



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**PROYECTO DE GRADUACIÓN**

**PROPUESTA DE MEJORA A SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO,  
LACTHOSA**

**PRESENTADO POR:**

**21351087 MARLON ANDRÉS BORJAS CARBAJAL**

**ASESOR: ING. HEGEL LÓPEZ**

**CAMPUS: SAN PEDRO SULA**

**NOVIEMBRE DE 2018**

## **Agradecimientos**

Primeramente, a Dios por acompañarme durante todo este trayecto y permitirme llegar hasta este punto.

A mi madre y mi abuela por siempre brindarme su apoyo y su amor incondicional durante tanto tiempo.

A mis tíos y demás familiares que siempre me brindaron su apoyo y conocimiento para poder llegar donde estoy.

A mis profesores que siempre me impulsaron y guiaron durante el camino brindándome su conocimiento.

A todo el cuerpo técnico y administrativo de Lácteos de Honduras por brindarme la oportunidad de formar parte de su equipo y aprender día a día.

A todos, mis más sinceros agradecimientos.

## Resumen

En el presente informe se le presenta una propuesta de mejora a la empresa Lácteos de Honduras con el fin de poder monitorear de una manera más eficiente la cantidad de aire comprimido que se distribuye a las diferentes áreas de la planta.

En este mismo se estudian las variables que podemos encontrar dentro de este sistema como lo son el aire y la presión. Se sabe que en la empresa el valor mínimo para la generación de aire comprimido tiene que estar por encima de los noventa PSI, pero no se conoce cuanto es el promedio que se genera constantemente, así que se hizo la toma de datos durante un tiempo estipulado para poder estimar este valor del cual la empresa carece.

Durante el tiempo que se estuvo investigando la manera más eficiente de mejorar este sistema se estudió toda el área donde se genera este recurso para poder conocer todo su proceso y así mismo ubicar el mejor lugar de instalación para los sensores que se proponen para esta mejora. Para poder conocer toda el área del sistema de aire comprimido se realizó un diagrama de flujos que consta de todos los componentes que el circuito contiene. Una vez que con toda la información obtenida de la investigación se realizó una propuesta de mejora la cual consta en instalar seis sensores Deltapilot S en las salidas de distribución para poder medir la cantidad de presión que se está distribuyendo a cada área y llevar esa información a una pantalla mediante un PLC para tener toda la información reunida en un solo punto y poder detectar de manera más rápida de donde proviene la falla que hace algunas veces que la presión caiga por debajo de la presión mínima generando paros de producción inesperados.

## **Abstract**

This report presents a proposal for improvement to Lácteos de Honduras in order to monitor more efficiently the amount of compressed air distributed to the different areas of the plant.

In this same study we study the variables that we can find within this system such as air and pressure. It is known that in the company the minimum value for the generation of compressed air has to be above ninety PSI, but it is not known how much is the average that is generated constantly, so the data collection was made for a stipulated time to estimate this value that the company lacks.

During the time that we were investigating the most efficient way to improve this system, we studied the entire area where this resource is generated in order to know its entire process and also to locate the best installation site for the sensors proposed for this improvement. In order to get to know the entire area of the compressed air system, a flow diagram was drawn up consisting of all the components contained in the circuit. Once all the information obtained from the research was used to make an improvement proposal which consists of installing six Deltapilot S sensors in the distribution outlets to measure the amount of pressure being distributed to each area and bring that information to a screen through a PLC to have all the information gathered in a single point and be able to detect more quickly where the failure comes from that sometimes causes the pressure to fall below the minimum pressure generating unexpected production stoppages.

# Índice

I.	Introducción.....	1
II.	Planteamiento del Problema .....	2
	2.1 Antecedentes.....	2
	2.2 Definición del Problema.....	3
	2.3 Preguntas de Investigación.....	3
	2.4 Objetivos.....	4
	2.4.1 Objetivos Generales .....	4
	2.4.2 Objetivos Específicos .....	4
	2.5 Justificación.....	4
	2.6 Marco Contextual.....	4
III.	Marco Teórico .....	6
	3.1 Aire Comprimido .....	6
	3.1.1 Antecedentes .....	6
	3.2 Aire .....	7
	3.2.1 Propiedades físicas del aire .....	8
	3.2.2 Aire como Gas Ideal.....	8
	3.3 Leyes de los Gases .....	9
	3.4 Ecuaciones de Estado .....	10
	3.4.1 Ecuación de Estado de Vander Waals (VDW) .....	10
	3.4.2 Ecuación de Estado Beattie – Bridgeman .....	¡Error! Marcador no definido.
	3.4.3 Ecuación de Estado Benedict – Webb – Rubin (BWR).....	11
	3.5 Aire Comprimido .....	12
	3.5.1 Propiedades del Aire Comprimido .....	12
	3.6 Presión .....	13
	3.6.1 Propiedades de la Presión .....	14
	3.6.2 Velocidad de Circulación .....	15
	3.7 Material de Tubería .....	15
	3.7.1 Tubería Principal.....	15
	3.7.2 Derivación Hacia Los Receptores .....	16
	3.7.3 Uniones .....	16

<b>3.8 Compresores.....</b>	<b>17</b>
<b>3.8.1 Compresores de Embolo.....</b>	<b>18</b>
<b>3.8.2 Compresor de Embolo de dos Etapas.....</b>	<b>18</b>
<b>3.8.3 Compresor de Embolo, de dos Etapas, Doble Acción. ....</b>	<b>19</b>
<b>3.8.4 Compresor de Embolo con Membrana.....</b>	<b>19</b>
<b>3.8.5 Compresor Radial de Paletas.....</b>	<b>19</b>
<b>3.8.6 Compresor de Tornillo.....</b>	<b>20</b>
<b>3.8.7 Compresor Rooths. ....</b>	<b>20</b>
<b>3.8.8 Turbo Compresor.....</b>	<b>21</b>
<b>3.8.9 Turbo Compresor Radial.....</b>	<b>21</b>
<b>3.8.10 Turbo Compresor Axial.....</b>	<b>21</b>
<b>3.9 Deposito de Aire.....</b>	<b>22</b>
<b>3.9.1 Capacidad.....</b>	<b>23</b>
<b>3.10 Costos Energéticos.....</b>	<b>24</b>
<b>3.10.1 Precios.....</b>	<b>24</b>
<b>3.10.2 Gastos de Aire Comprimido.....</b>	<b>25</b>
<b>3.10.3 Donde se Encuentra el Ahorro.....</b>	<b>26</b>
<b>3.11 Suministros y Demanda .....</b>	<b>27</b>
<b>IV. Metodología .....</b>	<b>29</b>
<b>4.1 Variables de Investigación .....</b>	<b>29</b>
<b>4.1.1 Variables Dependientes.....</b>	<b>29</b>
<b>4.1.2 Variables Independientes .....</b>	<b>29</b>
<b>4.2 Enfoques y Métodos.....</b>	<b>29</b>
<b>4.3 Técnicas e Instrumentos Aplicados.....</b>	<b>30</b>
<b>4.3.1 Técnicas Aplicadas .....</b>	<b>30</b>
<b>4.3.2 Instrumentos Aplicados.....</b>	<b>30</b>
<b>4.4 Materiales .....</b>	<b>31</b>
<b>4.5 Cronograma.....</b>	<b>31</b>
<b>V. Resultados y Análisis .....</b>	<b>32</b>
<b>5.1 Instrumentación .....</b>	<b>32</b>
<b>5.2 Proceso de Instalación.....</b>	<b>33</b>

<b>5.3 Formato para la toma de Datos .....</b>	<b>34</b>
<b>5.4 Tabulación de Datos.....</b>	<b>35</b>
<b>5.5 Resultados .....</b>	<b>37</b>
<b>5.6 Presupuesto .....</b>	<b>39</b>
<b>VI. Conclusiones .....</b>	<b>40</b>
<b>VII. Recomendaciones .....</b>	<b>41</b>
<b>7.1 Para la Empresa .....</b>	<b>41</b>
<b>7.2 Para la Universidad.....</b>	<b>41</b>
<b>VIII. Bibliografía .....</b>	<b>42</b>
<b>IX. Anexos.....</b>	<b>45</b>

## Índice de Ilustraciones

<b>Ilustración 1. Racores de anillo cortante.</b> .....	16
<b>Ilustración 2. Racor con anillo de sujeción.</b> .....	16
<b>Ilustración 3. Racor con borde recalcado.</b> .....	17
<b>Ilustración 4. Racor especial con reborde.</b> .....	17
<b>Ilustración 5. Compresor K100.</b> .....	18
<b>Ilustración 6. Compresor de Paletas.</b> .....	20
<b>Ilustración 7. Compresor de Tornillo.</b> .....	20
<b>Ilustración 8. Compresor Rooths.</b> .....	21
<b>Ilustración 9. Costos de Aire Comprimido.</b> .....	26
<b>Ilustración 10. Rentabilidad de las medidas en las distintas áreas del sistema de aire comprimido.</b> .....	27
<b>Ilustración 11. Diagrama de un sistema de aire comprimido.</b> .....	28
<b>Ilustración 12. Distribución de la demanda de aire comprimido.</b> .....	28
<b>Ilustración 13. Deltapilot S.</b> .....	32
<b>Ilustración 14. Punto de Distribución.</b> .....	33

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1. Compuestos del Aire Atmosférico.....</b>	<b>7</b>
<b>Tabla 2. Valores para las cinco constantes para las ecuaciones de estado de Beattie-Bridgeman.....</b>	<b>11</b>
<b>Tabla 3. Valores de las ocho constantes para la ecuación de estado de Benedict-Webb-Rubin.....</b>	<b>11</b>
<b>Tabla 4. Precios del Kilowatt Hora (kWh) en Honduras.....</b>	<b>25</b>
<b>Tabla 5. Cronograma de Actividades.....</b>	<b>31</b>
<b>Tabla 6. Monitoreo de Aire Comprimido.....</b>	<b>34</b>
<b>Tabla 7. Grafica de 1era Semana de Monitoreo.....</b>	<b>35</b>
<b>Tabla 8. Grafica de 2da Semana de Monitoreo.....</b>	<b>36</b>
<b>Tabla 9. Grafica de 3era Semana de Monitoreo.....</b>	<b>37</b>
<b>Tabla 10. Resultados Primera Semana de Monitoreo.....</b>	<b>37</b>
<b>Tabla 11. Resultados Segunda Semana de Monitoreo.....</b>	<b>38</b>
<b>Tabla 12. Resultados Tercera Semana de Monitoreo.....</b>	<b>38</b>
<b>Tabla 13. Presupuesto del Proyecto.....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

## Índice de Ecuaciones

<b>Ecuación 1. Ecuación de Estado de Vander Waals.....</b>	<b>10</b>
<b>Ecuación 2. Ecuación de Estado Beattie – Bridgeman.....</b>	<b>10</b>
<b>Ecuación 3. Ecuación de Estado Benedict – Webb – Rubin.....</b>	<b>11</b>
<b>Ecuación 4. Presión.....</b>	<b>13</b>

## Glosario

- **Actuadores** Elementos electromecánicos externos al autómata que ejecutan las órdenes dadas por él y que se conectan a las tarjetas de salida.
- **Autómata programable PLC** Programmable Logic Controller, (por sus siglas en inglés). Es un equipo electrónico, programable en lenguaje no informático, diseñado para controlar en tiempo real y en ambiente de tipo industrial, procesos secuenciales.
- **Automatización** Uso de sistemas o elementos computarizados para controlar maquinarias y/o procesos industriales sustituyendo a operadores humanos.
- **Capacitancia** Parámetro del capacitor que indica la capacidad de almacenamiento de carga que éste tiene y su unidad es el faradio.
- **Compresor** Máquina motora, que trabaja entregándole energía a un fluido compresible. Esta energía es adquirida por el fluido en forma de energía cinética y presión (energía de flujo).
- **Demanda** Potencia en kilovatios promediada en un intervalo de tiempo estipulado, normalmente cada quince minutos, es un término que indica la potencia media.  
**Demanda máxima** Valor más alto de demanda registrado por los demandómetros y es el valor que se tomará de referencia para la facturación del proveedor de energía eléctrica.
- **Electroválvula** Elemento de control que abre o cierra el paso de un fluido accionado por la excitación eléctrica de una bobina.
- **Estator** Parte fija de un motor dentro de la cual gira el rotor o eje.
- **Impedancia** Oposición que presenta un componente o sistema al paso de corriente alterna.
- **Kilovatio** Unidad de medida del trabajo efectuado por unidad de tiempo es equivalente a mil vatios.
- **Kilovatio hora** Expresión del trabajo como el producto de potencia y tiempo, unidad de medida de energía, que equivale XVII al trabajo desarrollado por una potencia de un kilovatio en una hora.
- **KVA** Dimensional de la potencia eléctrica aparente dada en voltios-amperios y con exponente número 3.
- **KVAR** Dimensional de la potencia eléctrica reactiva dada en voltios-amperios-resistencia y con exponente número 3.
- **Motor eléctrico** Máquina eléctrica que transforma energía eléctrica en energía mecánica por medio de interacciones electromagnéticas.
- **Neumática** Disciplina que trata los procesos y aplicaciones de aire comprimido para realizar trabajos mecánicos y de control.
- **Potencia** Cantidad de trabajo efectuado por unidad de tiempo.

