



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**PRÁCTICA PROFESIONAL**

**REINGENIERÍA DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO PARA PLANTA DE SECUNDARIO**

**DE TABACALERA HONDUREÑA S.A.**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE**

**INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**PRESENTADO POR:**

**21341026 ALDO JAVIER BU GUZMÁN**

**ASESOR:**

**ING. JAVIER VILLANUEVA**

**CAMPUS SAN PEDRO SULA;**

**MARZO 2018**

# ÍNDICES

<b>I. Introducción</b> .....	¡Error! Marcador no definido.
<b>II. Generalidades de la Empresa</b> .....	2
2.1 Descripción de la empresa .....	2
2.2 Objetivos.....	3
2.2.1 Objetivo general .....	3
2.2.2 Objetivos específicos .....	3
<b>III. Marco Teórico</b> .....	4
3.1 Aire Comprimido .....	4
3.1.1 Propiedades del aire comprimido.....	5
3.1.2 Calidad del aire .....	6
3.2 Compresor de aire .....	7
3.2.1 Elementos del compresor de aire .....	8
3.2.2 Tipos de compresores .....	9
3.2.3 Compresor de piston .....	9
3.2.4 Compresor de tornillo .....	10
3.2.5 Compresor de paletas.....	10
3.2.6 Compresor de émbolos rotativos .....	11
3.3 Usos del aire comprimido .....	12
3.4 Red de distribución de aire comprimido .....	13
3.4.1 Red de distribución abierta .....	15
3.4.2 Red de distribución cerrada .....	16
3.4.3 Diseño de la red .....	17
3.4.4 Problemas comunes en la distribución de aire comprimido.....	18
3.4.5 Tuberías para aire comprimido .....	18
3.5 Coeficiente de fricción .....	20
3.6 Ventajas de la tubería de aluminio.....	21
<b>IV. Resultado</b> .....	¡Error! Marcador no definido.22

4.1 Antiguo diseño de red de distribución de aire comprimido para secundario.....	22
4.2 Nuevo diseño de red de distribución de aire comprimido para secundario.....	23
4.3 Cotización de materiales.....	25
4.4 Tubería y accesorios Air Express.....	27
4.5 Consumo de aire comprimido.....	28
4.6 Escenario Realista.....	29
4.7 Escenario Optimista.....	30
4.8 Escenario Pesimista.....	31
<b>V. Aportaciones</b> .....	32
5.1 Diseño del sistema de almacenamiento de agua fría.....	32
5.2 Diseño de la pila para almacenamiento de agua fría.....	33
5.3 Datos técnicos de la pila de agua fría .....	34
5.4 Cotización para sistema almacenamiento de agua fría .....	35
<b>VI. Conclusiones</b> .....	36
<b>VII. Recomendaciones</b> .....	37
<b>VIII. Bibliografía</b> .....	38

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Funcionamiento de un compresor.....	4
Ilustración 2: Elementos esenciales de un compresor.....	7
Ilustración 3: Partes de un compresor de aire .....	8
Ilustración 4: Compresor de pistón.....	9
Ilustración 5: Compresor de tornillo.....	10
Ilustración 6: Elementos de un compresor de paletas.....	11
Ilustración 7: Compresor de émbolo rotativo.....	11
Ilustración 8: Red de almacenaje de aire comprimido.....	13
Ilustración 9: Red de distribución de aire comprimido.....	14
Ilustración 10: Red de distribución de aire comprimido abierta.....	15

Ilustración 11: Red de distribución de aire comprimido cerrada.....	16
Ilustración 12: Costo de las caídas de presión.....	19
Ilustración 13: Diseño antiguo de red de aire comprimido smd.....	22
Ilustración 14: Vista de planta de red de aire comprimido smd.....	23
Ilustración 15: Vista isométrica de red de aire comprimido smd.....	24
Ilustración 16. Demostración de instalación de tubería air express.....	27
Ilustración 17. Sistema de almacenamiento de agua fría.....	32
Ilustración 18. Estructura interior de la pila para agua fría.....	33

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Diagnostico de las líneas de distribución de aire comprimido.....	18
Tabla 2: Coeficiente de fricción según el material.....	20
Tabla 3: Cotización de materiales para tubería de aire comprimido.....	25
Tabla 4: Levantamiento de materiales dividido por áreas en smd.....	26
Tabla 5. Consumo de aire comprimido 2017.....	28
Tabla 6. Escenario realista de consumo de aire comprimido.....	29
Tabla 7. Escenario optimista de consumo de aire comprimido.....	30
Tabla 8. Escenario pesimista de consumo de aire comprimido.....	31
Tabla 9. Capacidad de almacenamiento de la pila.....	34
Tabla 10. COP chiller.....	34
Tabla 11. Energía necesaria para enfriar el agua.....	34
Tabla 12. Comparación de consumo energético.....	34
Tabla 13. Cotización para pila de agua fría.....	35

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Formula de coeficiente de fricción.....	20
---	----

## I. INTRODUCCIÓN

Tabacalera Hondureña S.A. (TAHSA) es el mayor fabricante de cigarrillos de la región latinoamericana y del caribe, satisfaciendo a los estándares más rigurosos de calidad, el cual le ha permitido obtener la certificación de calidad mundial ISO 9001. TAHSA ha sido una de las primeras empresas en incorporar el sistema IWS dedicado a integrar el trabajo de mantenimiento para prevenir paros y mejorar su rendimiento de producción e incrementar el tiempo entre paradas. La demanda de cigarrillos que existe en Latinoamérica y el caribe es muy alta, lo cual TAHSA se ve comprometida a mantener su planta de producción en pleno estado óptimo.

Debido a la gran versatilidad que posee un ingeniero en mecatrónica, son muy cotizados por las empresas que requieren a una persona con conocimiento en física, electricidad y mecánica. Este tipo de ingeniería ayuda a poder dar soluciones a problemas de cualquier ámbito que se presente. Los ingenieros mecatrónicos pueden destacar en cualquier área que se soliciten y cabe destacar que son los indicados para la mejora continua en los procesos industriales. Las empresas hoy en día están altamente automatizadas y requieren siempre que sus equipos estén en óptimas condiciones y muchas de las empresas manufactureras en Honduras están concientizadas sobre el ahorro energético.

El presente documento describirá la reingeniería realizada al sistema de aire comprimido de la planta de secundario para la elaboración de cigarrillos y otras actividades relacionadas al ahorro energético. Este sistema será mejorado para que sea más eficiente dando resultados positivos al ahorro energético que se quiere establecer en la empresa. Tabacalera Hondureña se destaca por su constante énfasis en la mejora continua de todos sus procesos. De la misma manera al momento de crear un producto de buena calidad y contribuir al medio ambiente por medio del ahorro del consumo eléctrico.

## **II. GENERALIDADES DE LA EMPRESA**

### **2.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA**

Tabacalera Hondureña S.A. se ubica dentro del rubro de productos de consumo masivo con giro industrial en la elaboración y comercialización de cigarrillos distribuidos al mercado nacional e internacional siendo el mayor fabricante de cigarrillos de la región centroamericana bajo rigurosos estándares de calidad.

El fuerte y marcado liderazgo de TAHSA en la región centroamericana, se obtiene luego de que British American Tabasco Central América decidiera centralizar sus procesos de manufactura en una sola planta para maximizar la utilización de sus recursos. La decisión adoptada ha sido de gran beneficio para Honduras. En términos de generación de divisas, las exportaciones pasaron de, prácticamente cero en 1996, a un aproximado de 34 millones de dólares anuales. La creciente presencia de TAHSA en la economía hondureña y centroamericana no solo ha significado la creación de empleos directos, sino que también ha propiciado el crecimiento de muchos otros sectores, con la generación de numerosos empleos indirectos.

Gracias a sus altos estándares de operación, TAHSA ha recibido las más importantes certificaciones: ISO 9001 (Administración del Sistema de Gestión de Calidad), ISO 14001 (Administración del Sistema de Gestión Ambiental) y el ISO 18001 (Administración del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud Ocupacional).

Además, su laboratorio fisicoquímico, luego de haber pasado por un proceso de evaluación para demostrar que técnicamente es competente, recibió el certificado de la norma ISO/IEC 17025, un certificado internacional, que le permite presentar únicamente ensayos de laboratorio propios, sin necesidad de una muestra externa, cuando incursione con sus cigarrillos en nuevos mercados.

## **2.2 Objetivos**

### 2.2.1 Objetivo general

- Incrementar el ahorro energético del uso de aire comprimido en la planta de secundario para la producción de cigarros.

