1, 7, 9, 10)
	Difusores	(1,7,9,10)
Tubería 3	Video jet	(1, 2-3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10)
Tubería 4	Llenadoras	(1, 2-3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10)
	Inspectores de nivel	(1, 2-3, 4, 5, 6)
	Difusores	(2-3, 4, 5, 6, 8)

De la tabla 5.1 es preciso aclarar que estos equipos están conectados para la Etapa de Aumento de Producción mientras que para

la Etapa Actual no están conectados los equipos pertenecientes a las líneas de producción 4 y 5 por encontrarse fuera de operación.

En busca de la mejor manera de solventar esta situación evitando grandes costos económicos, se determinó que la propuesta es la redistribución de los equipos de las tuberías 2 y 4 en las tuberías 1 y 3. Para la obtención de los caudales máximos en las mismas, se fijaron las caídas de presión máximas recomendadas por Atlas Copco en el simulador para cada tubería de Envasado, obteniéndose los valores de la tabla 5.2. Los reportes de las simulaciones se muestran en los anexos C.20, C.21, C.22 y C.23.

Tabla 5.2. Flujos Máximos permitidos en las tuberías de Envasado.

Fuente. Elaboración Propia.

<b>Tuberías</b>	<b>Caudal Actual (m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Caudal Máximo (m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Diferencia (m<sup>3</sup>/h)</b>
1	338	1.001	+663
2	1.825	800	-1.025
3	25	587	+562
4	866	637	-229

Según se muestra en la tabla 5.2, los caudales máximos se calcularon mediante el simulador de flujos para caídas de presión no mayores de 7 kPa (1,02 psi) para la tubería principal y de 3 kPa (0,44 psi) para las tuberías secundarias. El resultado obtenido para cada línea es el siguiente: Las tuberías 1 y 3 pueden recibir hasta 663 m<sup>3</sup>/h y 562 m<sup>3</sup>/h de aire comprimido adicionales respectivamente sin modificar sus diámetros de 4" y 3" respectivamente; mientras que las tuberías 2 y 4 tiene un exceso de caudal total de 1.254 m<sup>3</sup>/h lo que indica las grandes caídas de presión que éstas presentaron en la evaluación del capítulo anterior. Para bajar este consumo y por lo tanto las caídas en la presión deben ser desconectados los equipos de estas y conectarlos a las tuberías 1 ó 3.

Las nuevas distribuciones para las tuberías buscando la menor cantidad de gasto económico se muestra en la tabla 5.3. En el anexo A.10 se muestra el plano isométrico de la nueva redistribución.

Tabla 5.3. Nueva distribución para las tuberías en el área de Envasado.

Fuente. Elaboración Propia.

<b>Línea</b>	<b>Equipo</b>	<b>Número de Línea</b>
Tubería 1	Desembalador	(4, 5, 6, 10)
	Lavadora	(2, 4, 5, 6)
	Inspector de lavado	(6, 7, 8, 9, 10)
	Inspector de llenado	(7, 8, 9, 10)
	Pasteurizador	(4, 5, 7, 9, 10)
	Difusor	(7, 8, 9 10)
	Inspector de gaveras	(4, 5)
	Embalador	(4, 5)
Tubería 2	Paletizadora	(1, 2-3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10)
	Embalador	(6, 7, 8, 9, 10)
	Pasteurizador	(1, 2-3, 8)
	Inspector de Gaveras	(6,7,8 ,9, 10)
	Etiquetadora	(6)
	Kisters	(2-3)
Tubería 3	Despaletizadora	(1, 2-3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10)
	Desembaladora	(7, 8, 9)
	Pasteurizador	(1)
	Difusor	(1)
	Inspector de nivel	(1)
	Etiquetadora	(2-3)
	Kisters	(1)
	Lavadora	(7, 8, 9)
	Video jet	(1, 2-3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10)

Tubería 4	Llenadora	(1, 2-3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10)
	Difusotes	(4, 5,6)
	Inspector de nivel	(2-3, 4, 5, 6)

## 5.2 PROPUESTA PARA LA ETAPA DE AUMENTO DE PRODUCCIÓN

### 5.2.1 Determinación del diámetro de la tubería principal de suministro de aire comprimido para la nueva ubicación de los compresores.

En está propuesta se reubicarán los compresores Elliot existentes y el compresor de tornillo debido a la instalación de la planta de agua grado plato como se explico en el capitulo anterior. Además se tomará en cuenta para la realización del cálculo el compresor de marca Elliot el cuál no se encuentra disponible en la planta, pero que fue adquirido para la etapa futura. Para está propuesta fue desincorporado por obsolescencia un compresor Elliot quedando la sala de máquinas con los compresores que se muestran en la tabla 5.4.

Tabla 5.4. Especificaciones para la Etapa de Aumento de Producción.

Fuente. Fichas técnicas Polar.