- **Presión** Magnitud física que mide la fuerza por unidad de superficie y sirve para caracterizar una determinada fuerza resultante sobre una superficie.
- **Retroalimentación** Modo de control que se basa en tomar mediciones de la variable controlada continuamente y tomar XIX estas mediciones para envíasalas al PLC, para que este compare el valor de la variable controlada con el set point, y tome decisiones para actuar sobre la variable manipulada, en sistemas de control este término también se le conoce como feedback.
- **Rotor** Componente que gira (rota) en una máquina eléctrica, sea ésta un motor o un generador eléctrico
- **Set Point** Valor deseado al que queremos mantener la variable controlada.
- **Sistema de control** Conjunto de componentes que regulan el comportamiento de un sistema (o de sí mismos) para lograr un objetivo.
- **Software** Término genérico que se aplica a los componentes de un sistema informático que no son tangibles o físicos. Corresponde a los programas escritos por el usuario o por otras personas.

## I. Introducción

Según Vaillant (2010) la automatización industrial permite aumentar la producción, mejorar la calidad, la reducción de los costos y personal, cumplir con los requisitos medioambientales, etc. La automatización se ha entendido como una tecnología en la cual se aplican los sistemas mecánicos, electrónicos y computarizados, con el fin de operar y controlar la producción, de bienes físicos de consumo, además involucra una gran variedad de sistemas y procesos que se ejecutan con mínima o ninguna intervención del ser humano.

La carrera de mecatrónica es una carrera bastante amplia en cuanto a la parte de ingeniería, ya que esta consta de una mezcla de diversas ramas de la ingeniería. El estudiar mecatrónica tiene sus ventajas con lo mencionado anteriormente ya que como no es una carrera específica y centrada en una sola rama, los profesionales al terminar esta carrera pueden tomar la dirección que ellos prefieran como lo podría ser la parte de programación, la parte mecánica o una parte más a fondo y específica como lo es la electrónica, entre otras.

Muchas veces los profesionales son contratados en empresas y estos no corren con la suerte de poder laborar en el área que estudiaron y esta viene siendo una de las ventajas de mecatrónica ya que a lo largo de la carrera se estudian diferentes áreas de la ingeniería. En este caso para el proyecto de graduación se propuso en la empresa Lácteos de Honduras (Lactosa) el cual consta en una de las partes más amplias y reforzadas de la carrera, la automatización.

La automatización hoy en día viene siendo uno de los proyectos más concurridos por las empresas ya que el objetivo principal de esta técnica viene siendo el agilizar un proceso para reducir tiempo y costo de producción. En este caso se presenta el mejorar el sistema de aire comprimido de la empresa Lácteos de Honduras que actualmente funciona bien y hasta cierto punto abastece la empresa en casi todas las áreas. Este recurso tan importante es esencial en la empresa y uno de los más caros debido a su alto consumo de energía eléctrica para poder obtenerlo. Este recurso ayuda bastante a la empresa en la parte de

producción debido a la gran cantidad de maquinaria basadas en la neumática que se pueden encontrar, desde poner tapaderas a un bote de jugo hasta su empaquetamiento.

A lo largo de este documento se ira explicando poco a poco las actividades realizadas para este proyecto de graduación. Se aclararán las actividades realizadas y lo problemas encontrados durante el proyecto para su realización. Cabe mencionar que este sistema consta con una pequeña mejora para los compresores donde se pueden controlar y monitorear la cantidad de presión generada por los compresores. Se podría decir que este proyecto esta semiautomatizado y esta es la razón del por el cual se propuso este proyecto, la empresa tiene como objetivo automatizar por completo este sistema para un mejor rendimiento y se buscaba a alguien que les presentara una idea y una solución ya que se ha cotizado con empresas encargadas de proyectos para poder automatizar por completo este sistema y sus costos vienen siendo demasiado elevados.

## **II. Planteamiento del Problema**

### **2.1 Antecedentes**

Lácteos de Honduras es una empresa comprometida con su trabajo en la elaboración de diferentes productos como lo son los lácteos y sus derivados, jugos, agua, entre otros. Pero para la elaboración de todos estos productos que conocemos, hay todo un proceso riguroso.

El aire comprimido es uno de los recursos de dicho proceso de elaboración y podríamos decir que uno de los más influyentes.

El sistema de aire comprimido de la empresa ha cambiado bastante en los últimos años para su optimización. Este recurso estuvo trabajando anteriormente con seis compresores de aire que abastecían la demanda de este recurso, pero debido a problemas técnicos con dichos compresores y con sus proveedores la cantidad de compresores dentro de la planta iba variando.

El día de hoy este recurso consta con cinco compresores en operación, una secadora de aire, otra secadora de aire en planes de instalación y tanques pulmones que almacenan

aire en caso de una falla con el objetivo de alargar el proceso para poder detener de manera adecuada la maquinaria. Este sistema se encuentra semiautomatizado que funciona detectando la demanda que se está generando y mediante eso el sistema determina si apagará o encenderá un compresor para abastecer dicha demanda. Este sistema se implementa para reducción de altos costos energéticos.

## **2.2 Definición del Problema**

El sistema de aire comprimido de Lacthosa es bastante complejo y completo en cuanto a su funcionamiento, pero se tiene un problema en cuanto al monitoreo del aire que se suministra a las diferentes plantas ya que solo se muestra el aire que se está generando y en algunas maquinas se tienen manómetros para medir la cantidad de PSI que les está llegando, pero recordemos que se tienen otros equipos o puntos a los cuales se les puede anexar una manguera y eso no se monitorea. Muchas veces el sistema consta con fugas y esto es gran inconveniente ya que se genera más aire del necesario y esto genera gastos innecesarios.

El no tener monitoreado lo que se distribuye de aire puede hacer que muchas veces los problemas de fugas y de gasto innecesario de aire sean más difíciles de detectar, esto lo que logra es parar procesos y alargar el tiempo de búsqueda del problema no tan complicado, pero el tener mejor monitoreo de este recurso ayudaría a detectar los problemas de una manera más rápida y eficiente para poder continuar con el trabajo.

## **2.3 Preguntas de Investigación**

- ¿Cuál es la demanda que se tiene de aire comprimido en la empresa?
- ¿Qué área es la que mayor demanda tiene de aire comprimido?
- ¿Qué solución se puede proponer para mejorar el rendimiento de este recurso?

## **2.4 Objetivos**

### **2.4.1 Objetivos Generales**

- Proponer una mejora de automatización al sistema de aire comprimido de la empresa Lácteos de Honduras (Lacthosa) para mejorar la eficiencia de este recurso.

### **2.4.2 Objetivos Específicos**

- Estimar la demanda de aire comprimido de la empresa.
- Seleccionar el equipo más adecuado y óptimo para propuesta de mejora en la automatización del aire comprimido.
- Establecer la ubicación de instalación del equipo para la medición del aire comprimido.

## **2.5 Justificación**

El aire comprimido es un recurso bastante fácil de conseguir e infinito a la hora de obtener, pero esto no justifica que por esas dos cualidades se debe de descuidar este recurso tan importante.

Hay que tomar en cuenta que este es un recurso a pesar de que es infinito y fácil de conseguir tiene costos muy elevados a la hora de su generación. Muchas veces por falta de monitoreo se pueden estar gastando miles de lempiras innecesariamente.

El poder tener monitoreado cuanto aire comprimido se le está suministrando a cada área ayudaría a detectar fallas de manera más rápida y eficiente, para así no tener que alargar más de lo necesario algunos paros inesperados que se puedan presentar y que muchas veces pueden ser causas leves, pero por falta de información y monitoreo se vuelven paros largos y tediosos que pueden terminar en paros de producción en el peor de los escenarios.

## **2.6 Marco Contextual**

En el siguiente informe se utilizan tres componentes principales, un sensor medidor de presión para saber la cantidad de presión que pasa por él, un autómata programable PLC

para mandar esta información y una pantalla en la cual estos valores sean reflejados, todo esto para poder tener un control de la distribución de aire comprimido en las diferentes áreas de la empresa y así poder detectar el lugar de la falla de una manera más rápida.

En este proyecto se pueden encontrar componentes como compresores de aire, tanques de reserva, válvulas y la tubería que se necesita para el aire comprimido. Otro factor importante que podemos encontrar es el gasto energético que tiene el generar el aire comprimido.

### **III. Marco Teórico**

El presente informe contiene sustento teórico del proyecto. Este define la importancia de los diferentes recursos que pueden poseer las empresas para su funcionamiento, pero nos enfocaremos específicamente en el aire comprimido para este proyecto que se elaboró.

#### **3.1 Aire Comprimido**

El aire comprimido es una aplicación de técnicas que hace uso de aire que ha sido sometido a presión por medio de un compresor. En la mayoría de aplicaciones, el aire no solo se comprime, sino que también desaparece la humedad y se filtra. El uso del aire comprimido es muy común en la industria, tiene la ventaja sobre los sistemas hidráulicos de ser más rápido, aunque es menos preciso en el posicionamiento de los mecanismos y no permite fuerzas grandes.

##### **3.1.1 Antecedentes**

Las características básicas de la neumática esta entre los más antiguos conocimientos de la humanidad, no fue sino hasta el siglo pasado cuando empezó a investigarse sistemáticamente su comportamiento y sus reglas. Desde aproximadamente 1950, se puede hablar de una verdadera aplicación industrial de la neumática en los procesos de fabricación. A pesar de que esta técnica fue rechazada en un inicio, debido en la mayoría de los casos a falta de conocimiento y de formación, fueron ampliándose los diversos sectores de aplicación.

En la actualidad, ya no se concibe una moderna explotación industrial sin el aire comprimido. Este es el motivo por el cual en los ramos industriales más variados se utilizan aparatos neumáticos cuya alimentación continua y adecuada de aire garantizará el exitoso y eficiente desempeño de los procesos involucrados en la producción.