### 2.2.2 Objetivos específicos

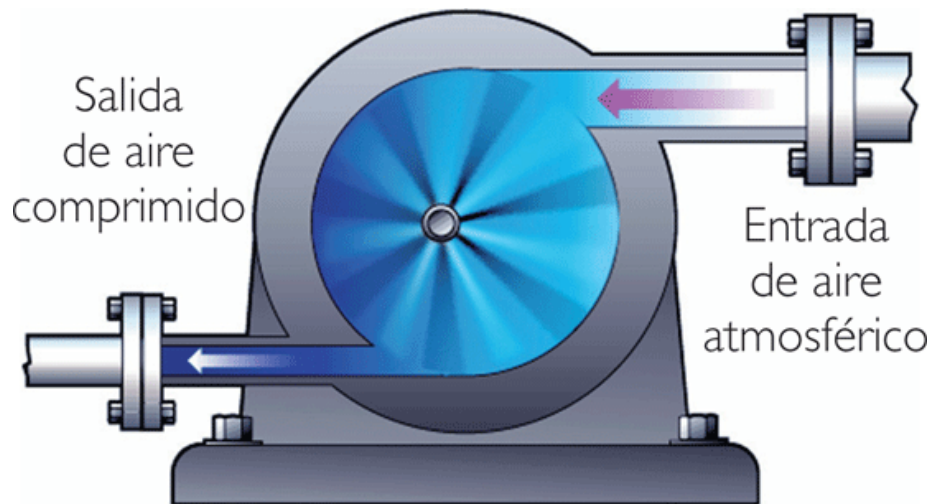
- Diseñar la tubería de aire comprimido bajo los estándares de alta calidad.
- Reducir el coeficiente de fricción del aire comprimido en la tubería para mejor eficiencia de las máquinas de producción.
- Determinar si el proyecto es factible para recuperar la inversión en el menor tiempo posible.

### III. MARCO TEÓRICO

#### 3.1 AIRE COMPRIMIDO

Se puede definir el aire comprimido como una determinada masa de aire que se encuentra a una presión superior a la atmosférica. Se trata de aprovechar la capacidad de compresión que tiene el aire atmosférico, para usarlo como energía o para acumularlo en un recipiente con la idea de un uso posterior. (Torres, 2010)

El aire comprimido se consigue usando unos equipos llamados compresores, que aspiran el aire atmosférico y lo comprimen hasta llegar a un valor de presión requerido y superior al de la presión atmosférica a la que se encontraba. Este valor de presión puede ser expresado en gramos/cm<sup>2</sup> sobre la atmósfera o de muchos kg/cm<sup>2</sup>.



**Ilustración 1: Funcionamiento de un compresor.**

Fuente: Intecno.

El aire comprimido es una de las fuentes de energía más utilizada, debido a su seguridad, rapidez y facilidad de manejo. Energías como la electricidad o el gas siguen siendo todavía utilizadas debido a que tienen más aplicaciones que el aire comprimido.

### 3.1.1 PROPIEDADES DEL AIRE COMPRIMIDO

Según (Rodríguez, 2013), "El aire comprimido es una de las formas de energía más antiguas que conoce el hombre y aprovecha para reforzar sus recursos físicos.

El descubrimiento consciente del aire como medio - materia terrestre - se remonta a muchos siglos, lo mismo que un trabajo más o menos consciente con dicho medio."

- Alta disponibilidad: Es un medio fácil de obtener para ser energizado por medio de un compresor.
- Transporte: El aire comprimido tiene la facilidad de ser transportado por tuberías, incluso a grandes distancias.
- Almacenable: El aire comprimido generado por un compresor puede almacenarse en un depósito.
- Temperatura: El aire comprimido es insensible a las variaciones de temperatura.
- Limpio: El aire comprimido es limpio siempre y cuando pase por un filtro que contenga las micro impurezas que contiene el aire y en caso de faltas de estanqueidad en tuberías o elementos.
- Preparación: El aire comprimido debe ser preparado, antes de su utilización. Es preciso eliminar impurezas y humedad con el fin de evitar un desgaste apresurado de los elementos de mando y actuadores.
- Compresible: Permite ser comprimido consiguiendo una reducción del volumen.
- Fuerza: El aire comprimido es económico sólo hasta cierta fuerza.
- Costos: El aire comprimido es una fuente de energía relativamente cara; este elevado costo se compensa en su mayor parte por los elementos económicos y el buen rendimiento de los sistemas neumáticos.

### 3.1.2 CALIDAD DEL AIRE

La calidad del aire La calidad del aire comprimido para la máquina está definida por tres características:

- Pureza, se refiere a la humedad y a la suciedad por partículas sólidas contenidas en el aire.
- Presión, se refiere al valor adecuado y constante.
- Lubricación, va acuerdo con el área de aplicación.

La pureza del aire comprimido está influenciada por:

- Calidad del aire de aspiración.
- Filtro de aspiración.
- Tipo de compresor utilizado.
- Mantenimiento del compresor.
- Separador de partículas sólidas contenidas.
- Refrigerador posterior
- Sistema de distribución de aire comprimido.

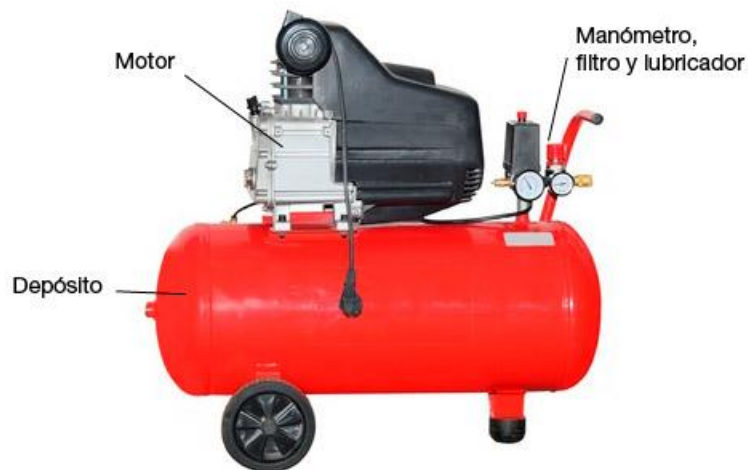
Álvarez afirma: "Uno de los principales factores cuando se determina la calidad del aire comprimido, es si éste puede o no estar libre de aceite. El aire comprimido libre de aceite puede ser producido con alguno de los compresores denominados libres de aceite, o con compresores que utilizan lubricación por inyección pero que tienen equipo adicional de separación y filtración de aceite."

### 3.2 COMPRESOR DE AIRE

Ollarves afirma: "Un compresor de aire es una máquina diseñada para tomar el aire del ambiente o gas, dependiendo del uso que se le quiera dar—, almacenarlo y comprimirlo dentro de un tanque llamado calderín y con ese aire, dar potencia a otras herramientas neumáticas o bien realizar múltiples tareas como hinchar neumáticos de coches y bicicletas, limpiar o hasta rociar pintura."

Las maquinas compresoras de aire toman el aire ambiente, lo comprimen y luego se puede utilizar liberándolo por un tubo flexible con la presión regulada por un presostato. Un compresor de aire está compuesto por tres piezas esenciales:

- Compresor.
- Tanque de depósito.
- Equipo de control.

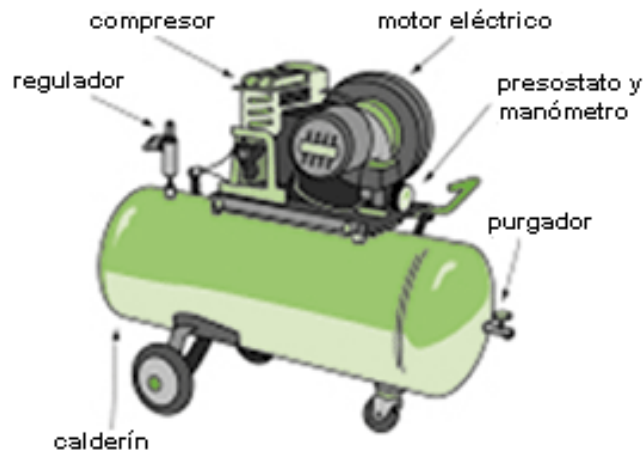


**Ilustración 2: Elementos esenciales de un compresor.**

Fuente: Neumática.

### 3.2.1 ELEMENTOS DEL COMPRESOR DE AIRE

- El **compresor** que es la pieza fundamental en el funcionamiento de compresores de aire porque es el cilindro con pistón impulsado por un motor eléctrico, que le permite tomar el aire del ambiente y comprimirlo para el uso que está destinado.
- El **tanque de depósito** es un recipiente donde se almacena el aire comprimido a cierta presión para ser utilizado luego.
- El **equipo de control y suministro** que es el encargado de tomar el aire comprimido por el pistón del compresor que se ha almacenado en el calderín y mediante un presostato controlar la presión con la que este saldrá a través de un tubo flexible con un manómetro en su extremo. En el equipo de control tenemos los reguladores, presostato y manómetros para controlar la presión.
- El **purgador** es el dispositivo encargado en drenar el agua producido por la diferencia de presiones y temperaturas mediante a la compresión.