Compresor	Marca	Caudal (m <sup>3</sup> /h)
1	Elliot	3.600
2	Elliot	3.600
3	Atlas Copco	2.700
4	Elliot	5.500

La Etapa de Aumento de Producción tendrá una nueva capacidad de 15.400 m<sup>3</sup>/h de aire comprimido, pero en la actualidad puede manejar solo 9.900 m<sup>3</sup>/h debido a que como se explicó anteriormente el compresor 4 no se encuentra en la planta. Se requiere seleccionar la tubería

adecuada para la línea principal de aire comprimido de la sala de máquinas y las líneas de alimentación desde la nueva ubicación de los compresores hasta los post-enfriadores.

### 5.2.1.1 Determinación del diámetro de suministro de las tuberías de los compresores para su reubicación en la sala de máquinas.

Para los cálculos de los nuevos diámetros se utiliza el criterio de la pérdida máxima admisible y mediante la ecuación 2.2, se determina el diámetro recomendado para las líneas de aire comprimido (línea principal y líneas de alimentación). Para el caso de las líneas nuevas el diámetro de referencia ( $d$ ) y para el caso de las líneas actuales se determinó la capacidad máxima ( $Q$ ) que podrán manejar estas. Al establecer las propiedades del flujo se fijaron los siguientes parámetros de diseño del sistema de aire comprimido (ver tabla 5.5).

Tabla 5.5. Parámetros de diseño para las líneas en la sala de máquinas.

Fuente. Elaboración propia.

Compresor	Presión de Diseño (bar <sub>a</sub> )	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	$\Delta P_{MÁX}$ (bar)	Longitud (m)
1	8	1	0,07	10
2	8	1	0,07	8
3	8	0,75	0,07	10
4	8	1,53	0,07	8

Sustituyendo en la ecuación 2.2 y despejando el diámetro de referencia ( $d$ ) para cada una de las líneas se obtienen la tabla 5.6.

Tabla 5.6. Diámetros para las nuevas líneas de los compresores 1,2,3 y 4.

Fuente. Elaboración propia.

Compresor	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Diámetro Referencia (mm)	Diámetro Referencia (pulg)	Diámetro Nominal (pulg)
1	1	74,43	2,93	3
2	1	77,83	3,06	3
3	0,75	66,92	2,63	2 ½
4	1,53	91,10	3,59	3 ½

Los valores obtenidos del diámetro de referencia mostrados en la tabla 5.6, son transformados a pulgadas para luego determinar sus diámetros nominales, por ejemplo para la tubería del compresor 1, el resultado del cálculo es de 2,93" y el diámetro nominal seleccionado es de 3" debido a que el diámetro interno para una tubería con cédula 40 es 3,264" y el diámetro nominal de la tubería de 2 ½ tiene un diámetro interno de 2,67". Este procedimiento es el seguido en la selección del resto de los diámetros. En el anexo B.1, se muestra las tablas de valores para la selecciones del diámetro nominal en tuberías.

### 5.2.1.2 Determinación de la capacidad máxima de la línea principal actual de sala de máquinas.

Los siguientes parámetros se utilizarán para conocer si el sistema de la sala de máquinas puede operar con las líneas de aire comprimido anteriores a la nueva ubicación.

Tabla 5.7. Parámetros para la línea principal sala de máquinas

Fuente. Elaboración propia.

Línea	Presión de Diseño (bar <sub>a</sub> )	Diámetro Nominal (pulg)	$\Delta P_{MÁX}$ (bar)	Longitud (m)
Principal	8	8	0,07	75

Sustituyendo los parámetros de la tabla 5.7 en la ecuación 2.2 y despejando el Caudal Máximo ( $Q$ ) para conocer el caudal que puede circular por esta línea se obtienen  $17.712 \text{ m}^3/\text{h}$  de flujo volumétrico, lo que indica que el diámetro de las tuberías actual es el adecuado para el flujo de todos los compresores que es de  $15.400 \text{ m}^3/\text{h}$ .

En la figura 5.1 se muestra simulación del nuevo sistema de aire comprimido de la sala de máquinas (ver anexo A.11).

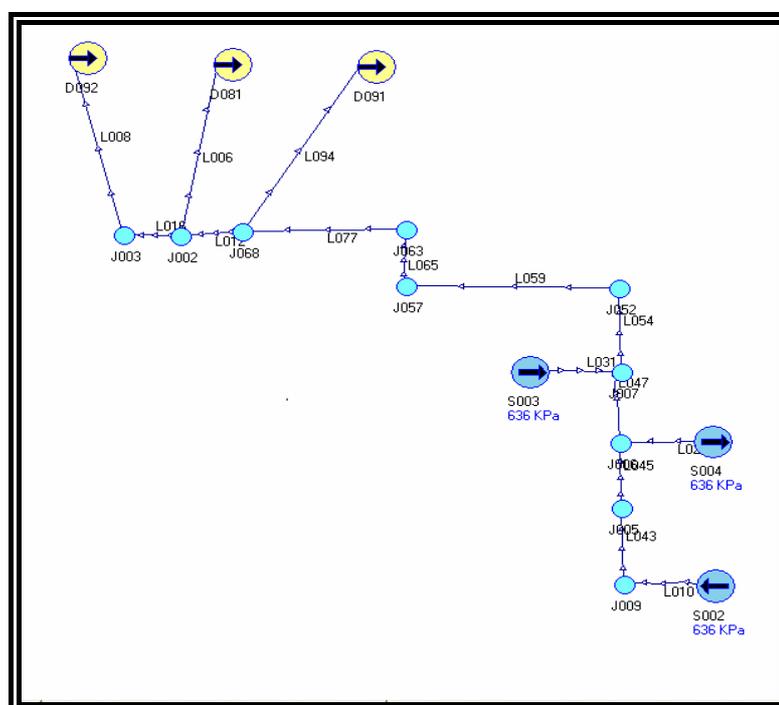


Figura 5.1. Simulación de las tuberías de la sala de máquinas.