El diseño y mantenimiento adecuado de redes de aire comprimido y sus respectivos accesorios, juega un papel decisivo en los procesos productivos involucrados cuya energía utilizada es el aire. (Córdoba Ramírez, 2016, p. 32)

### 3.2 Aire

Se denomina aire a la mezcla de gases que forma la atmósfera terrestre, sujetos alrededor de la Tierra por la fuerza de gravedad. El aire es esencial para la vida en el planeta, es particularmente delicado y está compuesto en proporciones ligeramente variables. El aire limpio y puro forma una capa de aproximadamente 500 000 millones de toneladas que rodea la Tierra, su composición consta de catorce elementos y una concentración aproximada en la atmosfera los cuales son los siguiente:

**Tabla 1. Compuestos del Aire Atmosférico.**

<b>Componente</b>		<b>Concentración aproximada</b>
<b>1. Nitrógeno</b>	(N)	78.03% en volumen
<b>2. Oxígeno</b>	(O)	20.99% en volumen
<b>3. Dióxido de carbono</b>	(CO <sub>2</sub> )	0.03% en volumen
<b>4. Argón</b>	(Ar)	0.94% en volumen
<b>5. Neón</b>	(Ne)	0.00123% en volumen
<b>6. Helio</b>	(He)	0.0004% en volumen
<b>7. Criptón</b>	(Kr)	0.00005% en volumen
<b>8. Xenón</b>	(Xe)	0.000006% en volumen
<b>9. Hidrógeno</b>	(H)	0.01% en volumen
<b>10. Metano</b>	(CH <sub>4</sub> )	0.0002% en volumen
<b>11. Óxido nitroso</b>	(N <sub>2</sub> O)	0.00005% en volumen
<b>12. Vapor de agua</b>	(H <sub>2</sub> O)	Variable
<b>13. Ozono</b>	(O <sub>3</sub> )	Variable
<b>14. Partículas</b>		Variable

Fuente: (Fisic, 2017)

En el sector industrial, el aire es utilizado a diferentes niveles de presión y temperatura, requiriendo equipamientos para su purificación, compresión y control de temperatura.

El aire, como todo gas, si lo encerramos en un recipiente tiende a expandirse, hasta llenar completamente el recipiente en el que se encuentra. Si este recipiente se abre, el aire tiende a seguir expandiéndose y escapa del contenedor, de igual forma si el volumen de este recipiente lo hacemos disminuir el gas ocupara un volumen más pequeño aumentando su presión interna, a esta propiedad se le conoce como compresibilidad.

La compresibilidad es una propiedad de la materia a la cual se debe que todos los cuerpos disminuyan de volumen al someterlos a una presión o compresión determinada manteniendo constantes otros parámetros.

### **3.2.1 Propiedades físicas del aire**

A continuación, se presentan características propias del aire para el manejo del mismo.

- a) Expansión: aumento de volumen de una masa de aire al verse reducida la presión ejercida por una fuerza o debido a la incorporación de calor.
- b) Contracción: reducción de volumen del aire al verse presionado por una fuerza, pero este llega a un límite y el aire tiende a expandirse después de ese límite.
- c) Fluidez: es el flujo de aire de un lugar de mayor a menor concentración sin gasto de energía.
- d) Presión atmosférica: fuerza que ejerce el aire a todos los cuerpos.
- e) Volumen: es el espacio que ocupa el aire.
- f) Densidad: es de  $1.18 \cdot 10^{-3} \text{ g/cm}^3$
- g) Propiedades de la mezcla Psicrometría.

### **3.2.2 Aire como Gas Ideal**

El estado gaseoso es un estado disperso de la materia, es decir, que las moléculas del gas están separadas unas de otras por una distancia mucho mayor que el tamaño real de las moléculas. El volumen que ocupa el gas depende entonces de la presión y la temperatura a la que está sometido y del número de moles que conforman el gas.

El aire cumple con las propiedades necesarias para que su comportamiento pueda considerarse como el de un gas ideal, a continuación, se presentan esas características:

- a) El aire se adapta a la forma y el volumen del depósito que lo contiene, al cambiar el contenedor el aire se comprime o se expande de manera que ocupa todo el volumen y toma la forma de su contenedor.
- b) Se deja comprimir fácilmente, ya que al existir grandes espacios entre sus moléculas estas pueden acercarse unas a otras reduciendo su volumen cuando aplicamos presión, a lo cual se le llama compresión de aire.
- c) El aire se difunde con facilidad, al no existir fuerza de atracción intermolecular en sus partículas, se esparce de manera espontánea.
- d) El aire también se dilata, y la energía cinética promedio de sus moléculas es directamente proporcional a la temperatura aplicada.

(Çengel & Boles, 2012)

### **3.3 Leyes de los Gases**

- *Ley de Boyle*: la presión de una cantidad fija de un gas a una temperatura constante es inversamente proporcional al volumen del gas.
- *Ley de Charles*: a una presión constante el volumen de una masa de gas varía con la temperatura absoluta.
- *Ley de Gay-Lussac*: a un volumen constante la presión de un gas es directamente proporcional a la temperatura.
- *Ley de Avogadro*: establece la relación entre la cantidad de gas y su volumen cuando se mantienen constantes la temperatura y la presión. Esta ley indica que el volumen es directamente proporcional a la cantidad de gas que se encuentra en un recipiente.
- *Ley Combinada de los gases*: con las leyes vistas anteriormente podemos llegar a la ley de los gases que podemos conocer la forma como cambia el volumen, la presión o la temperatura cuando conocemos el calor del estado inicial de las tres variables y el valor de dos de las tres variables de estado.

(Chang, 2010)

### 3.4 Ecuaciones de Estado

Çengel & Boles (2015) Afirma: "Cualquier ecuación que relacione la presión, la temperatura y el volumen específico se le denomina ecuación de estado" (p.135).

#### 3.4.1 Ecuación de Estado de Vander Waals (VDW)

Propuesta en 1873, tiene en cuenta las fuerzas de atracción intermoleculares, que no se tienen en cuenta en el modelo de gas ideal, la ecuación de Van de Waals toma en cuenta el volumen que ocupan las moléculas del gas, estas consideraciones se traducen en dos constantes que dependen de las propiedades críticas, el término  $A/v^2$  toma en cuenta las fuerzas intermoleculares y el volumen que ocupan las moléculas del gas. Si tomamos el volumen del recipiente que contiene las moléculas del gas del tamaño de un salón de clases a la presión atmosférica, el volumen ocupado por las moléculas es muy pequeño comparado con el volumen de dicho recipiente que lo contiene, sí aumentamos la presión cada vez más importante que el volumen total (ver Ecuación 1).

$$\left(P + \frac{a}{v^2}\right)(v - b) = RT$$

#### Ecuación 1. Ecuación de Estado de Vander Waals.

(Díaz, 2015)

Propuesta en 1928, ecuación basada en cinco constantes determinadas en forma experimental (ver Ecuación 2).

$$P = \frac{RvT}{v} \left(1 - \frac{c}{vT^3}\right) (v + B) - \frac{A}{v^2}$$

#### Ecuación 2. Ecuación de Estado Beattie – Bridgeman.

(Díaz, 2015)

La Tabla 2 muestra las cinco constantes de la Ecuación 2.

**Tabla 2. Valores para las cinco constantes para las ecuaciones de estado de Beattie-Bridgeman.**

Cuando se tiene kPa, mol y Kelvin

gas	$A_0$	$a (10^{-2})$	$B_0(10^{-2})$	$b$	$C (10^4)$
Aire	131,8441	1,931	4,611	-0,001101	4,34
Argon, Ar	130,7802	2,328	3,931	0,0	5,99
Dióxido de carbono, CO <sub>2</sub>	507,2836	7,132	10,476	0,07232	6,60
Helio, He	2,1886	5,984	1,4	0,0	0,004
Hidrógeno, H <sub>2</sub>	20,0117	-0,506	2,096	-0,04359	0,0504
Nitrógeno	136,231	2,617	5,046	-0,00691	4,20
Oxígeno	151,0857	2,562	4,624	0,004208	4,80

Fuente: Gordon J Van Wylen y Richard Sonntag, Fundamentals of Classical Thermodynamics 6th Edition

### 3.4.3 Ecuación de Estado Benedict – Webb – Rubin (BWR)

Estos tres autores (BWR) en 1940 extienden la ecuación de Beattie – Bridgeman (ver Ecuación 3 y Tabla 3).

$$P = \frac{RuT}{v} \left( B_0 RuT - A_0 - \frac{c_0}{T^2} \right) \frac{1}{v^2} + \frac{bRuT - a}{v^3} + \frac{a}{v^3} + \frac{c}{v^3 T^2} + \left( 1 + \frac{y}{v^2} \right) e^{-y/v^2}$$

**Ecuación 3. Ecuación de Estado Benedict – Webb – Rubin.**

(Díaz, 2015)

**Tabla 3. Valores de las ocho constantes para la ecuación de estado de Benedict-Webb-Rubin.**

gas	$a$	$A_0$	$b$	$B_0$	$c (10^4)$	$C_0 (10^7)$	$\alpha (10^{-4})$	$\gamma$
N-Butano, C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	190,68	1021,6	0,039998	0,12436	3205	10,06	11,01	0,0340
Dióxido de Carbono, CO <sub>2</sub>	13,86	277,30	0,007210	0,04991	151,1	1,404	0,8470	0,00539
Monóxido de carbono, CO	3,71	135,87	0,002632	0,05454	10,54	0,08673	1,350	0,0060
Metano, CH <sub>4</sub>	5,00	187,91	0,003380	0,04260	25,78	0,02688	1,244	0,0060
Nitrógeno, N <sub>2</sub>	2,54	106,73	0,002328	0,04074	7,379	0,8164	1,272	0,0053

Fuente: Wark, K., & Richards, D. E. (2001). *Termodinámica*. Madrid [España]: McGraw-Hill

### **3.5 Aire Comprimido**

“El diseño de los sistemas neumáticos consume aire comprimido que debe estar disponible en una presión y en un caudal suficiente para la necesidad de la instalación.

El grupo de aire consta de un compresor, un depósito y un secador de aire. El circuito de utilización se compone de la toma de aire, una purga automática, una red de tuberías con la pendiente adecuada y un filtro regulador de presión y un lubricador en cada equipo consumidor de aire.” (Creus Sole, 2014, p. 297)

#### **3.5.1 Propiedades del Aire Comprimido**

Las principales propiedades del aire comprimido que llaman la atención de la industria son:

- a) Abundante: está disponible para su compresión prácticamente en todo el mundo, en cantidades ilimitadas.
- b) Transporte: el aire comprimido puede ser fácilmente transportado por tuberías, incluso a grandes distancias. No es necesario disponer tuberías de retorno.
- c) Almacenable: no es preciso que un compresor permanezca continuamente en servicio. El aire comprimido puede almacenarse en depósitos y tomarse de éstos. Además, se puede transportar en recipientes (botellas).
- d) Antideflagrante: no existe ningún riesgo de explosión ni incendio; por lo tanto, no es necesario disponer instalaciones antideflagrantes, que son caras.
- e) Limpio: el aire comprimido es limpio, en caso de faltas de estanqueidad en elementos, no produce ningún ensuciamiento. Esto es importante, por ejemplo, en las industrias alimenticias, de la madera, textiles y del cuero.
- f) Constitución de los elementos: la concepción de los elementos de trabajo es simple, por lo tanto, precio económico.

- g) Velocidad: es un medio de trabajo muy rápido, por eso, permite obtener velocidades de trabajo muy elevadas. (La velocidad de trabajo de cilindros neumáticos pueden regularse sin escalones.)
- h) A prueba de sobrecargas: las herramientas y elementos de trabajo neumáticos pueden hasta su parada completa sin riesgo alguno de sobrecargas.