**Ilustración 3: Partes de un compresor de aire.**

Fuente: Mundo hvac.

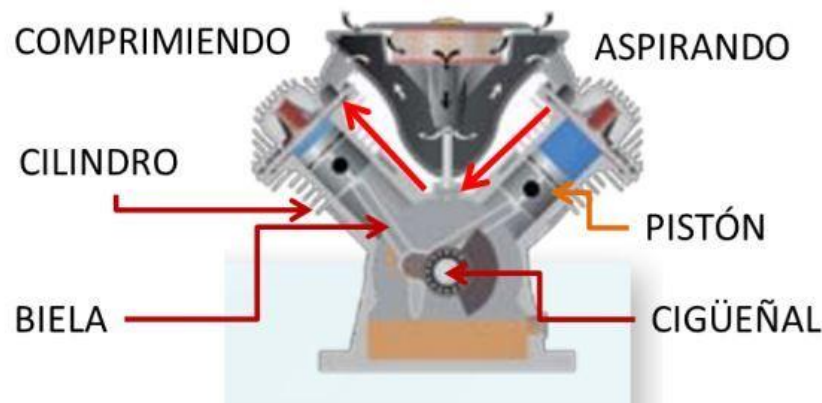
### 3.2.2 TIPOS DE COMPRESORES

El aire comprimido se realiza mediante un compresor, Existen varios tipos de compresores entre ellos tenemos:

- **Compresor dinámico:** Su funcionamiento está basando en elementos giratorios que aportan energía cinética al aire. Entre estos tenemos:
  - Radiales.
  - Axiales.
  - Radiaxiales.
- **Compresor de desplazamiento positivo:** Estos compresores aumentan la presión al reducir el volumen basando su funcionamiento en pistones y tornillos de los cuales se clasifican en:
  - Alternativos.
  - Rotativos.

### 3.2.3 COMPRESOR DE PISTÓN.

Alfaro afirma: "En este tipo de compresores, el aire es aspirado al interior de un cilindro, por la acción de un pistón accionado por una biela y un cigüeñal. Ese mismo pistón, al realizar el movimiento contrario, comprime el aire en el interior del mencionado cilindro, liberándolo a la red o a la siguiente etapa, una vez alcanzada la presión requerida."



**Ilustración 4: Compresor de pistón.**

Fuente: Mundo Compresor.

### 3.2.4 COMPRESOR DE TORNILLO.

Según (Cantero, 2015), "La tecnología de los compresores de tornillo se basa en el desplazamiento del aire, a través de las cámaras que se crean con el giro simultáneo y en sentido contrario, de dos tornillos, uno macho y otro hembra. El aire es llenado en los espacios creados entre ambos tornillos, aumentando la presión según se va reduciendo el volumen en las citadas cámaras.

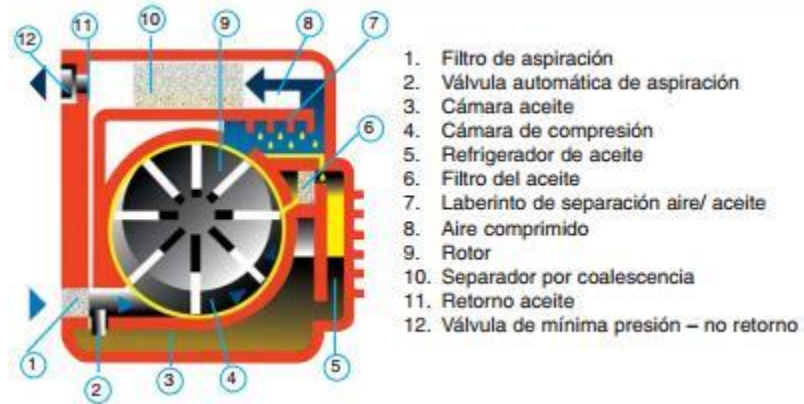


**Ilustración 5: Compresor de tornillo.**

Fuente: Mundo Compresor.

### 3.2.5 COMPRESOR DE PALETAS

Según (Pérez, 2008), "Para este tipo de compresor el eje motor es excéntrico respecto al eje del estator y concéntrico respecto al eje del rotor. El rotor gira deslizando sobre el estator, con cinemática plana (radial), en forma excéntrica respecto a la superficie cilíndrica interior del estator, estableciéndose un contacto que en el estator tiene lugar sobre una única generatriz, mientras que en el rotor tiene lugar a lo largo de todas sus generatrices. El rotor es un cilindro hueco con estrías radiales en las que las palas están sometidas a un movimiento de vaivén, (desplazadores). Al producirse una fuerza centrífuga, las palas comprimen y ajustan sus extremos libres deslizantes a la superficie interior del estator, al tiempo que los extremos interiores de dichas palas se desplazan respecto al eje de giro."

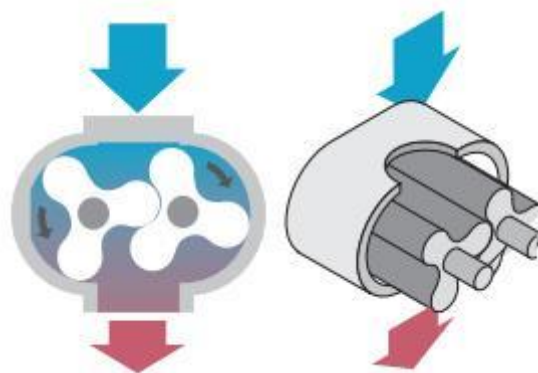


**Ilustración 6: Elementos de un compresor de paletas.**

Fuente: Mundo Compresor.

### 3.2.6 COMPRESOR DE ÉMBOLOS ROTATIVOS.

Villalba afirma: "Es un compresor de desplazamiento positivo. Este tipo de compresor usa unos rotores de lóbulos o émbolos rotativos para comprimir el aire. El principio de funcionamiento está basado en el giro de dos rotores de lóbulos en el interior de la carcasa. Los rotores giran de forma sincronizada y en sentido contrario, formando entre ellos unas cámaras en las que entra el aire. Los lóbulos se limitan a desplazar el aire, consiguiendo aumentar la presión en función de la contrapresión con la que se encuentran en la salida del equipo. Esta contrapresión viene dada por las pérdidas por rozamiento y las necesidades de presión del sistema con el que trabaja.



**Ilustración 7: Compresor de émbolo rotativo.**

Fuente: Mundo Compresor.

### **3.3 USOS DEL AIRE COMPRIMIDO**

Según (García ,2013), "La utilización del aire comprimido en la industria está ampliamente extendida, y en actuaciones tan diversas, como accionamiento de máquinas herramientas, actuadores de válvulas, maquinaria, etc."

El aire comprimido se puede utilizar para:

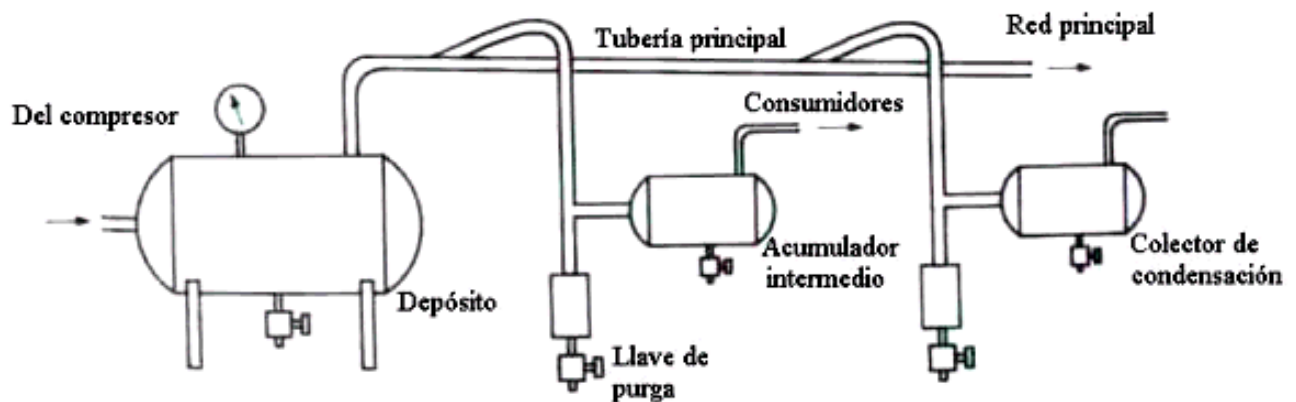
- Elevadores neumáticos.
- Destornilladores automáticos.
- Tornos dentales.
- Armas de aire comprimido.
- Equipos de minería.
- Arranque de motores de avión.
- Coches de aire comprimido y motores de aire comprimido.
- Alimentación para equipo de producción.
- Atracciones, para conseguir grandes velocidades en poco tiempo.