Fuente. Elaboración propia.

### 5.2.1.3 Propuesta para la sustitución del tramo de tubería de suministro de aire comprimido hacia envasado.

Al simular la tubería que suministra aire comprimido al área de envasado esta presentó una caída de presión mayor a la recomendada por el Manual Atlas Copco (ver capítulo 4, punto 4.3). Para poder eliminar esta caída de presión se debe cambiar el diámetro de 6" a 8". Esta sustitución

se realizará a partir de la reducción de 8" a 6" que se presenta en la tubería luego de suministrar aire comprimido a la tubería de Elaboración II (ver el anexo A.2). Esta propuesta requiere de 80 m de tubería de acero de 8" de diámetro. Su realización es necesaria para llevar a cabo las propuestas de las etapas de aumento de producción.

### **5.3 PROPUESTAS PARA LA ETAPA FUTURA**

#### **5.3.1 Propuesta de una línea de alta presión para equipos críticos.**

La implantación de una nueva tubería de alta presión denominada tubería 5 en el área de Envasado para los equipos más críticos del sistema con el fin de bajar la presión de los compresores de la sala de máquinas logrando disminuir el consumo del sistema. Para esta propuesta se realizó un estudio de la colocación de un amplificador de presión (ver figura 5.2) para el suministro de los equipos más crítico del sistema de la planta.

Los amplificadores de aire comprimido son multiplicadores de presión de ciclación automática que utilizan dos pistones en tándem. El pistón de mayor diámetro recibe la presión motriz y el pistón de menor sección que va unido a él puede generar una presión superior (el aire a baja presión aplicado sobre el pistón de mayor diámetro crea una alta presión en el pistón pequeño). Las Características de los amplificadores de presión son:

- ❖ Infinita capacidad variable de presión y de caudal de salida
- ❖ Ningún riesgo de calor, llama o chispas
- ❖ Larga duración de juntas con mantenimiento sencillo
- ❖ Amplia gama de modelos, controles y opciones.



Figura 5.2. Amplificador de presión Haskel.

Fuente. Catalogo de Haskel.

En el área de envasado se encuentran 11 videojet de los siguientes modelos: 2 Video Jet Excel series 270 i y 9 Video Jet 170i Ultra High Speed. Actualmente se van a realizar la sustitución de los 2 Video Jet Excel series 270i por el modelo Video Jet 170i UHS debido a las mejores prestaciones de éste último (ver tabla 5.8). Estos se encuentran conectados a la tubería de distribución número 3 de Envasado.

Tabla 5.8. Especificaciones técnicas del videojet.

Fuente. Manual de especificaciones del Equipo.

<b>Equipo</b>	<b>Presión Mínima (kPa)</b>	<b>Presión Máxima (kPa)</b>	<b>Caudal (m<sup>3</sup>/h)</b>
Video Jet 170i UHS	483	689	3,39

Calculando el caudal para los 11 videojet más un 30% de factor de seguridad, por posibles fugas y a la expansión futura recomendado por Atlas Copco, el caudal requerido es de 49 m<sup>3</sup>/h. Los resultados en la tabla 5.9 se obtuvieron mediante el software Haskel (ver figura 5.3) disponible en la página web de la compañía Haskel (ver anexo B.4) El modelo más

adecuado de amplificador para el requerimiento según se observa en la figura 5.3 es el ADD-2 debido a que suministra la presión y caudal necesario con menos cantidad de ciclos por minutos lo que se traduce como menos desgaste en el equipo.