(Parker Hannifin Corporation, 2003)

### **3.6 Presión**

(Bhattacharjee, 2016) Afirma: " La presión es,  $p$ , es la fuerza de compresión absoluta ejercida por un fluido por unidad de área en la dirección vertical sobre una superficie" (p.45).

Cuando sobre una superficie plana de área  $A$  se aplica una fuerza normal  $F$  de manera uniforme y perpendicular a la superficie la presión  $P$  viene dada por la Ecuación 4.

$$P = \frac{F}{A}$$

#### **Ecuación 4. Presión.**

(Bhattacharjee, 2016)

La presión es uno de los parámetros que definen un sistema de aire comprimido, es el parámetro que normalmente medimos en los puntos de producción, distribución y uso.

En el sistema internacional de unidades la presión se mide en una unidad derivada que se denomina pascal (Pa) que es equivalente a una fuerza total de un newton actuando uniformemente en un metro cuadrado. En los sistemas de aire más comúnmente utilizados en el área nacional, la unidad de medida usada para la presión es la libra por pulgada cuadrada (PSI). Es común también que los equipos que normalmente utilizamos vienen diseñados para rangos de presión definidos en libras por pulgada cuadrada, incluso es más utilizada la unidad PSI que las unidades del SI, el pascal, u otras unidades.

La presión está íntimamente relacionada con la fuerza de trabajo que puede ejercer el aire comprimido al ser liberado, esto es aplicación directa en la superficie de trabajo de un elemento cilindro pistón, por ejemplo. Además de la ley de gases ideales nosotros sabemos que la presión y el peso específico del aire están relacionados con la fuerza de trabajo que puede ejercer el aire comprimido al ser liberado dependiendo de la cantidad de aire que está fluyendo y la temperatura de trabajo.

### **3.6.1 Propiedades de la Presión**

- a) La presión en un punto de un fluido en reposo es igual en todas las direcciones (principio de Pascal).
- b) La presión en todos los puntos situados en un mismo plano horizontal en el seno de un fluido en reposo (y situado en un campo gravitatorio constante) es la misma.
- c) En un fluido en reposo la fuerza de contacto que ejerce en el interior del fluido una parte de este sobre la otra es normal a la superficie de contacto
- d) La fuerza asociada a la presión en un fluido ordinario en reposo se dirige siempre hacia el exterior del fluido, por lo que debido al principio de acción reacción, resulta en una compresión para el fluido, jamás una tracción.
- e) La superficie libre de un líquido en reposo (y situado en un campo gravitatorio constante) es siempre horizontal. Eso es cierto sólo en la superficie de la Tierra y a simple vista, debido a la acción de la gravedad no es constante. Si no hay acciones gravitatorias, la superficie de un fluido es esférica y, por tanto, no horizontal.
- f) En los fluidos en reposo, un punto cualquiera de una masa líquida está sometida a una presión en función únicamente de la profundidad a la que se encuentra el punto. Otro punto a la misma profundidad, tendrá la misma presión. A la superficie imaginaria que pasa por ambos puntos se llama superficie equipotencial de presión o superficie isobárica.

(Rolle, 2006)

### **3.6.2 Velocidad de Circulación**

“El caudal de aire comprimido es una magnitud que se determina según la necesidad. La velocidad de circulación y la caída de presión se hallan en relación directa, porque cuando mayor es la velocidad de circulación, mayor es la de caída de presión hasta el punto que toma de la tubería. La velocidad de circulación puede estar comprendida entre 6 a 10 m/s, debiéndose utilizar un valor por debajo de los 10m/s, para así compensar los aumentos de velocidad producidos en algunas estrangulaciones y por la demanda de grandes consumidores.” (Carnicer Royo, 2006, p. 253)

### **3.7 Material de Tubería**

#### **3.7.1 Tubería Principal**

Para la elección de los materiales brutos, tenemos diversas opciones como:

- a) Cobre tubo de acero negro
- b) Latón tubo de acero galvanizado
- c) Acero fino plástico

Las tuberías deben poderse desarmar fácilmente, ser resistentes a la corrosión y de precio módico. Las tuberías que se instalen de modo permanente se montan preferentemente con uniones soldadas. Estas tuberías así unidas son estancadas y, además de precio económico. El inconveniente de estas uniones consiste en que al soldar se producen cascarillas que deben retirarse de las tuberías. De la costura de soldadura se desprenden también fragmentos de oxidación; por eso, es necesario incorporar una unidad de mantenimiento.

En las tuberías de acero galvanizado, los empalmes de rosca no siempre son totalmente herméticos. La resistencia a la corrosión de estas tuberías de acero no es mucho mejor que la del tubo negro. Los lugares desnudos (rosca) también se oxidan, por lo que también en este caso es importante emplear unidades de mantenimiento. Para casos especiales se montan tuberías de cobre o plástico.

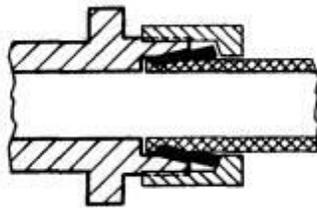
(Asahi American, 2014)

### 3.7.2 Derivación Hacia Los Receptores

Los tubos flexibles de goma solamente han de emplearse en aquellos casos en que se exija una flexibilidad en la tubería y no sea posible instalar tuberías de plástico por los esfuerzos mecánicos existentes. Son más caros y no son tan manipulables como las tuberías de plástico. Las tuberías de polietileno y poliamida se utilizan cada vez más en la actualidad para unir equipos de maquinaria. Con racores rápidos se pueden tender de forma rápida, sencilla y económica.

### 3.7.3 Uniones

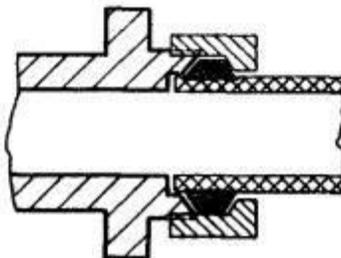
Los siguientes modelos son de uso común en la neumática basados básicamente en los modelos Festo. Para los racores de anillos cortantes de tubería tenemos de ejemplo la Ilustración 1.



**Ilustración 1. Racores de anillo cortante de tubería para aire.**

Fuente: (Asahi American, 2014)

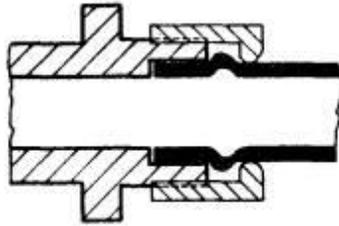
El empalme puede soltarse y unirse varias veces (ver Ilustración 2).



**Ilustración 2. Racor con anillo de sujeción de tubería para aire.**

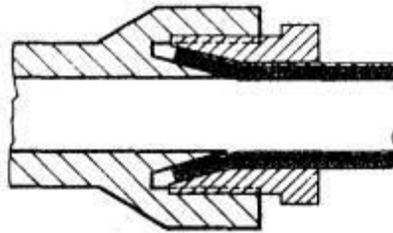
Fuente: (Asahi American, 2014)

Para los tubos de acero y cobre, con anillo interior especial también para tubos de plástico (ver Ilustración 3 y 4).



**Ilustración 3. Racor con borde recalcado de tubería para aire.**

Fuente: (Asahi American, 2014)



**Ilustración 4. Racor especial con reborde de tubería para aire.**

Fuente: (Asahi American, 2014)

### **3.8 Compresores**

(Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental, 2015) Afirma: “Los 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.”

El otro trabaja según el principio de la dinámica de los fluidos. El aire es aspirado por un lado y comprimido como consecuencia de la aceleración de la masa (turbina). Un ejemplo de los compresores de Lactosa lo podemos encontrar en la Ilustración 5.



**Ilustración 5. Compresor de aire, marca Kaeser, modelo 100.**

Fuente: (Cuarto de Máquinas Lacthosa)

### **3.8.1 Compresores de Embolo.**

Este compresor aspira el aire a la presión atmosférica y luego lo comprime. Se compone de las válvulas de admisión y escape, émbolo y biela-manivela. Admisión: El árbol gira en el sentido del reloj. La biela desciende el émbolo hacia abajo y la válvula de admisión deja entrar aire 10° después del punto muerto superior, hasta el punto muerto inferior. Escape: En el punto muerto inferior la válvula se cierra, y al ascender el émbolo se comprime el aire. Bajo el efecto de la presión, se abre y circula el aire comprimido hacia el consumidor.

(Atlantic International University, 2015)

### **3.8.2 Compresor de Embolo de dos Etapas.**

El movimiento molecular, provoca una elevación de la temperatura: Ley de transformación de la energía. Si se desean obtener presiones mayores es necesario disminuir la temperatura. En este tipo de compresores existe una cámara de enfriamiento del aire antes de pasar a la segunda compresión.

(Atlantic International University, 2015)

### **3.8.3 Compresor de Embolo, de dos Etapas, Doble Acción.**

La compresión se efectúa por movimiento alternativo del émbolo. El aire es aspirado, comprimido, enfriado y pasa a una nueva compresión para obtener una presión y rendimiento superior.

(Atlantic International University, 2015)

### **3.8.4 Compresor de Embolo con Membrana.**

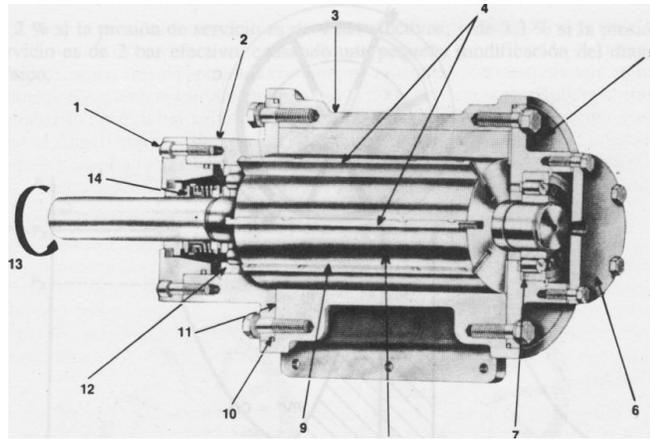
El funcionamiento es similar al del compresor de émbolo. La aspiración y compresión la realiza la membrana, animada por un movimiento alternativo. El interés de este compresor radica en la ausencia de aceite en el aire impulsado por este tipo.

(Atlantic International University, 2015)

### **3.8.5 Compresor Radial de Paletas.**

Un rotor excéntrico, dotado de paletas gira en un alojamiento cilíndrico. La estanqueidad en rotación se asegura por la fuerza centrífuga que comprime las paletas sobre la pared. La aspiración se realiza cuando el volumen de la cámara es grande y resulta la compresión al disminuir el volumen progresivamente hacia la salida. Pueden obtenerse presiones desde 200 a 1000 kPa (2 a 10 bares), con caudales entre 4 y 15 m<sup>3</sup>/min (ver Ilustración 6).

(Atlantic International University, 2015)



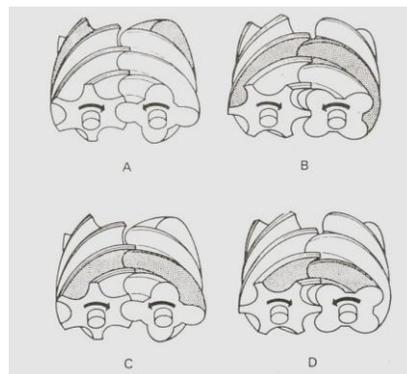
**Ilustración 6. Compresor de paletas, marca Blade, modelo 15.**

Fuente: (Carnicer Royo, 1977)

### **3.8.6 Compresor de Tornillo.**

La aspiración y la compresión se efectúan por dos tornillos, uno engrana en el otro. La compresión se realiza axialmente. Pueden obtenerse a presiones de 1000kPa (10 bares) caudales entre 30 a 170 m<sup>3</sup>/min (ver Ilustración 7).