En Tabacalera Hondureña el aire comprimido es utilizado para alimentar las maquinas PROTOS 80ER, 4350CH, MAX 80S, C600 Y FTF de las cuales están encargadas de la producción de cigarrillos en la planta de secundario. El actual sistema de alimentación de aire comprimido presenta ciertas fugas de aire y se requiere que la red de distribución de aire comprimido sea mas eficiente para poder reducir el costo energético.

### 3.4 RED DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO

La red de distribución de aire comprimido es creada para abastecer de aire a todas las máquinas y equipos que lo necesiten. La red nace desde el conjunto de conductos desde el compresor y después de haber pasado por el sistema de acondicionamiento de aire, es necesario tomar en cuenta un depósito acumulador en donde se almacene aire comprimido entre unos valores mínimos y máximos de presión, para garantizar el suministro uniforme incluso en los momentos de mayor demanda. Se debe escoger un buen diámetro para la red de distribución para mantener un buen flujo de aire y evitar pérdidas de presión.

La red de aire comprimido se divide en red de almacenaje y red de distribución.



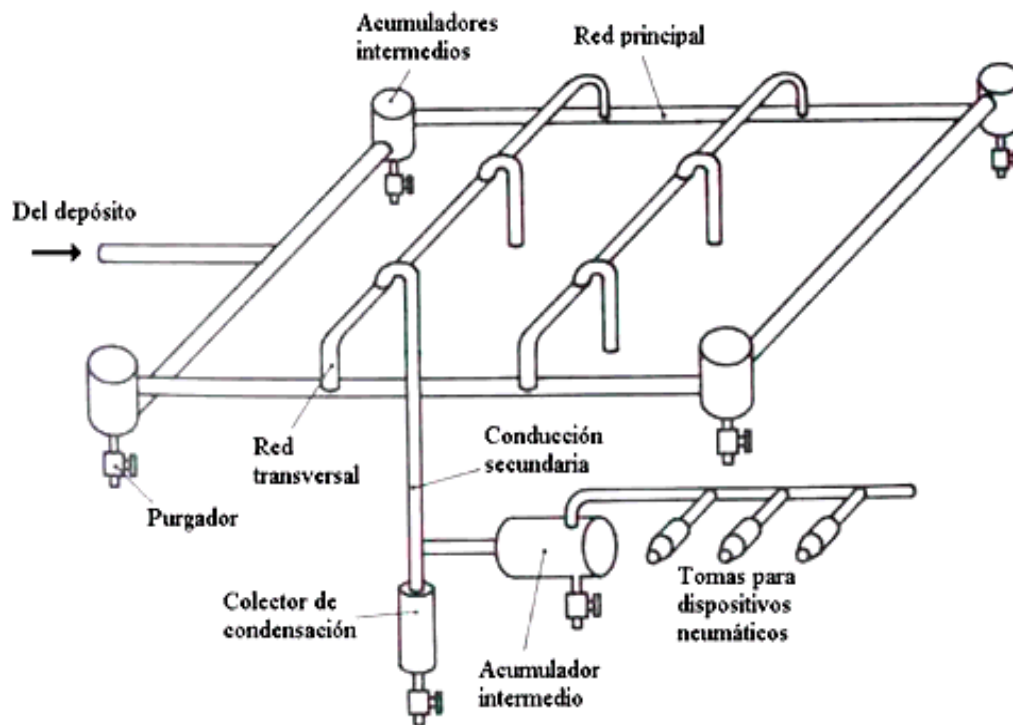
**Ilustración 8: Red de almacenaje de aire comprimido.**

Fuente: Educativa.

Según (López, 2010), "Cuando diseñamos una red de aire comprimido lo primero que debemos hacer es levantar u obtener un plano de la planta donde claramente se ubiquen los puntos de demanda de aire anotando su consumo, calidad y presión requeridas. Es necesario identificar el lugar donde se van a emplazar el compresor de aire comprimido o en su caso la sala de máquinas de compresores. Es necesario realizar un buen trabajo puesto que una vez realizada la distribución esta influirá en las futuras ampliaciones y mantenimiento de la red."

Para que una red de distribución sea eficiente se debe cumplir las siguientes condiciones:

- Asegurar bajas pérdidas de presión.
- Limitación de fugas.
- Tubería resistente a la corrosión.
- Permitir futuras adaptaciones.
- Bajo coeficiente de fricción.

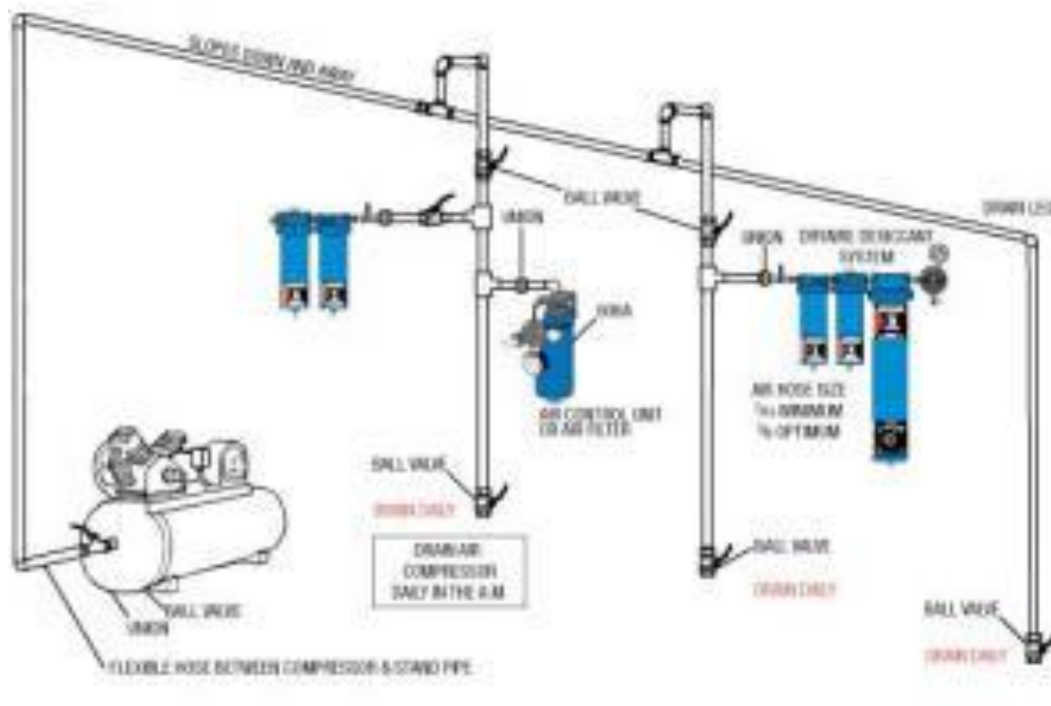


**Ilustración 9: Red de distribución de aire comprimido.**

Fuente: Educativa.

### 3.4.1 RED DE DISTRIBUCIÓN ABIERTA

Según (Cassani, 2011), "Se constituye por una sola línea principal de la cual se desprenden las secundarias y las de servicio. La poca inversión inicial necesaria de esta configuración constituye su principal ventaja. Además, en la red pueden implementarse inclinaciones para la evacuación de condensados. La desventaja principal de este tipo de redes es su mantenimiento. Ante la necesidad de una reparación es posible que se detenga el suministro el suministro de aire 'aguas abajo' del punto de corte lo que implica una parada en el suministro de aire a la producción. Es necesario identificar el lugar donde se van a emplazar el compresor de aire comprimido o en su caso la sala de máquinas de compresores. Es necesario realizar un buen trabajo puesto que una vez realizada la distribución esta influirá en las futuras ampliaciones y mantenimiento de la red."