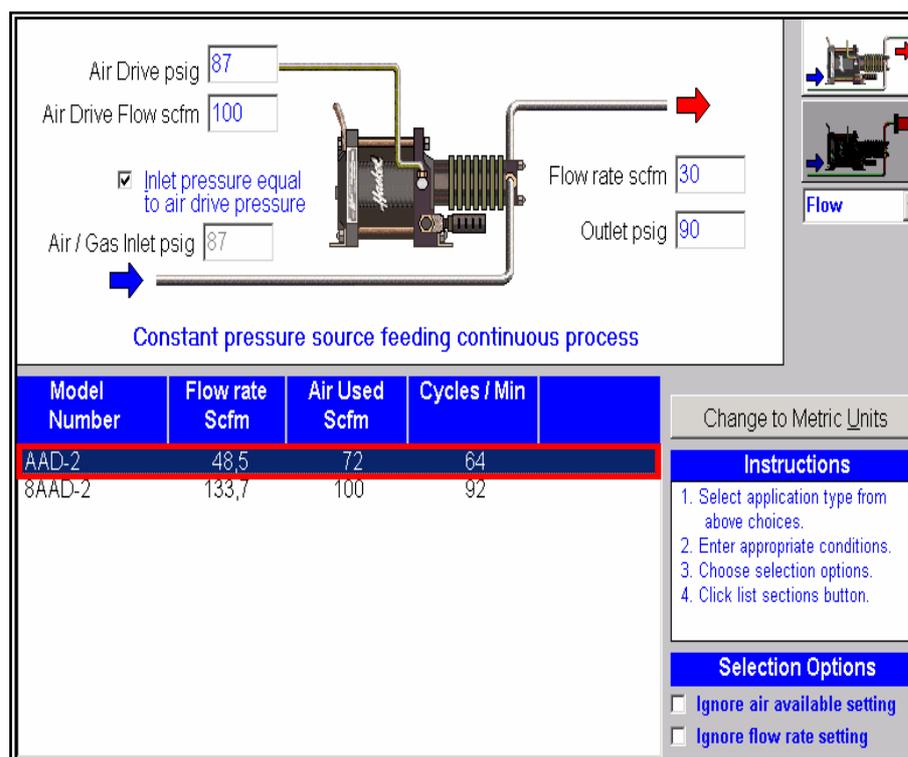


Figura 5.3. Simulación del amplificador de presión para Envasado.

Fuente. Software de Haskel.

Tabla 5.9. Característica del amplificador modelo ADD-2.

Fuente. Catálogos de Haskel.

Presión Minina de manejo (CPU)	280
Presión Máxima de manejo (kPa)	1.030
Presión Mínima de entrada de aire comprimido (kPa)	270
Presión Máxima de entrada de aire comprimido (kPa)	2.070
Presión Máxima de salida del aire comprimido (kPa)	2.070

Según se evaluó el modelo seleccionado mediante el software Haskel, permitirá que la presión del sistema se pueda disminuir según los datos mostrados en la tabla 5.10.

Tabla 5.10. Evaluación del amplificador modelo ADD-2.

Fuente. Software de la compañía Haskel.

<b>Presión del sistema (kPa)</b>	<b>Presión Salida Amplificador (kPa)</b>	<b>Caudal Salida Amplificador (m<sup>3</sup>/h)</b>
483	552	55,56
517		63,71
552		71,69

La presión del sistema de aire comprimido puede bajarse hasta 483 kPa (70,05 psi) y el amplificador produciría la elevación a los 552 kPa (80,06 psi) y un flujo volumétrico de 55.56 m<sup>3</sup>/h ligeramente superior a los requeridos por los equipos para cumplir con su funcionamiento.

## CAPITULO VI

### EVALUACIÓN ECONÓMICA

El valor presente neto (VPN) es el método más conocido a la hora de evaluar proyectos de inversión a largo plazo. Este permite determinar si una inversión cumple con el objetivo básico financiero de maximizar la misma. La metodología consiste en descontar al momento actual (es decir, actualizar mediante una tasa) todos los flujos de cajas futuros del proyecto. A este valor se le resta la inversión inicial, de tal modo que el valor obtenido es el Valor Presente Neto del proyecto. La fórmula que nos permite calcular el VPN es:

$$VPN = -I + \sum_{n=1}^N \frac{Q_n}{(1+r)^n} \quad (6.1)$$

Dónde:

VPN: Valor Presente Neto.

I: Valor inicial de la inversión (Bs).

N: Número de períodos considerados (Años).

r: Tasa Atractiva Mínima de Retorno (%).

$Q_n$ : Flujos de cajas (Bs).

El cambio en el valor de VPN estimado puede ser positivo, negativo o continuar igual. Si es positivo significará que el valor del proyecto tendrá un incremento equivalente al monto del Valor Presente Neto. Si es negativo quiere decir que el proyecto reducirá su riqueza en el valor que arroje el VPN. Si el resultado del VPN es cero, la empresa no modificará el monto de su valor en el proyecto.

Para la realización del estudio económico de las propuestas realizadas en el capítulo 5, Cervecería Polar suministró los datos necesarios que sirvieron de premisas para realizar dicha evaluación como son:

- ❖ La tasa atractiva de retorno es de 17% para Cervecería Polar.
- ❖ En 0,085 Bs está el kWh contratado por Polar.

Nota: Estos valores fueron válidos para Enero de 2008.