(Atlantic International University, 2015)



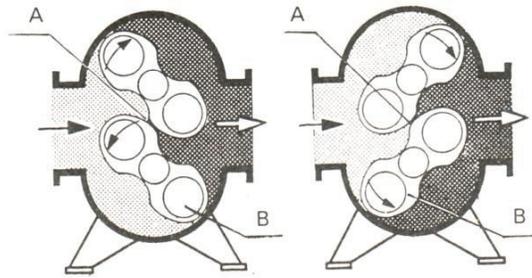
**Ilustración 7. Compresor de tornillo, marca NUAIR, modelo mercury.**

Fuente: (Carnicer Royo, 1977)

### **3.8.7 Compresor Roots.**

Dos llaves que giran en sentido inverso encierran cada vuelta un volumen de aire entre la pared y su perfil respectivo. Este volumen de aire es llevado al fin del giro a la presión deseada (ver Ilustración 8).

(Atlantic International University, 2015)



**Ilustración 8. Compresor Roots marca IR, modelo 75.**

Fuente: (Carnicer Royo, 1977)

### **3.8.8 Turbo Compresor.**

Este tipo de compresor es una turbina de tres etapas. El aire es aspirado, y su presión se eleva en cada etapa 1.3 veces aproximadamente.

(Atlantic International University, 2015)

### **3.8.9 Turbo Compresor Radial.**

El aire aspirado axialmente es introducido a una velocidad muy alta. La compresión tiene lugar radialmente. Este tipo de compresor es recomendable cuando se desean grandes caudales. Entre las diferentes etapas hay que tener previsto las cámaras de enfriamiento.

(Atlantic International University, 2015)

### **3.8.10 Turbo Compresor Axial.**

Este tipo de compresor funciona con el principio del ventilador. El aire es aspirado e impulsado simultáneamente. Las presiones son muy bajas, pero los caudales pueden ser muy elevados.

(Atlantic International University, 2015)

### 3.9 Depósito de Aire

Toda instalación de aire comprimido dispone de un depósito de aire a presión entre el compresor y la red de distribución, procurando evitar las distancias largas entre el compresor y el depósito. La función de los depósitos de aire es:

- a) Amortiguar las pulsaciones del caudal de aire salido de los compresores alternativos.
- b) Hacer frente a las demandas puntas de caudal sin que se provoquen caídas de presión.
- c) Adaptar el caudal de salida del compresor al consumo de aire en la red.

No se debe confundir un depósito con una fuente de energía por aire, pues, cuando el depósito actúa de acumulador (si se dispone de reserva de aire suficiente), es para atender a una demanda de aire instantánea y nunca para suministrar aire continuamente. Tampoco es recomendable conectar varios compresores a un solo depósito. Lo que sí es conveniente, en muchas circunstancias, es instalar uno o más recipientes adicionales después del depósito principal.

Si el depósito se coloca cerca del compresor sin refrigerador posterior, e incluso así, interviene como un paso más en el enfriamiento del aire, recibiendo una emulsión de aceite con agua, que deberá ser evacuada por un drenado, sea éste continuo o periódico. Debemos tener en mente que las paredes de los depósitos se calientan sufriendo una alteración acelerada por el contacto íntimo con el aire a presión y las altas temperaturas. Esta oxidación produce un calor que, bajo ciertas condiciones, puede llegar a no disiparse totalmente, dando lugar a la combustión espontánea de la masa combustible y del aerosol aceite-aire. Este incendio puede dar origen a una explosión de consecuencias lamentables.

La fabricación de los depósitos de aire comprimido tiene que llevarse a cabo atendiendo al Reglamento Español de recipientes a presión, de fecha 16 de agosto de 1969, y cumpliendo las normas de seguridad indicadas en las Ordenanzas Españolas de Seguridad, pues están sujetos a inspecciones periódicas obligatorias.

Los depósitos de aire comprimido son horizontales o verticales, se construye en chapa de acero y consta de dos fondos repujados con convexidad exterior. Los fondos son generalmente embutidos y tienen forma de bóveda esférica; van unidos a la virola mediante una curva de enlace.

Los depósitos llevan los accesorios que se mencionan: válvula de seguridad que permita la evacuación total del caudal del compresor con sobrecarga que no exceda del 10 %, manómetro, purga, racor de toma del sistema de regulación del compresor y agujero de limpieza.

(Kaeser, 2017)

### **3.9.1 Capacidad**

La capacidad del depósito de aire comprimido está determinada por el caudal del compresor. No obstante, el sistema de descarga del compresor es el factor determinante para calcular el límite inferior de la capacidad del depósito. Si funciona a intervalos muy repetidos se descargará rápidamente, y, por otro lado, resultarán variaciones de carga demasiado frecuentes en la instalación eléctrica. Si el compresor es de regulación automática, la capacidad del depósito en m<sup>3</sup> no debe ser inferior al caudal del compresor en m<sup>3</sup> por minuto. Esta norma se adapta si la variación de presión es de 1,5 bar. Para una diferencia de presión más pequeña o más grande, se puede calcular la capacidad del depósito proporcionalmente a la diferencia de presión. Excepto en casos especiales, el compresor no debe arrancar más de diez veces por hora, y en ninguna situación, más de quince veces por hora.

Si se admite que la presión en las bocas de salida no puede variar más de 0,7 bar sin causar problemas, entonces el depósito, para poder soportar durante un minuto la carga, deberá tener un volumen de 1,4 veces la capacidad del compresor en m<sup>3</sup>/min., de aire libre.

Como orientación, la capacidad del depósito está determinada según el tipo de regulación y puede calcularse por las siguientes fórmulas aproximadas:

- Para válvula piloto  $C = V 30 P$  litros
- Automática con presostato  $C = V 35 P$  litros
- Automática con presostato y contactos  $C = V 40 P$  litros
- Automática con arrancador y/A  $C = V 75 P$  litros

Siendo P la potencia del compresor o la potencia total instalada en CV, y V, el volumen en litros del depósito o de todos los depósitos existentes apropiadamente comunicados entre sí. En la práctica, los depósitos están normalizados y cada fabricante aconseja cuáles irán correctamente a la capacidad del compresor propuesto.

(Sandoval, 2013)

### **3.10 Costos Energéticos**

El aire comprimido se sabe que es un recurso bastante caro para su generación debido alto rendimiento constante de sus componentes para la fabricación de ese mismo.

En el caso de Lactosa el tomar en cuenta este punto es algo muy importante ya que este recurso se utiliza seis días a la semana de manera continua.

(Cpifp Pirámide, 2016) Afirma: "Generar 1KW de aire supone gastar de 7 – 8 KW de electricidad" (p.10).

#### **3.10.1 Precios**

En Honduras las tarifas de Energía Eléctrica son estipuladas por la Comisión Reguladora de Energía Eléctrica en base a la fluctuación de la moneda, los precios de los combustibles y sobre todo el comportamiento de los procesos de generación, transmisión y distribución de la energía, entre otros factores que alteran el comportamiento económico general.

Para los meses de diciembre 2017 a febrero 2018, los precios del Kilowatt Hora (kWh) en Honduras se reflejan en la siguiente tabla:

**Tabla 4. Precios del Kilowatt Hora (kWh) en Honduras.**

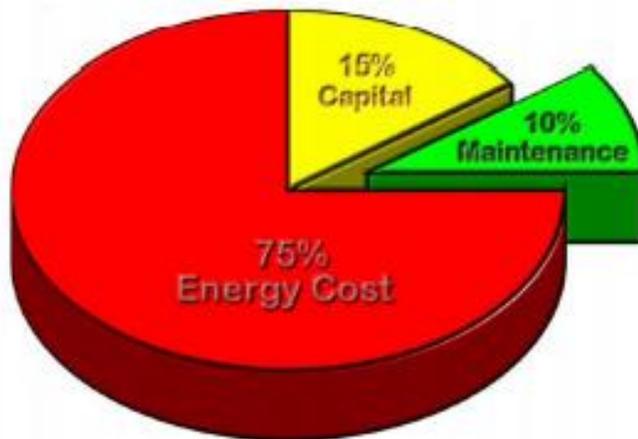
	<b>Cargo Fijo (Cargo Comercialización)</b>	<b>Marzo del 2018</b>	<b>Abril del 2018</b>	<b>Mayo del 2018</b>
<i>Sector</i>	<b>Costos Energía (L/KWh)</b>			
<i>Residencial</i>				
<i>0 – 50 KWh</i>	51,19	1,6427	1,6427	1,6427
<i>Mayores a 50 KWh</i>	51,19	4,0588	4,0588	4,0588
<i>Baja Tensión</i>	54,27	4,3140	4,3140	4,3140
<i>Media Tensión</i>	2.280,00	2,7133	2,7133	2,7133
<i>Alta Tensión</i>	5.700,00	2,5472	2,5472	2,5472
<i>Potencia Máxima Mes</i>	<b>Precio de la potencia (L/KWh)-Mes</b>			
<i>Media Tensión</i>	-	252,4918	252,4918	252,4918
<i>Alta Tensión</i>	-	206,8487	206,8487	206,8487
<i>Alumbrado</i>	-	4,5739	4,5739	4,5739

Fuente: (EEH, 2018)

### **3.10.2 Gastos de Aire Comprimido**

El aire comprimido se concentra en tres partes fundamentales en cuanto a sus gastos después de su instalación. Una vez en funcionamiento este recurso tiene los siguientes puntos a tomar en cuenta (ver Ilustración 9):

- Capital
- Mantenimiento
- Electricidad



**Ilustración 9. Costos a tomar en cuenta de aire comprimido.**

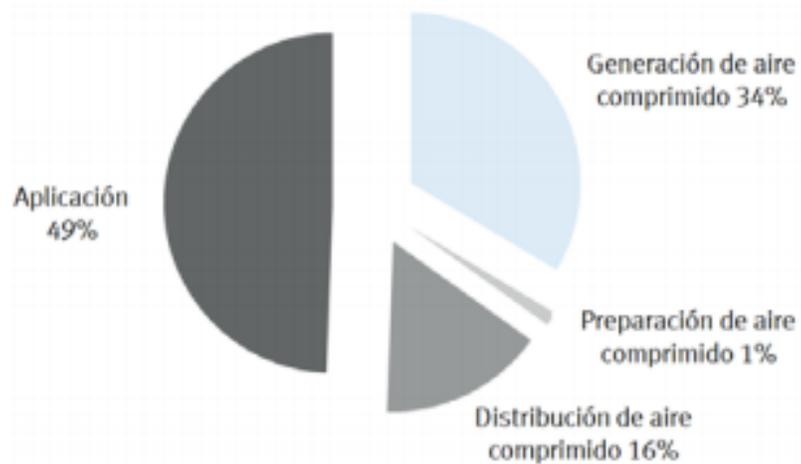
Fuente: (Casillas, 2016)

### **3.10.3 Donde se Encuentra el Ahorro**

(FESTO, 2013) Afirma: "Dependiendo de la viabilidad de una medida de ahorro, la rentabilidad y los ahorros obtenidos, el potencial de ahorro medio varía para cada una de las distintas áreas del sistema:

- Generación de aire comprimido
- Preparación del aire comprimido
- Distribución de aire comprimido
- Utilización del aire comprimido"

Tomar en cuenta con lo anteriormente citado la Ilustración 10.