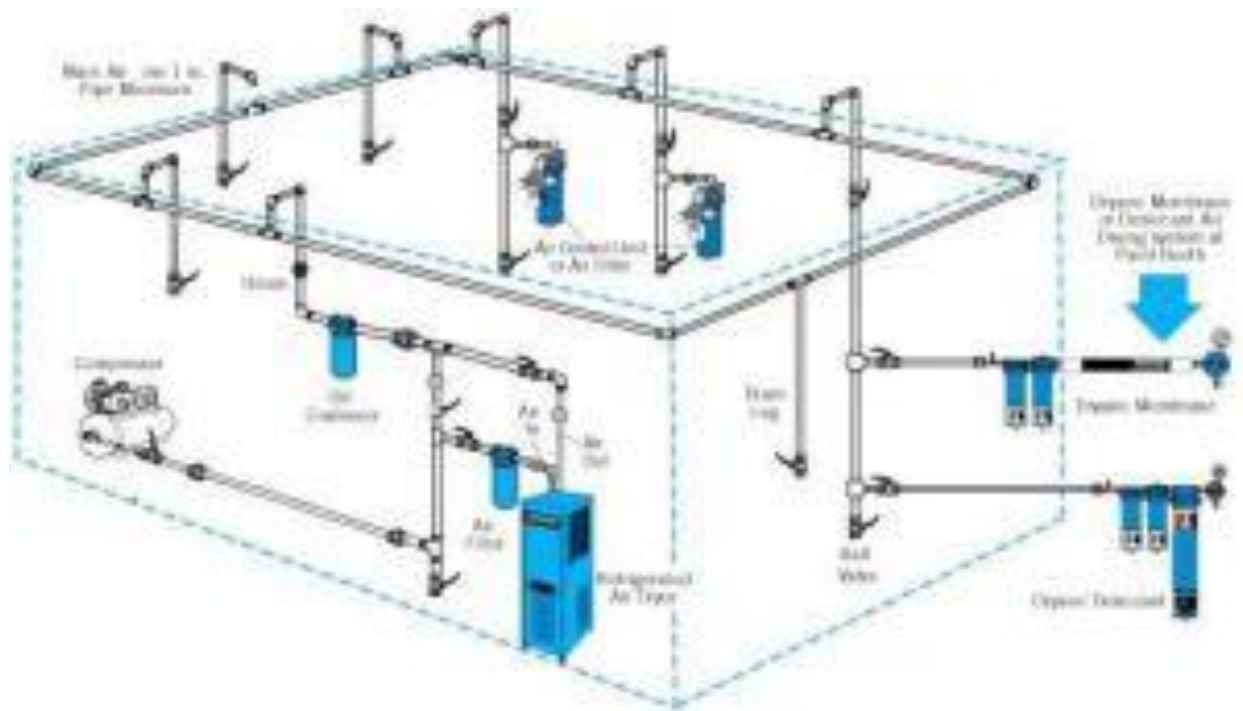
**Ilustración 10: Red de distribución de aire comprimido abierta.**

Fuente: Cassani's Blog.

### 3.4.2 RED DE DISTRIBUCIÓN CERRADA

Mejía afirma: "En esta configuración la línea principal constituye un anillo. La inversión inicial de este tipo de red es mayor que si fuera abierta. Sin embargo, con ella se facilitan las tareas de mantenimiento de manera importante, puesto que ciertas partes pueden ser aisladas sin afectar a la producción. La falta de dirección constante del flujo es una desventaja importante de este sistema, ya que la dirección del flujo en algún punto de la red dependerá de las demandas puntuales y, por tanto, el flujo de aire cambiará de dirección dependiendo del consumo.

El problema de estos cambios radica en que la mayoría de los accesorios de una red (Filtros, Enfriadores etc.) son diseñados con una entrada y una salida. Por tanto, un cambio en el sentido de flujo los inutilizaría."



**Ilustración 11: Red de distribución de aire comprimido cerrada.**

Fuente: Cassani's Blog.

### 3.4.3 DISEÑO DE LA RED

Según (Casanova, 2014), "La primera labor de diseño de una red de aire comprimido es levantar u obtener un plano de la planta donde claramente se ubiquen los puntos de demanda de aire anotando su consumo y presión requeridas. También identificar el lugar de emplazamiento de la batería de compresores. Es importante realizar una buena labor puesto que una vez establecida la distribución esta influirá en las futuras ampliaciones y mantenimiento de la red."

Se debe tomar en cuenta los siguientes factores al momento de diseñar la red:

- Diseñar la red con base en la arquitectura del edificio y de los requerimientos de aire.
- Procurar que la tubería sea lo más recta posible con el fin de disminuir la longitud de tubería, número de codos, tees, y cambios de sección.
- La tubería siempre deber ir instalada aéreamente. Puede sostenerse de techos y paredes.
- La tubería no debe entrar en contacto con los cables eléctricos y así evitar accidentes.
- Antes de implementar extensiones o nuevas demandas de aire en la red debe verificarse que los diámetros de la tubería si soportan el nuevo caudal.
- Un buen diámetro de la tubería principal evita problemas ante una ampliación de la red. La línea principal deberá tener una leve inclinación en el sentido de flujo del aire para instalar purgadores.
- Todo cambio brusco de dirección o inclinación es un sitio de acumulación de condensados. Allí se deben ubicar válvulas de evacuación.
- Las conexiones de tuberías de servicio o bajantes deben hacerse desde la parte superior de la tubería secundaria para evitar el descenso de agua por gravedad hasta los equipos neumáticos y su deterioro asociado.

### 3.4.4 PROBLEMAS COMUNES EN LA DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO.

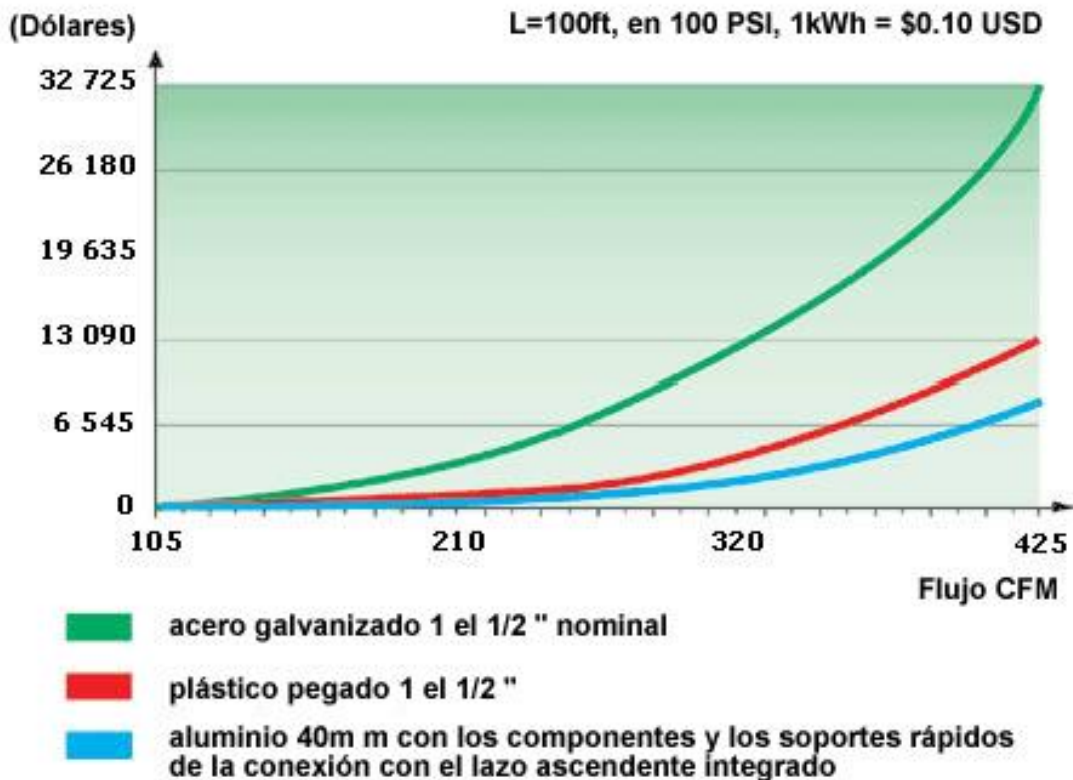
TIPO DE LÍNEA	POSIBLE CAUSA DEL PROBLEMA	SOLUCIÓN
Sistema de líneas rígidas	Peso muerto de la tubería	Añadir más apoyos
	Expansión y contracción	Usar apoyos que permitan desplazamiento lateral de los tubos.
	Presión interna	Proveer apoyos adecuados para prevenir movimiento y flexión.
	Fugas	Todas las juntas de tubería deben estar hechas apropiadamente. Reemplazar válvulas y accesorios defectuosos. Si es causado por daños, revisar las condiciones ambientales y proteger zonas vulnerables.
	Demasiada agua en las tuberías de las aplicaciones	Revisar que las purgas sean adecuadas y estén en los lugares correctos.
líneas flexibles	Fugas	Revisar deterioro en las juntas de los extremos. Proteger mangueras sujetas a difíciles condiciones ambientales. Considerar el uso de líneas en espiral que se recogen automáticamente.
	Excesiva caída de presión	Revisa manguera por agujeros. Asegurarse que el tamaño de la manguera sea el adecuado.

**Tabla 1: Diagnostico de las líneas de distribución de aire comprimido.**

Fuente: Monografías.

### 3.4.5 TUBERÍAS PARA AIRE COMPRIMIDO

Según (Márquez, 2016), "La finalidad de un sistema de canalización de aire comprimido es distribuir aire comprimido a los puntos en los que se utiliza. El aire comprimido tiene que distribuirse con un volumen suficiente, la calidad y la presión adecuadas para propulsar correctamente los componentes que utilizan el aire comprimido. La fabricación de aire comprimido es costosa. Un sistema de aire comprimido mal diseñado puede aumentar los gastos de energía, provocar fallos en los equipos, reducir el rendimiento de la producción y aumentar los requisitos de mantenimiento. En general suele considerarse cierto que los costes adicionales realizados en la mejora del sistema de canalización de aire comprimido resultarán rentables muchas veces durante la vida del sistema."