## **6.1 ESTUDIO ECONÓMICO DE LA ETAPA ACTUAL**

### **6.1.1 Propuesta de la nueva redistribución de los equipos de las tuberías de suministro 2 y 4 en las tuberías 1 y 3 del área de Envasado.**

Para la Etapa Actual según la propuesta 5.1.1 que trata la redistribución de los equipos de las tuberías 2 y 4 en las tuberías 1 y 3. Para efectuar el cambio de los equipos de la línea 2 y 4 según la tabla 5.3, para la línea 2 no existe problema ya que esta se encuentra separada solo por 30 cm de distancia de las tuberías 1 y 3 y solo tendría que realizarse el cierre de las válvulas que llevan el consumo a los diferentes equipos y conectar los mismos mediante 30 cm de tuberías con soldadura a las tuberías 1 y 3 según sea el caso. Para la desconexión de los equipos de la tubería 4 de 3" de diámetro es necesario 20 m de tubería del diámetro de 3" para conectar con la tubería 1 ubicada en mezzanina ya que los equipos a desconectar se encuentran a nivel del techo del área de llenado. El costo aproximado de desconexión y conexión de equipos a las líneas fueron obtenidos de la empresa contratista PMA ORIENTE para enero de 2008 (ver tabla 6.1).

Tabla 6.1. Estimación de los costos de la propuesta de redistribución de las líneas del área de Envasado para la Etapa Actual.

Fuente. PMA ORIENTE.

Descripción	Unidad	Cant	Precio Unitario (Bs)	Sub-Total (Bs)
Tubería de 1"	Conex	7	62,1	434,7
Tubería de 2"	Conex	1	62,1	62,1
Tuberías 3"	Conex	3	62,1	186,3
Tuberías de 3 ½"	Conex	4	69,8	279,2
Tubería de 1"	M	12	65,5	131
Tubería de 2"	M	6	73,8	73,8
Tuberías 3"	M	18	90,56	271,68
Tuberías de 3 ½"	M	12	102	204
Mano de obra	-	-	-	3.545
<b>Total</b>				<b>5.187,78</b>

Según se observa en la tabla 6.1, el costo de las nuevas distribuciones es de 5.187,78 Bs. Esto permitirá bajar las caídas de presión en el área de las tuberías de suministro de Envasado lo que se traducirá en una mejor operación de equipos y por lo tanto se evitarían daños que pudieran afectar la producción.

## 6.2 ESTUDIO ECONÓMICO DE LA ETAPA DE AUMENTO DE PRODUCCIÓN

En esta etapa se determinaron varias propuestas que deben ser aplicadas para el mejoramiento y reubicación del sistema de compresores en la planta en busca de un crecimiento ordenado del sistema de aire comprimido.

### 6.2.1 Propuesta de reubicación del sistema de compresores en la sala de máquinas.

Como se desarrolló en el capítulo 5, debido a la reubicación de los compresores y calculados los diámetros de las tuberías de suministros de cada uno, se obtuvo la estimación de los costos para esta propuesta. Cabe destacar que esta cotización (ver tabla 6.2) fue realizada en diciembre de 2007 por la contratista de Polar IDOM Ingeniería y consultoría.

Tabla 6.2. Estimación de los costos de la propuesta de reubicación de los compresores en el área de sala de máquinas.

Fuente. IDOM Ingeniería y consultoría.

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio (Bs)	Sub-Total (Bs)
Tuberías 10"	M	24	398,7	1.594,8
Tuberías 3 ½ "	M	12	102	204
Tuberías 3"	M	18	90,65	271,95
Tuberías 2 ½ "	M	12	82,3	164,6
Codos 10"	Pza	5	80,4	402
Codos 3 ½ "	Pza	3	42,5	127,5
Codos 3"	Pza	6	38,4	230,4
Codos 2 ½ "	Pza	3	31,8	95,4
Válvula de Mariposa 3"	Pza	2	246,3	492,6
Válvula de Mariposa 4"	Pza	2	298,2	596,4
Válvula de Mariposa 10"	Pza	2	578,2	1.156,4
Mano de obra	-	-	-	10.458,9
<b>Total</b>				<b>15.794,95</b>

Nota: Todas las tuberías de la tabla 6.2 son SCH 40, sin costura, material ASTM A-53 con extremos biselados y cada unidad es de 6 m de largo.

### **6.2.2 Propuesta para la sustitución del tramo de tubería de 6" a 8" de diámetro del puente principal.**

Como se presentó en la propuesta 5.2.3 del capítulo anterior es necesaria la sustitución de 80 m de tubería de 6" de diámetro por 80 m de tubería de 8" que suministra aire comprimido al área de envasado. Los costos se muestran a continuación en la tabla 6.3 y fueron suministrados por la contratista PMA ORIENTE en diciembre de 2007.

Tabla 6.3. Costos de la propuesta para la reubicación de los compresores.

Fuente. PMA ORIENTE.

<b>Propuesta</b>	<b>Costo Estimado (Bs)</b>
80 m de tubería de 8"	5.304,6
Mano de Obra	4.345,8
Total	9.650,4

### **6.3 EVALUACIÓN ECONÓMICA PARA LA ETAPA FUTURA**

Para estimar la factibilidad de la propuesta para la Etapa Futura de la colocación de un Amplificador de presión para reducir la presión del sistema de la sala de máquinas, se observa los costos de los valores en la tabla 6.4. El costo del equipo Haskel ADD-2 fue suministrado por la compañía Haskel vía correo electrónico, mientras que los costos de los accesorios y componentes fue tomado del SAP de cervecería Polar. El cálculo realizado en para obtener los valores de la tabla 6.5, fueron realizados según el Manual de Atlas Copco. Para el momento de la realización de este cálculo se disponía en la sala de máquinas de 2 compresores Elliot de 373 kW y un compresor Atlas Copco de 296 kW y

se utilizó la premisa de que estos permanecieran en operación 8000h/anuales.