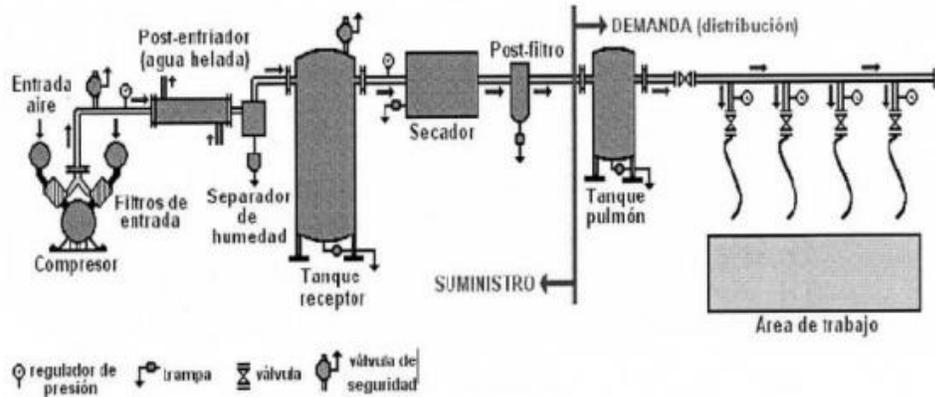
**Ilustración 10. Rentabilidad de las medidas en las distintas áreas del sistema de aire comprimido.**

Fuente: (FESTO,2013)

### **3.11 Suministros y Demanda**

(Garro Zavaleta, 2016) Afirma: "Un sistema de aire comprimido se divide en dos partes: el suministro y la demanda. Del lado del suministro, encontraremos el paquete de compresión, compuesto por el compresor, el motor del compresor, controladores y el equipo de tratamiento del aire, como filtros, enfriadores, secadores, tanques de almacenamiento y otros. Por el lado de la demanda, están el cabezal principal, compuesto por las líneas principales de distribución, mangueras, reguladores de presión, válvulas, lubricadores y equipos neumáticos entre otros." (p. 19)

En la Ilustración 11 podemos ver un diagrama de flujo típico de un aire comprimido el cual se puede encontrar en la industria y seguido los componentes que mayor demanda tienen (ver Ilustración 12).



**Ilustración 11. Diagrama de flujo de un sistema de aire comprimido.**

Fuente: (Royo Carnicer, 1977)



**Ilustración 12. Distribución de la demanda de aire comprimido.**

Fuente: (Ingeniería Energética Integral I.E.I)

Con los costos energéticos y la información establecida se puede decir que el aire comprimido es un recurso bastante completo y fácil de obtener, pero hay que recalcar siempre que, aunque sea un suministro inagotable, la generación este mismo tiene costos bastante alto y esto lo hace uno de los recursos más caros en la industria, después de la energía eléctrica.

## **IV. Metodología**

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

### **4.1 Variables de Investigación**

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

#### **4.1.1 Variables Dependientes**

Como variable dependiente tenemos el alto consumo de aire obtenido a través de los compresores para el funcionamiento de diferentes maquinarias.

#### **4.1.2 Variables Independientes**

Para la variable independiente tenemos la presión la cual se midió a través de la variable dependiente para poder obtener un estimado de la demanda que se tiene al día dentro de la empresa. Esta variable afecta directamente a producción si esta llega a fallar.

### **4.2 Enfoques y Métodos**

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

- Enfoques Cuantitativos: mediante la recopilación de datos se logró estimar un aproximado de la cantidad de aire que se genera al día y el área que más demanda solicita de toda producción.

- Enfoques Cualitativos: Se involucro al personal encargado de sala de máquinas, operadores de diferentes áreas de producción, supervisores y jefes ya que ellos contaban con un mayor conocimiento del consumo de aire comprimido y su utilidad en la producción.

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

#### **4.3.1 Técnicas Aplicadas**

Se obtuvieron una recolección de datos de las siguientes técnicas:

- Internet
- Análisis de Documentos
- Requisiciones de Equipo a Bodega
- Recolección de datos del monitor de los compresores.

Se recopilo información de sitios web con el objetivo de ampliar el conocimiento del problema que se estaba llevando a cabo y de otros aspectos que no se consideraron y se tomaron en cuenta al informarse completamente.

El análisis de documento tiene como propósitos conocer el equipo mediante manuales y fichas técnicas.

Se buscaron los sensores, la pantalla y el equipo necesario para poder realizar el proyecto ya que la empresa cuenta con una bodega de almacén donde tienen diferentes equipos ya sea para reparación o para implementación de algo nuevo.

Con la recolección de datos que se obtuvo de sala de máquinas se logró determinar que la demanda de presión que se tiene al día y así mismo se determinó cual era el área que mayor demanda exige en cuanto a aire comprimido.

#### **4.3.2 Instrumentos Aplicados**

En cuanto a instrumentos después de analizar y tomar los datos que se necesitaban, se utilizó la fórmula para promediar y tener un valor más exacto de la cantidad de aire comprimido que demanda la empresa tanto al día como a la semana.

#### 4.4 Materiales

Dentro de los materiales que se necesitan para el monitoreo de la distribución de aire comprimido tenemos:

- Sensor Deltapilot S de Endress Hauser
- Pantalla Allen Bradley
- Cable de alimentación
- PLC Allen Bradley
- Breaker de 2 Amp.
- Borneras de Conexión de 6mm

#### 4.5 Cronograma

**Tabla 5. Cronograma de Actividades.**

Actividades	Semanas																																															
	Semana 1				Semana 2				Semana 3				Semana 4				Semana 5				Semana 6				Semana 7				Semana 8				Semana 9				Semana 10											
	L	M	J	V	L	M	J	V	L	M	J	V	L	M	J	V	L	M	J	V	L	M	J	V	L	M	J	V	L	M	J	V	L	M	J	V	L	M	J	V	L	M	J	V				
Inducción	■	■																																														
Recorrido de Planta			■	■	■	■	■	■																																								
Selección de equipo					■	■	■	■																																								
Requisición de Equipo									■	■	■	■	■	■	■	■																																
Elaboración de propuesta													■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■																				
Recopilación de datos																	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■																
Análisis de datos																													■	■	■	■	■	■	■	■												
Elaboración de propuesta de mejora																																	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Fuente: (Elaboración Propia, 2018)

Se elaboro un cronograma de actividades durante las 10 semanas de duración de proyecto fase 1 el cual se puede observar en la Tabla 5.

## V. Resultados y Análisis

Para el presente capítulo se muestran los resultados y análisis obtenidos del proyecto. Se muestran los análisis obtenidos mediante los datos que se recopilaron.

### 5.1 Instrumentación

Para el proceso de selección final de un sensor medidor de presión fue necesario la recolección de datos durante tres semanas para poder conocer cuál era la demanda que se tenía y así conocer con que valores se está trabajando para poder seleccionar un sensor óptimo que pueda trabajar con los valores medidos siempre tomando en cuenta los factores externos y las condiciones bajo las que trabajaría.

El aire comprimido de Lacthosa se utiliza seis días a la semana de manera constante a excepción de los domingos, ya que ese día muchos de los equipos se encuentran en mantenimiento, pero siempre puede haber días en los cuales este pueda trabajar también un domingo.

Con toda la información recopilada se procedió a seleccionar el sensor Deltapilot S de Endress + Hauser ya que este cuenta con una gran precisión y está diseñado para este tipo de aplicación en la industria (ver Ilustración 13).



**Ilustración 13. Sensor Deltapilot S.**

Fuente: (Endress Hauser, 2018)

## 5.2 Proceso de Instalación

La instalación de este equipo es bastante sencilla ya que no lleva mucho proceso, solo se recomienda tener cuidado para no dañar el equipo.

Para la instalación de este equipo se necesitan los seis sensores que se instalarán en el punto de distribución que se muestra a continuación en la Ilustración 14.



**Ilustración 14. Punto de distribución de aire comprimido para diferentes áreas de producción.**

Fuente: (Sala de Máquinas Lacthosa, 2018)

Se busca un punto después de la válvula en la cual se pueda instalar el deltapilot s de manera cómoda y adecuada para luego conectar el cable de señal que este lleva y poder conectarlo al PLC, el cual lleva una pantalla que muestra las presiones que salen de los diferentes puntos de distribución especificando al área al que esta presión se dirige.

Al tener estos tres componentes conectados se debe programar de la manera más óptima para que se pueda tener un control más riguroso del aire que se está distribuyendo.

### 5.3 Formato para la toma de Datos

Para la propuesta de este proyecto se necesitaba conocer dos cosas con las cuales no se contaban, una base de datos de cuanto se produce de aire en sala de máquinas para la distribución del aire comprimido y un diagrama de flujo de cómo está conectado y que componentes lleva el proceso de este recurso, así que se me pidió la elaboración de estos dos y así mismo ayudar tanto a la empresa con esta información como al proyecto que se me propuso.

**Tabla 6. Monitoreo de Aire Comprimido.**

Monitoreo de Aire Comprimido (PSI)					
Hora	Dia				
	Lunes	Martes	Miercoles	Jueves	Viernes
08:00 a.m.					
09:00 a.m.					
10:00 a.m.					
11:00 a.m.					
12:00 p.m.					
01:00 p.m.					
02:00 p.m.					
03:00 p.m.					
04:00 p.m.					
05:00 p.m.					
Media Dia					
Media Sem.					
Media Error					

Fuente: (Elaboración Propia,2018)

Mediante esta tabla (ver Tabla 6) se pudo llevar un control diario durante nueve horas de la generación de aire comprimido para poder conocer de cuanto es la demanda con la que la empresa cuenta y así mismo se pudo llegar a escoger el equipo más óptimo para el proyecto.

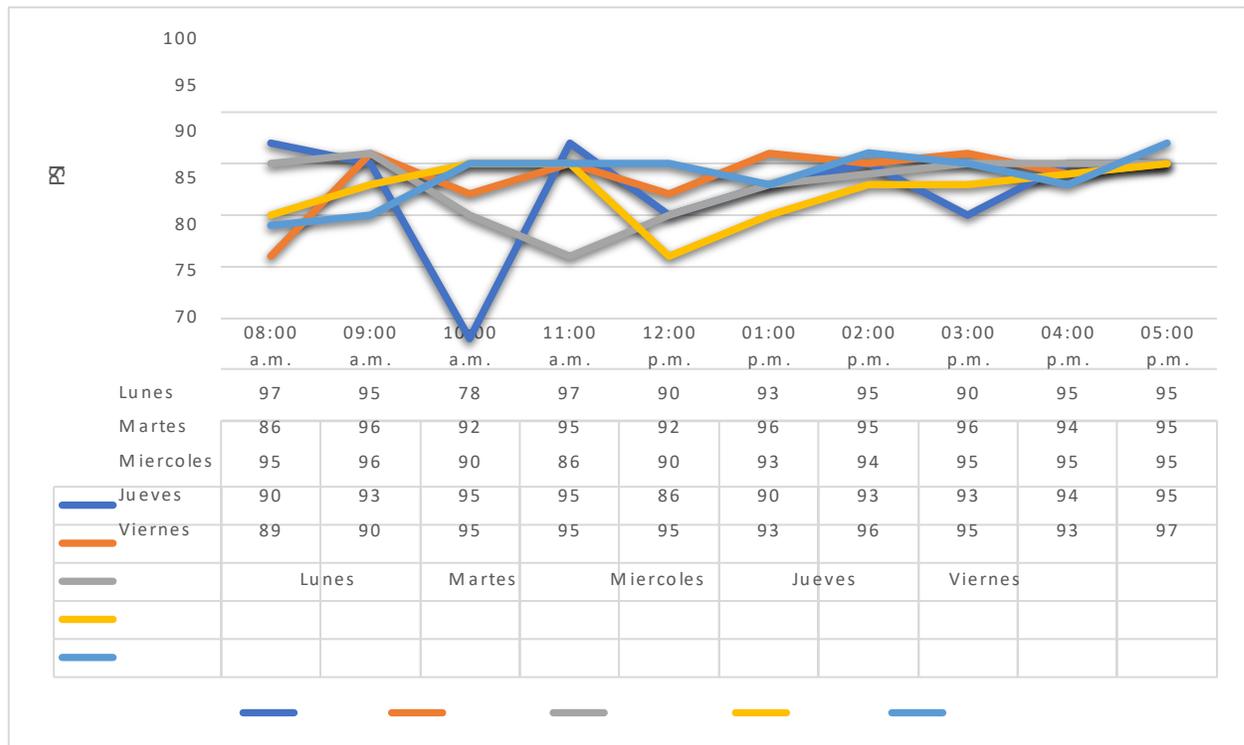
Aparte de una presión por hora, se calcularon los tres datos de mayor interés, el promedio diario, el promedio semanal y el promedio del error semanal durante tres semanas. Y por último se sacó un promedio total de las tres semanas.