**Ilustración 12: Costo de las caídas de presión.**

Fuente: Parker Trans Air.

Hernández afirma: "Las instalaciones de aire comprimido utilizan habitualmente más energía de la requerida por el consumo de aire de la planta."

El uso de acero galvanizado en las tuberías de aire comprimido conlleva a un alto consumo energético. Las tuberías pueden ser de diversos materiales como el cobre, latón, acero galvanizado, polietileno, poliamida y aluminio. Actualmente Tabacalera Hondureña posee una red de distribución de aire comprimido con tubería de acero galvanizado. Este sistema requiere de un nuevo diseño para el ahorro energético sea eficiente. Esto se puede conseguir utilizando tubería de aluminio ya que el aire que circula en esta tubería tiene un menor coeficiente de fricción en comparación a la tubería de acero galvanizado. El ahorro energético está pronosticado a ser más de 20% lo cual lo hace un proyecto rentable para la compañía debido al alto consumo de aire comprimido en las diferentes fases de la manufactura del cigarro.

### 3.5 COEFICIENTE DE FRICCIÓN

Según (McGraw, 2001), "La resistencia a la fricción en el movimiento relativo de dos objetos sólidos suele ser proporcional a la fuerza que presiona juntas las superficies, así como la rugosidad de las superficies. Dado que es la fuerza perpendicular o "normal" a las superficies que afectan a la resistencia a la fricción, esta fuerza se suele llamar la "fuerza normal" y se designa por N."

$f_{\text{fricción}} = \mu N$	$\mu$ = coeficiente de fricción $\mu_k$ = coeficiente de fricción cinética $\mu_s$ = coeficiente de fricción estática
-------------------------------	---

**Ecuación 1: Formula de coeficiente de fricción.**

Materiales	Coef. de Fricción Estática $\mu_s$	Coef. de Fricción Cinética $\mu_k$
Acero - Acero	0.74	0.57
Aluminio - Acero	0.61	0.47
Cobre - Acero	0.53	0.36
Latón - Acero	0.51	0.44
Cinc - Hierro colado	0.85	0.21
Caucho - Concreto	1.0	0.8
Madera - Madera	0.25-0.5	0.2
Vidrio - Vidrio	0.94	0.4
Cobre - Vidrio	0.68	0.53
Hielo - Hielo	0.1	0.03
Teflón - Teflón	0.04	0.04
Teflón - Acero	0.04	0.04

**Tabla 2: Coeficiente de fricción según el material.**

Fuente: Sears, Z & Y. Física Universitaria

### **3.6 VENTAJAS DE LA TUBERÍA DE ALUMINIO**

McDonough afirma: "El hierro negro y el acero galvanizado son materiales comunes en las tuberías de los sistemas de aire comprimido. Entre un 60 % y un 70 % de todos los sistemas de aire comprimido instalado, sin embargo, el aluminio puede ofrecer mejor ahorro energético al momento de distribución de aire comprimido y al momento de la instalación de la red."

Las tuberías de aluminio son superiores a las de hierro negro y acero galvanizado debido a las siguientes razones:

1. Reducción de los costes de instalación.
2. Minimización de las fugas del sistema.
3. Las tuberías de aluminio no se corroen.
4. El aluminio es muy superior al cobre.
5. EL PVC y el acero inoxidable presentan problemas de coste y durabilidad
6. Las tuberías de aluminio son mucho más fáciles de instalar y de modificar que los sistemas de acero o de cobre.
7. El tubo de aluminio es mucho más ligero que el tubo de acero o de cobre. Esto también reduce los costes de instalación y modificación.
8. El aire comprimido proporcionado por un sistema construido con tuberías de aluminio es mucho más limpio que el aire que ofrece un sistema de tuberías de acero.
9. La resistencia a la corrosión del aluminio proporciona un flujo óptimo del aire, reduce los costes energéticos y mejora la calidad del aire contribuyendo a un menor coeficiente de fricción y ahorro energético.
10. Los accesorios utilizados en los sistemas de tuberías de aluminio encajan de forma segura y tienen muchas menos fugas que los accesorios utilizados en sistemas de rosca.

## IV. RESULTADOS

### 4.1 ANTIGUO DISEÑO DE RED DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO PARA SECUNDARIO

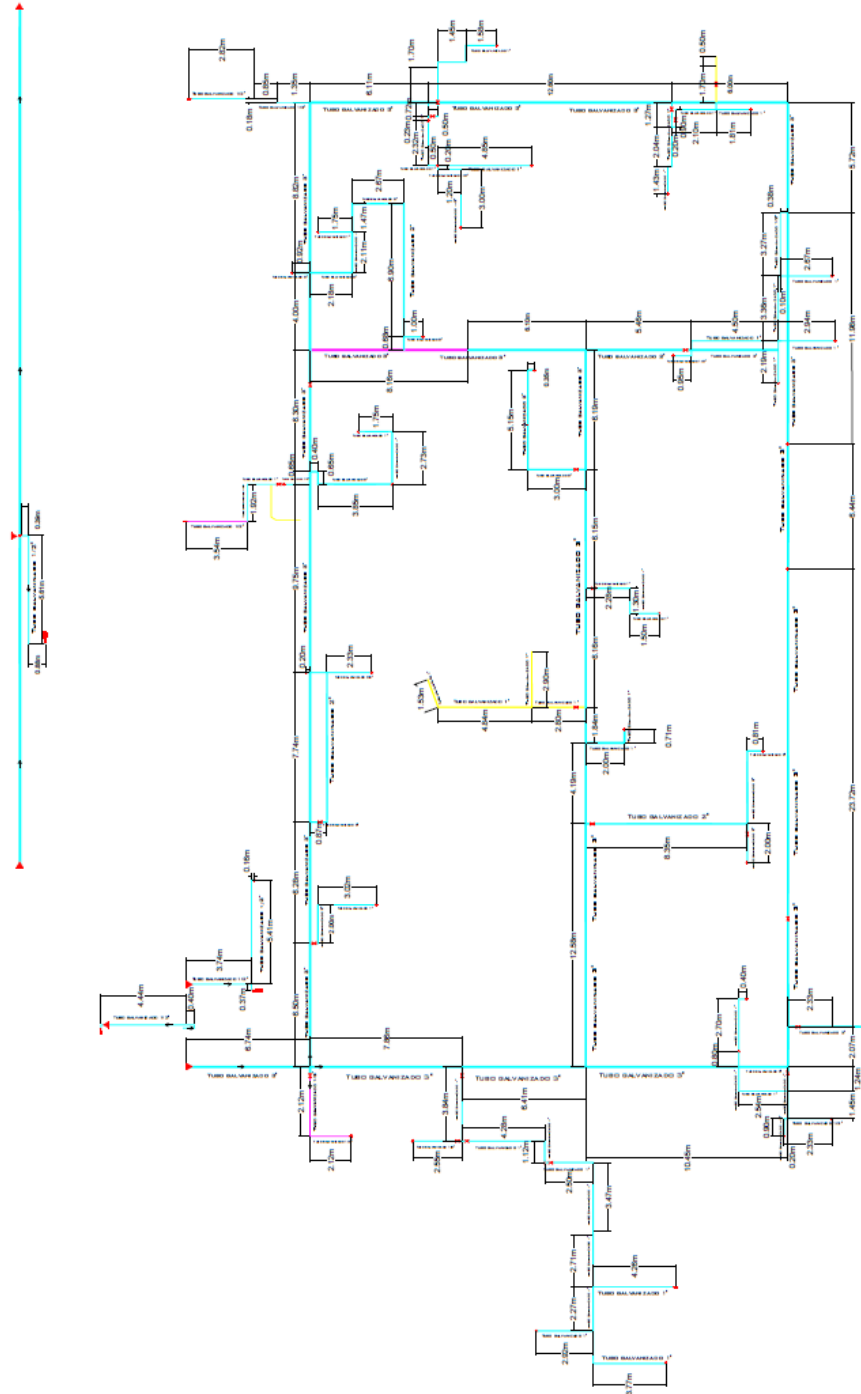
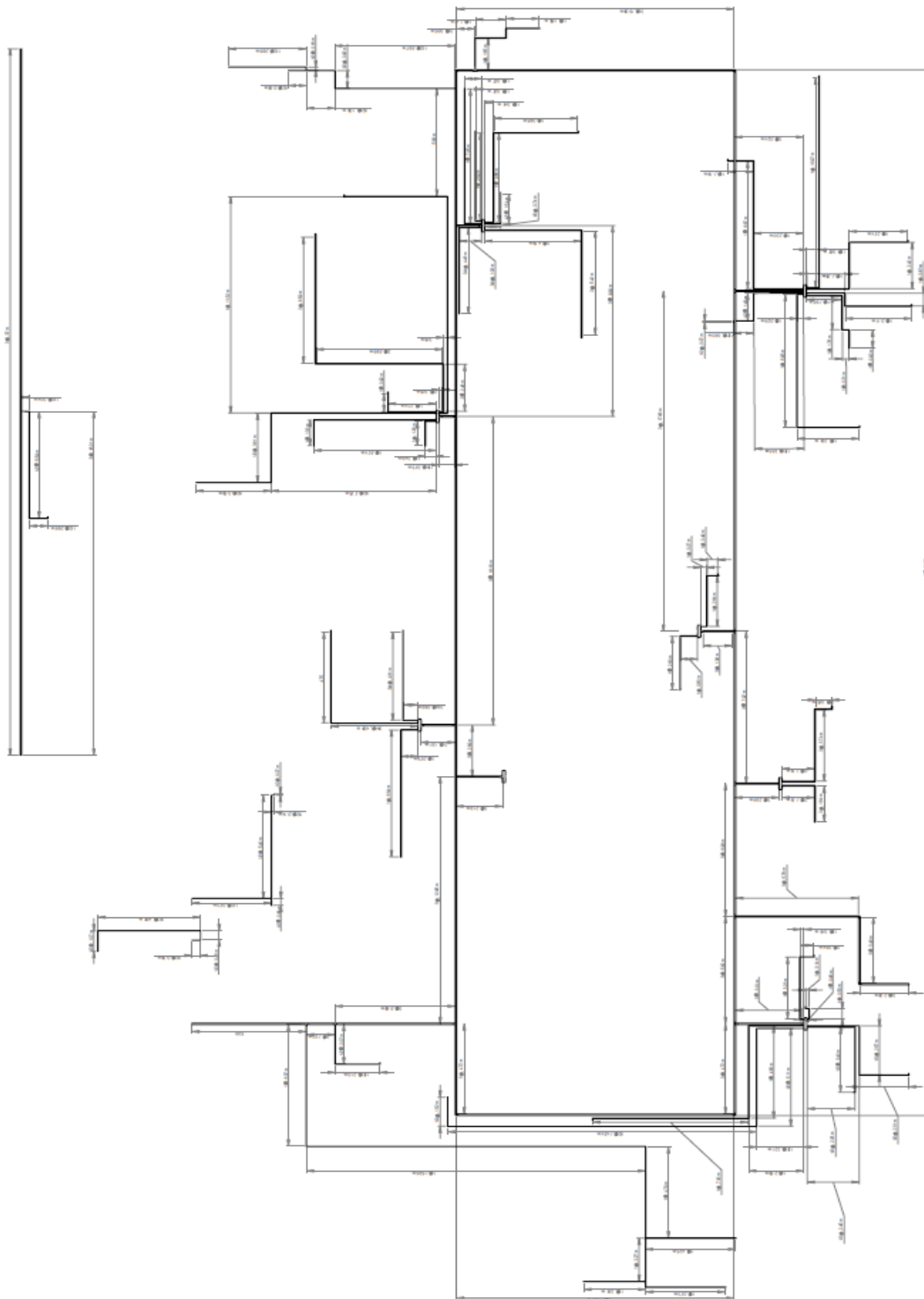