Tabla 6.4. Costos estimados de un amplificador de presión.

Fuente. SAP Polar.

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio (Bs)	Sub-Total
HASKEL ADD-2	PZA	1	23.598	23.598
VÁLVULA DE BOLA 3/8"	PZA	3	49,5	148,5
TUBERÍA 1 1/2"	ML	144	70,5	1.692
TUBERÍA 3/8"	ML	6	37,5	37,5
CODOS 3/8"	PZA	1	13,5	13,5
TEE 3/8"	PZA	1	15,5	15,5
SOPORTE AMP 17"X14"	PZA	1	280,5	280,5
TAPONES 3/4"	PZA	9	4,8	43,2
TUBERÍA 3/4"	ML	24	51,5	206
ABRAZADERAS U 1 1/2"	PZA	35	12,5	437,5
CODO 1 1/2"	PZA	1	28,5	28,5
VÁLVULA 1 1/2"	PZA	2	88,5	177
MANO DE OBRA	-	-	9.780	9.780
<b>TOTAL (Bs)</b>				<b>36.457,7</b>

Tabla 6.5. Estimación de la disminución del consumo en la Etapa Futura.

Fuente. Elaboración Propia.

Propuesta	Energía (kW)	Disminución Estimada (Bs/Anual)
Reducción de la presión en Sala de máquinas en 1 bar.	62,52	42.513,6

La obtención del valor del estimado por disminuir la presión en el sistema se muestra en la tabla 6.5. Se realiza multiplicando kW por horas de trabajo de la planta (8000h) por los kWh contratados por Polar (0.085 Bs).

#### 6.4 Cálculo del valor presente neto

Para la realización de esta evaluación es necesaria la elaboración del diagrama de flujo neto, que no es más que representar las ganancias anuales con una flecha hacia arriba y las inversiones del proyecto con una flecha hacia abajo como se muestra en la figura 6.1. Para conocer el total de la inversión que se va a realizar en la planta para las 3 Etapas de estudio y conocer si está es factible se especifican todos los costos y Bolívares estimados de la disminución de la presión del sistema mencionados anteriormente para cada etapa en las tablas 6.6 y 6.7.

Tabla 6.6. Estimación de los costos de inversión de las propuestas realizadas para las etapas de evaluación.

Fuente. Elaboración Propia.

<b>Etapas</b>	<b>Costo Estimado (Bs)</b>
Actual	5.187,78
Aumento de Producción	25.445,35
Futura	36.457,7
<b>Total</b>	<b>67.090,83</b>

Tabla 6.7. Estimación de Bs por las propuestas para las etapas.

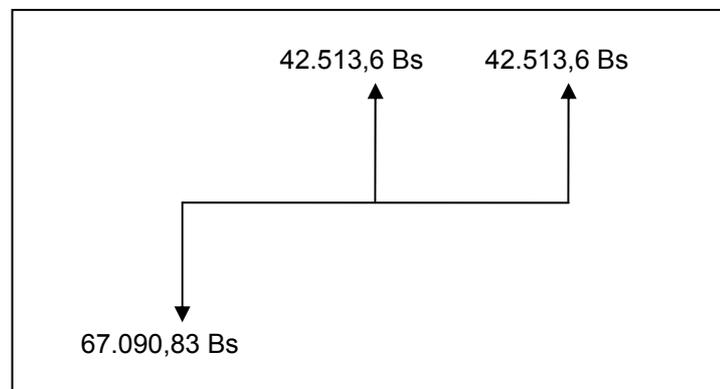
Fuente. Elaboración Propia.

<b>Etapas</b>	<b>Estimado (Bs/Anual)</b>
---------------	----------------------------

Actual	-
Aumento de Producción	-
Futura	42.513,6
Total	42.513,6

Figura 6.1. Diagrama de Flujo Neto para el cálculo del VPN.

Fuente. Elaboración Propia.



Para la aplicación de la fórmula de VPN y tomando los valores suministrados por Polar dónde:

- ❖ I: 67.090,83 Bs.
- ❖ N: 2 Años.
- ❖ r: 17%.
- ❖  $Q_n$ : 42.513,6 Bs.

Sustituyendo en la ecuación 6.1 obtenemos:

$$VPN = -I + \sum_{n=1}^N \frac{Q_n}{(1+r)^n}$$

$$VPN = -67.090,83 + \frac{42.513,6}{(1+0,17)^1} + \frac{42.513,6}{(1+0,17)^2}$$

$$VPN = 302,34$$

El proyecto generara ganancias de 302,34 Bs a partir de los 2 años de su ejecución.

## **CAPITULO VII**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **7.1 CONCLUSIONES**

❖ En la realización y actualización de los planos isométricos del sistema de aire comprimido se encontraron deficiencias en cuanto a la ubicación, señalización de los equipos y direcciones de flujos. De igual manera existe una ausencia en el sistema, de medidores de flujo y presión del aire comprimido para las áreas de Envasado, Sala de Máquinas y Puente Principal.