## 5.4 Tabulación de Datos

Se procedió a tabular los datos para determinar el rendimiento del consumo del aire comprimido que se genera para producción y así analizar qué áreas tienen una mayor demanda a lo calculado teóricamente. Las lecturas se organizaban por día y hora.

Estos datos se recopilaron durante tres semanas y estos fueron los resultados que se obtuvieron:

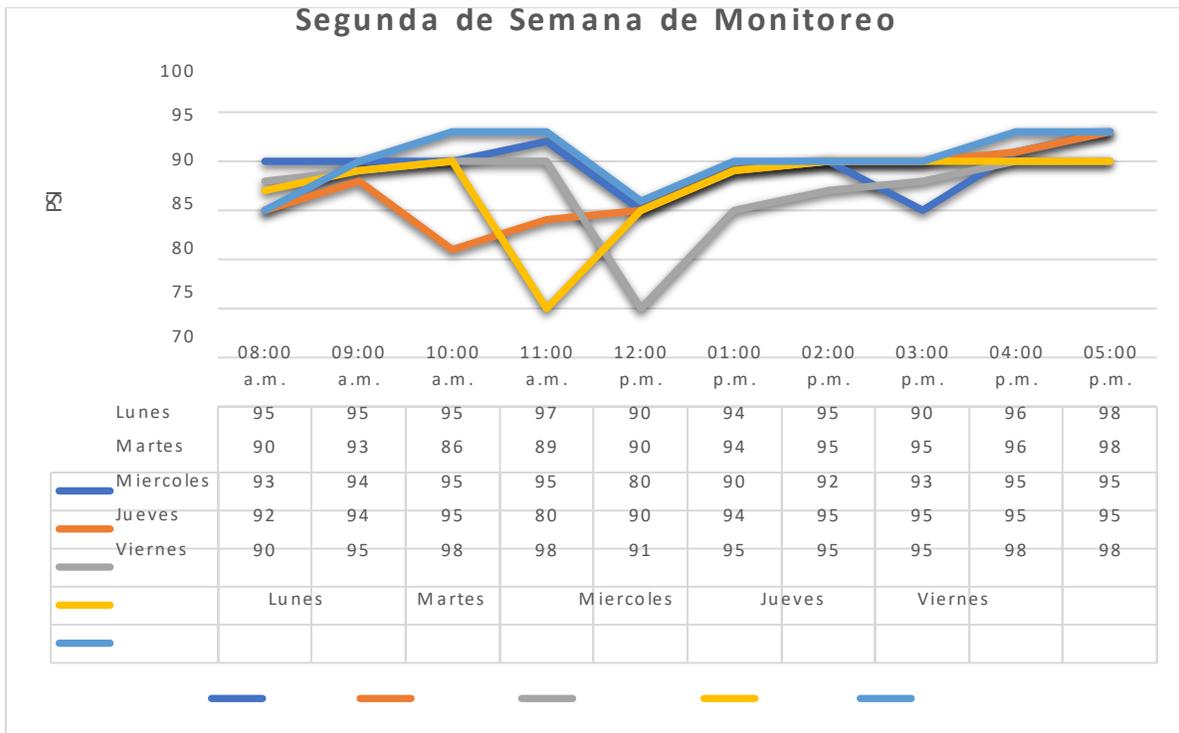
**Tabla 7. Grafica de 1era Semana de Monitoreo.**



Fuente: (Elaboración Propia, 2018)

Para la primera semana de monitoreo (observar Tabla 7) se obtuvieron cuatro valores por debajo del promedio requerido (90 PSI) lo que indica un problema por fuga o de manejo de alguna máquina. Uno de los valores medidos fue bastante crítico ya que llegó a niveles demasiado bajos y muchas veces se tienen problemas para volver a llegar a la generación correcta de aire.

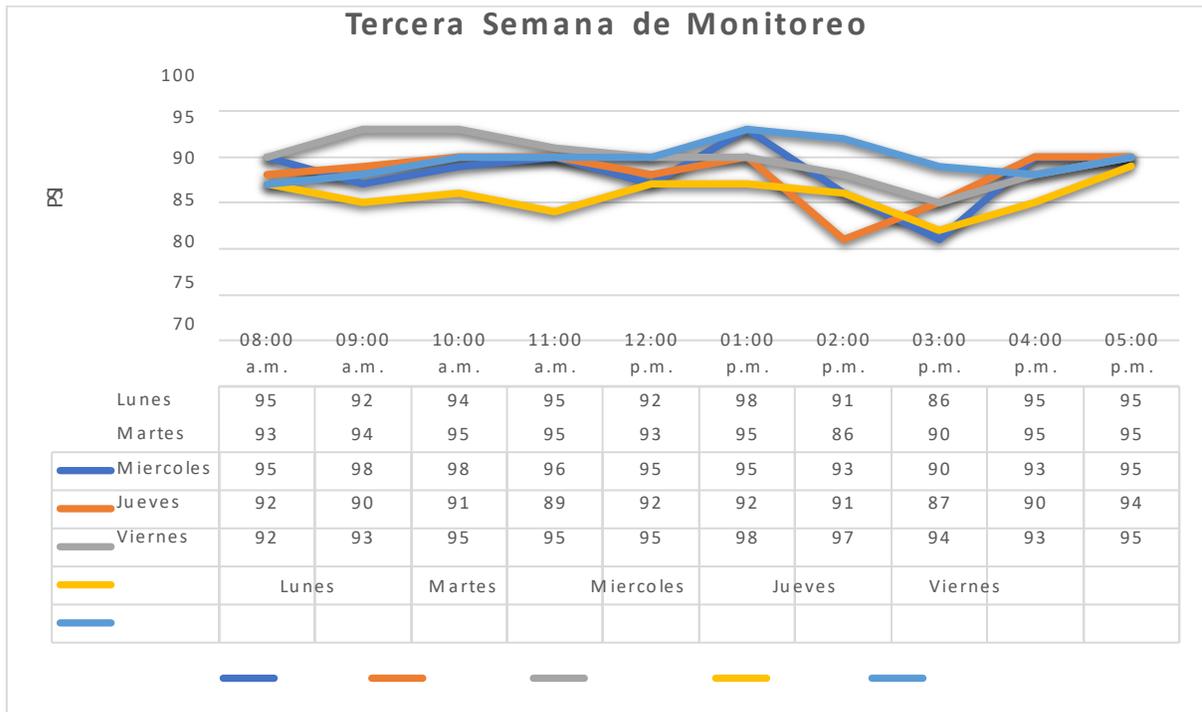
**Tabla 8. Grafica de 2da Semana de Monitoreo.**



Fuente: (Elaboración Propia, 2018)

La segunda semana de monitoreo se obtuvieron cuatro valores por debajo del promedio requerido (90 PSI) mostrando nuevamente problemas dentro la planta. En esta semana se puede observar que se estuvo por debajo del promedio el día martes a las 10:00 AM y 11:00 AM durante dos horas lo cual es un inconveniente para producción y su maquinaria (observar Tabla 8).

**Tabla 9. Grafica de 3era Semana de Monitoreo.**



Fuente: (Elaboración Propia, 2018)

Durante la tercera semana de monitoreo (observar Tabla 9) nuevamente se volvieron a encontrar cuatro tomas de datos por debajo del promedio, pero a pesar de estos cuatro errores, fue la semana donde se puede observar que la generación del aire se mantuvo elevado y más estable en cuanto a sus valores comparándola con las dos semanas anteriores.

### 5.5 Resultados

Con toda la información recopilada anteriormente se pudo obtener un estimado de la generación de aire comprimido al día, la semana y el total de las tres semanas.

Para la primera semana de monitoreo se tuvieron los siguientes resultados (ver Tabla 10):

**Tabla 10. Resultados Primera Semana de Monitoreo.**

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
Media Dia	92.5 PSI	93.7 PSI	92.9 PSI	92.4 PSI	93.8 PSI
Media Sem.	93.06 PSI				
Media Error	85 PSI				

Fuente: (Elaboración Propia, 2018)

Para la segunda semana de monitoreo los resultados fueron los siguientes (ver Tabla 11):

**Tabla 11. Resultados Segunda Semana de Monitoreo.**

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
Media Día	94.5 PSI	92.6 PSI	92.2 PSI	92.5 PSI	95.3 PSI
Media Sem.	93.42 PSI				
Media Error	83.75 PSI				

Fuente: (Elaboración Propia, 2018)

Para la tercera semana de monitoreo los resultados fueron los siguientes (ver Tabla 12):

**Tabla 12. Resultados Tercera Semana de Monitoreo.**

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
Media Día	93.3 PSI	93.1 PSI	94.8 PSI	90.8 PSI	94.7 PSI
Media Sem.	93.34 PSI				
Media Error	87 PSI				

Fuente: (Elaboración Propia, 2018)

Con la información obtenida por día durante las tres semanas, se estimó que la demanda de aire comprimida se encuentra alrededor de 93.27 PSI donde el promedio mínimo diario fue de 90.80 PSI y el promedio máximo promediado al día fue de 95.30 PSI.

Para la parte del error, es decir del promedio que se encuentra por debajo de lo establecido que son 90 PSI, se calculó un error de 85.25 PSI lo cual nos indica que el error se encuentra a 4.75 PSI por debajo de lo estipulado. El error mínimo encontrado durante las tres semanas de monitoreo fue de 78 PSI y el error máximo fue de 89 PSI.

Se logro confirmar que el área que mayor demanda genera en cuanto a aire comprimido es el área de asépticos ya que esta es el área que cuenta con el mayor número de máquinas para producción que utilizan aire para su funcionamiento.

Con esta información se logra afirmar por completo que el sensor seleccionado para el control de distribución de aire comprimido, Deltapilot S de Endress Hauser, es el sensor más óptimo y confiable para este trabajo.

Cabe recalcar siempre que la hora del día en el cual la demanda de aire comprimido es menor es a medio día, ya que a esa hora se detienen algunas de las máquinas para que los operadores puedan ir a almorzar.

## 5.6 Presupuesto

**Tabla 13. Presupuesto de Proyecto**

Presupuesto			
Equipo	Cantidad	Precio por Unidad	Precio Total
Borneras de Conexión de 6 mm	5	L 25.00	L 125.00
Breaker de 2 Amp	8	L 650.00	L 5,200.00
Sensor Deltapilot S Endress Hauser	6	L 37,706.00	L 226,236.00
Controlador Micro Logix 1100 Allen Bradley	1	L 17,600.00	L 17,600.00
Pantalla Touch Allen Bradley	1	L 20,100.00	L 20,100.00
<b>Total</b>			<b>L 269,261.00</b>

Fuente: (Elaboración Propia, 2018)

La tabla mostrada anteriormente (ver Tabla 13) muestra el presupuesto que se maneja para poder realizar este proyecto una vez este sea aprobado.