Ilustración 13: Diseño antiguo de red de aire comprimido smd.

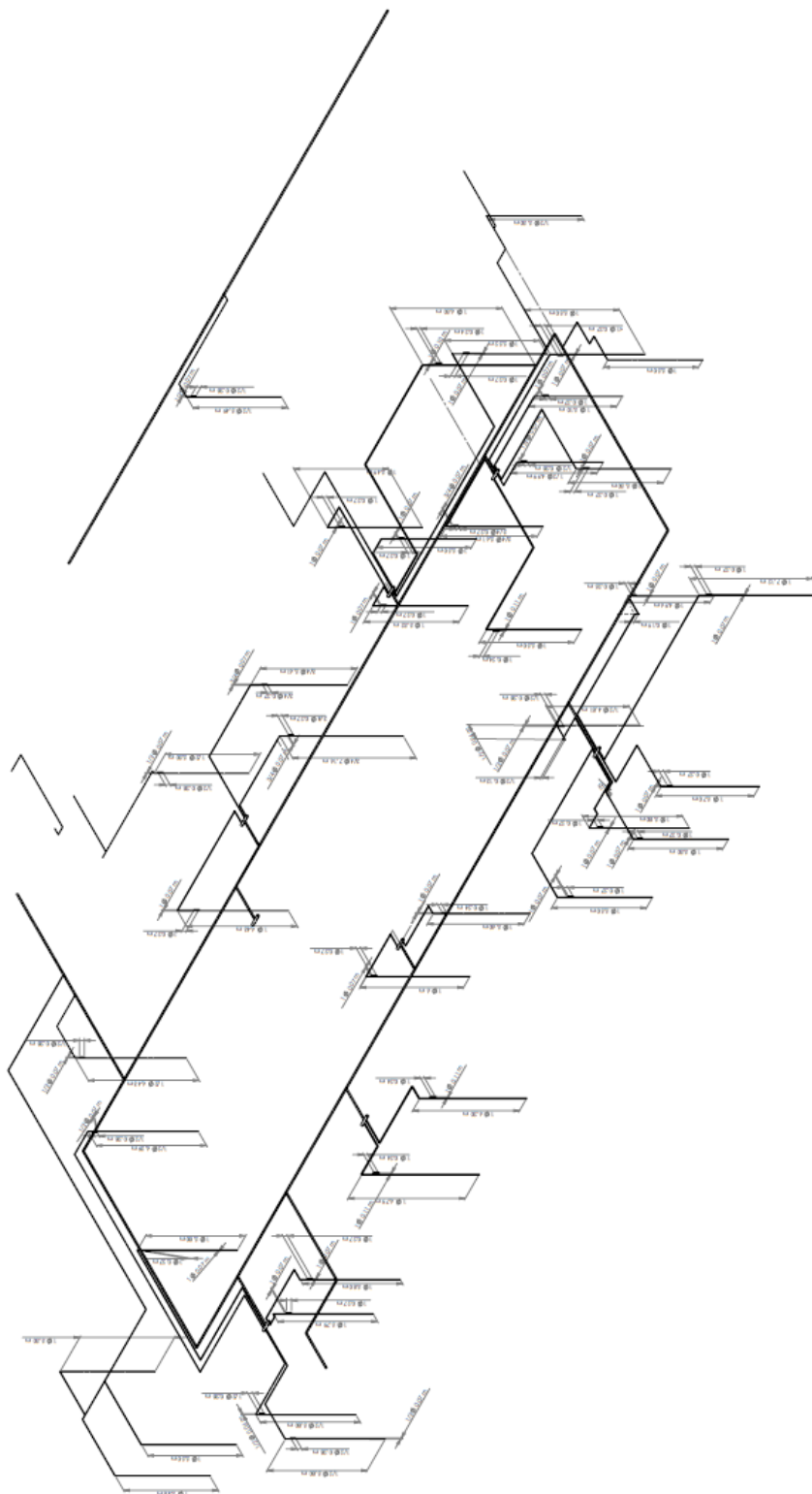
Fuente: Tabacalera Hondureña S.A.

## 4.2 NUEVO DISEÑO DE RED DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO PARA SECUNDARIO



**Ilustración 14: Vista de planta de red de aire comprimido smd.**

Fuente: Elaboración propia.



**Ilustración 15: Vista isométrica de red de aire comprimido smd.**

Fuente: Elaboración propia.

En el diseño elaborado se compactó la red de distribución de aire comprimido reduciendo en un 15% el número de codos totales para conseguir un mejor flujo laminar y menos fricción debido a la tubería de aluminio para garantizar una mejor eficiencia en el consumo.