❖ La caída de presión más crítica se encontró en las tuberías 2 y 4 del área de Envasado, debido a la gran cantidad de equipos presentes en las mismas.

❖ Los caudales de entrada para cada área de producción satisfacen los requerimientos de los equipos presentes en las mismas siendo el área con mayor flujo volumétrico Envasado.

❖ Para la Etapa Futura en el sistema de aire comprimido pueden instalarse tres líneas de producción de llenado y envasado de cerveza, malta y/o refresco de un caudal promedio de 355 m<sup>3</sup>/h respectivamente con el sistema de generación y distribución disponibles después de la ejecución de las propuestas mencionadas.

❖ La correlación de flujo de Weymouth fue la seleccionada para la simulación del sistema de aire comprimido de la Cervecería Polar, por ser

la recomendada para flujos de gases en tuberías entre 2" y 12" de diámetros.

- ❖ La propuesta de suministrar alta presión a los equipos que la requieren mediante un amplificador de presión es una excelente mejora ya que se lograría reducir la presión de la Planta, así mismo, se lograría una disminución en el consumo en el sistema.

- ❖ Las propuestas desarrolladas para las tres etapas y según el valor obtenido del VPN de 302,34 Bs, son técnicamente viables 2 años después de su ejecución, esto debido a la alta tasa de retorno de un 17% manejada por la Cervecería Polar.

- ❖ Se determinó la existencia de la mala práctica operativa por parte de los operadores en el sistema de limpieza de los equipos del área de Envasado, ya que estos utilizan el aire comprimido para fin personal, lo que trae un desperdicio de 8 m<sup>3</sup>/h por cada manguera de ¾" abierta según Manual de Aplicaciones del Aire Comprimido Atlas Copco.

## 7.2 RECOMENDACIONES

- ❖ Aplicar el manual de especificaciones y normas al sistema general de aire comprimido como es la señalización de las direcciones de los flujos de aire, ubicación de los equipos, código de colores en las tuberías, entre otros.

- ❖ Dar cursos de concientización al personal de operadores de la Planta, sobre el costo de la energía utilizada en la compresión del Aire.

- ❖ Proponer un medio de transporte más económico para el envío del nepe desde las tolvas de Elaboración I hacia los silos ya que actualmente se consume 1.600 m<sup>3</sup>/h.

- ❖ Proponer la separación del sistema de aire comprimido hacia el área de Pepsi para así mejorar el sistema de distribución y manejo del área de la Cervecería.

- ❖ Implantación de un plan de operación de los compresores de la sala de máquinas según los días de producción en busca de lograr el máximo aprovechamiento de la potencia de los mismos.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Alonso J., **“Evaluación del sistema de aire comprimido para el mejoramiento del consumo energético de una planta cervecera”**, Tesis de Grado, Departamento de Ingeniería Mecánica, UDO, Puerto La Cruz, (2007).
2. Tovar M., **“Análisis energético del sistema de generación y distribución de aire comprimido de una cervecería”**, Tesis de Grado, Departamento de Ingeniería Mecánica, UDO, Puerto La Cruz, (2006).
3. **“Elaboración de la cerveza”**, Disponible en el portal de Empresas Polar. (1997).
4. Rodríguez J., **“Introducción a la termodinámica con algunas aplicaciones de ingeniería”**, Impreso en México, (1998).
5. **“Aire comprimido y su aplicación en la industria”**, Departamento de Comunicaciones de Atlas Copco Venezuela, 3° Edición, (1990).
6. Fernández P., **“Compresores”**, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética. Universidad de Cantabria. (2002).
7. **“Manual de servicios de compresores de sala de máquinas”**. Elaborado por la Gerencia de Servicios Industriales. (1995).
8. **“Manual de especificaciones de materiales para tuberías y accesorios para distribución de fluidos en servicios industriales”**. Elaborado por la Gerencia de Servicios Industriales. Disponibles en la biblioteca del área de servicios Industrial. (2002).
9. **“Manual keyword PIPEPHASE”**, Invensys Systems Inc. (2002). Disponible en el software de PIPEPHASE.
10. Martínez M., **“Cálculo de tuberías y redes de gas”**, Editorial Ediluz. Impreso en Maracaibo. (1993).

## **ANEXOS**

### **ANEXO A. PLANOS ISOMÉTRICOS DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO**

ANEXO A.1. Plano del sistema de generación de aire comprimido para la etapa actual.

ANEXO A.2. Plano del sistema de distribución de aire comprimido del Puente Principal (Tubería principal).

ANEXO A.3. Plano del sistema de distribución de aire comprimido del área de Pepsi.

ANEXO A.4. Plano del sistema de distribución de aire comprimido a las cajas de válvulas del área de P.T.A.B y P.T.A.R.

ANEXO A.5. Plano de distribución de aire comprimido en el área de Elaboración I.

ANEXO A.6. Plano del sistema de distribución de aire húmedo en el área de Elaboración.