La mayoría de los gastos vienen de tres componentes específicos:

- PLC marca Allen Bradley, este fue seleccionado por políticas de la empresa debido a que es el que se maneja comúnmente en Lacthosa.
- Pantalla Allen Bradley, este fue seleccionado por el mismo motivo que el PLC.
- Sensor Deltapilot S, este fue seleccionado por ser de una marca bastante confiables y por cumplir con los parámetros necesarios para el proyecto.

Los demás componentes son complementarios, pero siempre fundamentales para la elaboración de este proyecto.

## **VI. Conclusiones**

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

- Se logró estimar la demanda de aire comprimido ya que no se tenía una base de datos previa de la generación de este recurso y esta demanda oscila alrededor de los 93.27 PSI.
- Para la tarea de monitoreo de aire comprimido se seleccionó el equipo de Endress Hauser el Deltapilot S ya que era el más adecuado para esta aplicación.
- Se estableció el punto de instalación del equipo para tener una mejor medición del aire comprimido que se distribuye.

## **VII. Recomendaciones**

En el siguiente capítulo se le presentan algunas recomendaciones a la empresa y universidad para seguir mejorando su rendimiento.

### **7.1 Para la Empresa**

- Realizar inspecciones dentro de las plantas de producción para verificar que no hay fugas durante producción y que los operadores no mantengan válvulas abiertas sin razón alguna.
- Mantener un mejor control de toda la información de los recursos en la planta para estar a disposición del personal de mantenimiento para futuras referencias ya sea en mantenimientos o proyectos.

### **7.2 Para la Universidad**

- Brindar talleres de los nuevos instrumentos de medición que se encuentran en la industria ya que son bastantes importantes dentro de las plantas de producción.
- Continuar mejorando el equipamiento de los laboratorios de la universidad para que los futuros y actuales estudiantes puedan realizar más trabajos prácticos y puedan seguir ampliando su conocimiento.
- Realizar más visitas técnicas para que los estudiantes puedan familiarizarse un poco con el ambiente que se vive en la industria.

## VIII. Bibliografía

Asahi American. (2014). Sistemas de Tubería para Manejo de Aire. Air-Pro. Recuperado de

[https://www.asahi-america.com/images/x-assets/PDF/Catalog\\_2014\\_Air\\_Pro\\_Spanish.pdf](https://www.asahi-america.com/images/x-assets/PDF/Catalog_2014_Air_Pro_Spanish.pdf)

Atlantic International University. (2015). Sistemas Hidraulicos y Neumaticos. Recuperado de

<http://cursos.aiu.edu/Sistemas%20Hidraulicas%20y%20Neumaticos.html>

Bhattacharjee, S. (2016). *Termodinámica*. Mexico: Pearson Educacion. Recuperado de

<https://www.biblionline.pearson.com/Pages/BookDetail.aspx?b=2825>

Carnicer Royo, E. (1977). *Teoría y Cálculo de Instalaciones de Aire Comprimido*. Madrid:

Gustavo Gili.

Carnicer Royo, E. (2006). *AIRE COMPRIMIDO. NEUMÁTICA CONVENCIONAL*. Barcelona.

Carrasco Diaz. (2006). *Metodología de la investigación científica*. Lima: San Marcos.

Casillas, J. L. (2016). *Analisis y Optimizacion Energetica de una Instalacion de Aire*

*Comprimido en una Planta Industrial*. Universidad Politecnica de Madrid, Madrid.

Recuperado de [http://oa.upm.es/44248/1/PFC\\_JORGE\\_LUCENDO\\_CASILLAS.pdf](http://oa.upm.es/44248/1/PFC_JORGE_LUCENDO_CASILLAS.pdf)

Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2012). *Termodinamica* (7.<sup>a</sup> ed.). Mexico: McGraw-Hill

Interamericana. Recuperado de

<https://ebookcentral.proquest.com/lib/laureatemhe/detail.action?docID=3214360&query=gas%20ideal>

Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2015). *Termodinámica* (8a. ed.) (8.<sup>a</sup> ed.). McGraw-Hill

Interamericana. Recuperado de

<https://ebookcentral.proquest.com/lib/laureatemhe/detail.action?docID=4184628&query=termodinamica>

Chang, R. (2010). *Química* (10.<sup>a</sup> ed.). Mexico: McGraw-Hill Interamericana. Recuperado de <https://ebookcentral.proquest.com/lib/laureatemhe/detail.action?docID=3214436&query=quimica>

Córdoba Ramírez, L. F. (2016). *Ahorro de Energía en el Sistema de Aire Comprimido, siguiendo el Programa Lean Energy de Baxter Productos Médicos*. Tecnológico de Costa Rica. Recuperado de [https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6565/Ahorro\\_energia\\_sistema\\_aire\\_comprimido.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6565/Ahorro_energia_sistema_aire_comprimido.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Cpifp Piramide. (2016). *Eficiencia Energetica en la Instalacion de Aire Comprimido*. Recuperado de <http://fp.educaragon.org/files/Eficiencia%20energetica%20en%20instalaciones%20aire%20comprimido.pdf>

Creus Sole, A. (2014). *Neumatica e Hidraulica* (2.<sup>a</sup> ed.). Mexico: Marcombo.

Díaz, F. E. (2015). *ECUACIONES DE ESTADO*. Universidad Santo Tomás de Aquino. Recuperado de [file:///C:/Users/COLDC\\_000/Downloads/767-1798-1-PB.pdf](file:///C:/Users/COLDC_000/Downloads/767-1798-1-PB.pdf)

Echegoyen Olleta, J. (2012). *Filosofía Contemporánea* (Edinumen). Madrid.

FESTO. (2013). *Libro Blanco*. Recuperado de [https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/300861/WhitePaper\\_EnergySavingServices\\_ES.pdf](https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/300861/WhitePaper_EnergySavingServices_ES.pdf)

Garro Zavaleta, A. (2016). *Folleto Aire Comprimido*. Costa Rica: Tecnológico de Costa Rica.

Instituto de Mecanica de los Fluidos e Ingenieria Ambiental. (2015). Maquinas Para Fluidos

1. Recuperado de [https://www.fing.edu.uy/imfia/cursos/maq\\_flu\\_1/teorico/8-Compresores.2010.pdf](https://www.fing.edu.uy/imfia/cursos/maq_flu_1/teorico/8-Compresores.2010.pdf)

James, E. A., & Slater, T. (2013). *Writing your Doctoral Dissertation or Thesis Faster: A Proven Map to Success*. Thousand Oaks: SAGE Publications, Inc.

Kaeser. (2017). Depositos de Aire Comprimido. Recuperado de <http://www.kaeser.es/Images/P-775-SP-tcm11-7411.pdf>

Parker Hannifin Corporation. (2003). Tecnología Neumática Industrial. Recuperado de [https://www.parker.com/literature/Brazil/M1001\\_BR\\_Neumatica.pdf](https://www.parker.com/literature/Brazil/M1001_BR_Neumatica.pdf)

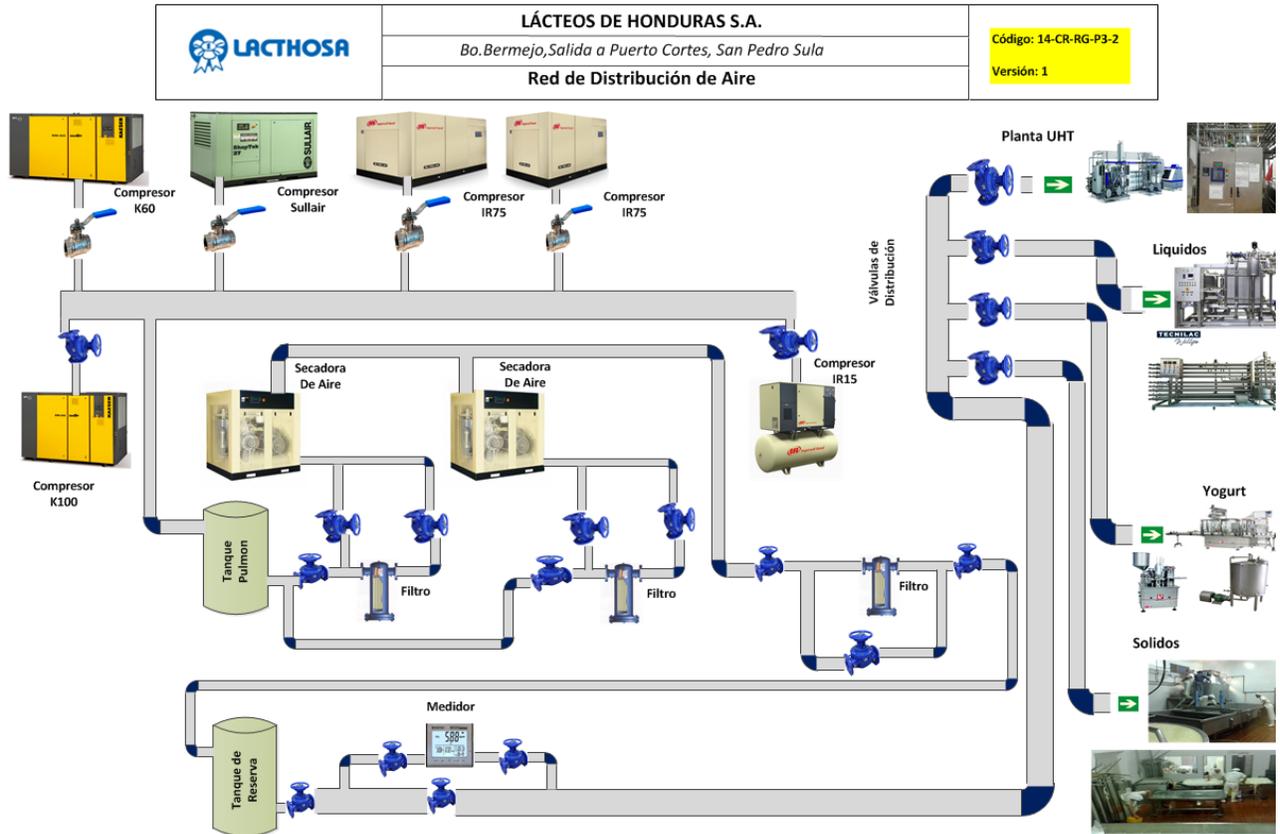
Rolle, K. C. (2006). *Termodinámica*. Mexico: Pearson Educacion. Recuperado de <https://www.biblionline.pearson.com/Pages/BookDetail.aspx?b=268>

Sandoval, J. (2013). Depositos de Aire Comprimido. Instituto de Seguridad y Salud Laboral. Recuperado de [file:///C:/Users/COLDC\\_000/Downloads/139905-FD%20137%20%20DEPOSITOS%20DE%20AIRE%20COMPRIMIDO.pdf](file:///C:/Users/COLDC_000/Downloads/139905-FD%20137%20%20DEPOSITOS%20DE%20AIRE%20COMPRIMIDO.pdf)

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

Vaillant, Y. L. (2010). Implementacion de Supervision. Santa Clara.

# IX. Anexos



**Anexo 1. Diagrama de Flujo Aire Comprimido**

Fuente: (Elaboración Propia, 2018)



**Anexo 2. Sala de Máquinas Área de Aire Comprimido**

Fuente: (Lacthosa, 2018)



**Anexo 3. Panel de Monitoreo**

Fuente: (Lacthosa, 2018)