ANEXO A.7. Plano de distribución de aire comprimido en el área de Elaboración II (Zona de Filtración).

ANEXO A.8. Plano de distribución de aire comprimido en el área de Elaboración II (Zona de T.C.C).

ANEXO A.9. Plano de distribución de aire comprimido de las líneas 1, 2, 3 y 4 del área de Envasado.

ANEXO A.10. Plano de la nueva distribución de equipos en las líneas de Envasado.

ANEXO A.11. Plano de la nueva reubicación de los compresores en el área de sala de máquinas.

## **METADATOS**

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

<b>TÍTULO</b>	EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO DE UNA CERVECERÍA CON BASE A SUS FUTUROS AUMENTOS DE PRODUCCIÓN.
<b>SUBTÍTULO</b>	

**AUTOR (ES):**

<b>APELLIDOS Y NOMBRES</b>	<b>CÓDIGO CULAC / E MAIL</b>
Alonso M., Jhonatan J.	<b>CVLAC:</b> 16.141.804 <b>E MAIL:</b> jhonatan_488@hotmail.com
	<b>CVLAC:</b> <b>E MAIL:</b>
	<b>CVLAC:</b> <b>E MAIL:</b>
	<b>CVLAC:</b> <b>E MAIL:</b>

**PALÁBRAS O FRASES CLAVES:**Aire ComprimidoSimulación PipephaseCorrelación de WeymouthCaída de PresiónManual Atlas Copco


---



---



---



---

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

ÁREA	SUBÁREA
Ingeniería y Ciencias Aplicadas	Ingeniería Mecánica

**RESUMEN (ABSTRACT):**

En el siguiente Trabajo de Grado se presenta la evaluación del sistema de aire comprimido de una planta cervecera con base a sus futuros aumentos de producción, por la puesta en operación de dos líneas de elaboración de cerveza y una de refresco. En este estudio se determinó la eficiencia del sistema de aire comprimido en la generación, almacenamiento, transporte y distribución, así como, su grado de utilización en las diferentes áreas. En la primera fase, se efectuó el levantamiento y actualización del sistema mediante planos isométricos. Luego se realizó la evaluación del sistema de aire comprimido para las Etapas Actual, Aumento de Producción y Futura. En estas se simuló las redes de tuberías que suministran aire comprimido para las diferentes áreas mediante un simulador de flujos en tuberías, donde se obtuvieron las caídas de presiones en las mismas, siendo el área más crítica Envasado. Adicionalmente se estudió la capacidad de expansión futura del sistema de aire comprimido, determinándose que este tiene una capacidad para la instalación de tres líneas de producción de cerveza sin presentar deficiencias. Una vez evaluadas las diferentes áreas se realizaron las propuestas de mejoras para cada etapa, como fue el rediseño de los diámetros de las tuberías, redistribución de los equipos en el área de Envasado y la instalación de un amplificador de presión con la finalidad de bajar la presión del sistema para obtener una disminución del consumo de la planta. A su vez se evaluó la factibilidad económica de las propuestas mediante la aplicación de la fórmula del valor presente neto.

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:****CONTRIBUIDORES:**

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU X	JU
Ayala H., Orlando M.	CVLAC:	11.420.758			
	E_MAIL	omayalah@gmail.com			
	E_MAIL				
Márquez., Josué.	ROL	CA	AS X	TU	JU
	CVLAC:	6.014.145			
	E_MAIL				
	E_MAIL				
Camargo., Lino.	ROL	CA	AS	TU	JU X
	CVLAC:	11.496.426			
	E_MAIL	lcamargos@cantv.net			
	E_MAIL				
Moreno T., Jesús A.	ROL	CA	AS	TU	JU X
	CVLAC:	3.424.523			
	E_MAIL				
	E_MAIL				

**FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:**

2009	05	20
AÑO	MES	DÍA

**LENGUAJE. SPA**

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

**ARCHIVO (S):**

<b>NOMBRE DE ARCHIVO</b>	<b>TIPO MIME</b>
TESIS.Evaluacióndeairecomprimido.doc	Application/msword

**CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS:** A B C D E F G H I J K  
L M N O P Q R S T U V W X Y Z . a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y  
z . 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 .

**ALCANCE**

**ESPACIAL:** \_\_\_\_\_ (OPCIONAL)

**TEMPORAL:** \_\_\_\_\_ (OPCIONAL)

**TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:**

Ingeniero Mecánico

**NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:**

Pregrado

**ÁREA DE ESTUDIO:**

Departamento de Mecánica

**INSTITUCIÓN:**

Universidad de Oriente

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

**DERECHOS**

**ARTÍCULO 44**

**REGLAMENTO DE LOS TRABAJOS DE GRADO**

“Los Trabajos de Grado son de exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y sólo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo participará al Consejo Universitario”.

**AUTOR**

Jhonatan Jose Alonso Morales

**AUTOR**

**AUTOR**

**TUTOR**

Prof. Orlando Ayala

**JURADO**

Prof. Jesús Moreno

**JURADO**

Prof. Lino Camargo

**POR LA SUBCOMISION DE TESIS**