### 4.3 COTIZACIÓN DE MATERIALES

Componentes	Codigo	Cantidad	Precio c/u	Precio
Tubo 1/2 (12mm)	ITA-12	39	\$ 56.28	\$ 2,194.92
Tubo 3/4 (19mm)	ITA-19	6	\$ 64.34	\$ 386.06
Tubo 1 (25mm)	ITA-25	57	\$ 34.44	\$ 1,963.08
Tubo 1 (25mm)	ITA-25	28	\$ 34.44	\$ 964.32
Tubo 4 (110mm)	ITA-110	9	\$ 478.13	\$ 4,303.15
codo 1/2	C-21	87	\$ 18.98	\$ 1,651.61
codo 3/4	C-19	12	\$ 19.80	\$ 237.55
codo 1	C-25	112	\$ 20.58	\$ 2,304.96
codo 1	C-25	19	\$ 20.58	\$ 391.02
codo 4	C-110	6	\$ 144.82	\$ 868.90
Valvula 1/2	VB-1/2"-H	35	\$ 19.60	\$ 686.00
Valvula 1		83	\$ 30.07	\$ 2,495.81
Tee 1/2	T-12	12	\$ 26.12	\$ 313.49
Tee 3/4	T-19	6	\$ 27.69	\$ 166.15
Tee 1	T-25	25	\$ 29.29	\$ 732.20
Tee 1	T-25	6	\$ 29.29	\$ 175.73
Tee 4	T-110	9	\$ 197.04	\$ 1,773.32
Tee red. 1 a 1/2	NPT T-25-1/2	16	\$ 24.53	\$ 392.45
Collarin 4(110mm) a 1	CL-110	2	\$ 31.64	\$ 63.28
Collarin 4 (110mm) a 1/2	CL-110	4	\$ 31.64	\$ 126.56
Union recta 1/2	UR-12	64	\$ 11.87	\$ 759.81
Union recta 3/4	UR-19	10	\$ 14.25	\$ 142.52
Union recta 1	UR-25	110	\$ 16.60	\$ 1,826.44
union recta 4	UR-110	16	\$ 53.82	\$ 861.06
Union roscada macho 25mm	UROM-25-1	177	\$ 19.50	\$ 3,451.50
Union roscada macho 12mm	UROM-12-1/2	78	\$ 8.70	\$ 678.60
			Total	\$ 29,910.49

**Tabla 3: Cotización de materiales para tubería de aire comprimido.**

Fuente: Elaboración propia

M4	M6	M2	M5	M1/9	M8	Calidad	Anillo	Filtro	area extra
4	12	4	9	2	2	0	0	0	6
0	0	4	2	0	0	0	0	0	0
10	5	3	7	5	15	10	0	0	2
4	0	0	3	4	0	0	17	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	2	7
2	30	13	12	8	7	0	0	0	15
0	0	8	4	0	0	0	0	0	0
13	16	7	16	11	37	8	0	0	4
6	0	0	4	9	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	4	2	0
3	9	3	5	7	5	0	0	0	3
8	17	13	10	15	10	4	0	0	1
1	6	2	0	0	0	0	0	0	3
0	0	4	2	0	0	0	0	0	0
2	7	2	7	4	1	2	0	0	0
0	0	0	2	4	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	9	0	0
3	2	3	2	2	1	3	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
0	0	0	0	0	0	0	3	0	1

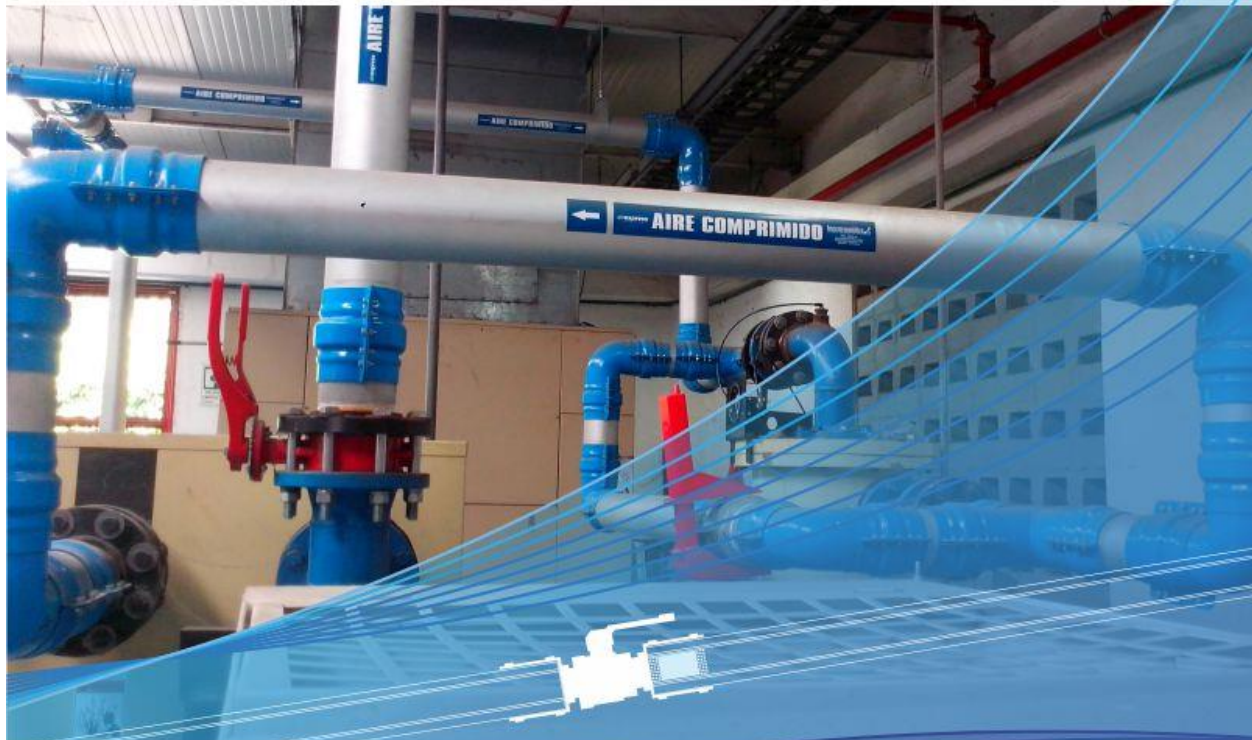
**Tabla 4: Levantamiento de materiales dividido por áreas en smd.**

Fuente: Elaboración propia

Flotec S.A. es una empresa con más de 20 años al servicio de la industria centroamericana, enfocada en soluciones tecnológicas para la industria. Son líderes en sistemas de aire comprimido de presión positiva y negativa. Flotec ofrece venta de equipos y servicio para compresores de aire, sistemas de tratamiento de aire comprimido, sopladores, equipos para el transporte neumático de productos a granel, sistemas de vibración para tolvas y cibras, lubricantes especializados para diferentes aplicaciones en la industria, filtros de aire, filtros de aceite y separadores para todas las marcas de compresores. Estos productos son elaborados en Colombia por la compañía Air Express Ingeneumática.

Flotec S.A. es la única empresa a nivel nacional que distribuye esta tubería de aluminio para aire comprimido. Esta cotización representa el total de materiales que son necesarios para la elaboración de este proyecto. Flotec brindó un catálogo con los precios de cada uno de los componentes que están representados en los diseños elaborados.

#### 4.4 TUBERÍA Y ACCESORIOS AIR EXPRESS



**Ilustración 16. Demostración de instalación de tubería air express.**

**Fuente: Air Express Ingeneumática**

La tubería de airexpress ayudara a conseguir un mejor ahorro energético por disminución de pérdidas de presión y de fugas, hasta de un 30% en comparación con una tubería de acero al carbono. Su superficie lisa minimiza las perdidas por fricción. Esta tecnología ayudará a la empresa aumentar la vida útil de los diferentes equipos neumáticos que posee la empresa ya que se logrará mantener volumen y presión constante que permite optimizar la eficiencia de los equipos que se encuentran en smd.

#### 4.5 CONSUMO DE AIRE COMPRIMIDO

En la siguiente tabla se muestra consumo eléctrico de aire comprimido en la empresa. Esta muestra de obtuvo de 6 meses, iniciando en el mes de julio y terminando en el mes de diciembre. Se eligieron estos meses ya que se obtuvieron los consumos mas elevados durante todo el año 2017. Esta tabla sirve como base para hacer escenario optimista, pesimista y realista ya que el fabricante nos garantiza una eficiencia del 30% pero dependerá del diseño de la red de distribución. El costo el proyecto es de \$29,910.49 convirtiéndolo a lempiras da la cantidad de 710,374.04 Lps. En base a este costo se verificará si el proyecto es factible o no para poder llevarlo a cabo y recuperar la inversión en el menor tiempo posible. Se calculará el ahorro en base al costo de 3.43 Lps por cada KWh para determinar la rentabilidad del proyecto.

<b>Consumo Aire Comprimido 2017</b>		
mes	consumo kWh	costo
julio	44,372.00	153,083.40
agosto	41,999.00	144,896.55
septiembre	33,662.00	116,133.90
octubre	25,225.00	87,026.25
noviembre	32,283.00	111,376.35
diciembre	29,742.00	102,609.90
	<b>Total Costo</b>	<b>715,126.35</b> LPS

**Tabla 5. Consumo de aire comprimido 2017.**

Fuente: Elaboración propia

#### 4.6 ESCENARIO REALISTA

Este escenario se basa en la muestra de 6 meses anteriormente explicada. El fabricante hace constatar que la utilización de las tuberías y accesorios de aluminio de air express del sistema de red de distribución de aire comprimido, garantizan una eficiencia del 30% en el consumo energético. Con una moderada demanda de aire comprimido y un buen diseño de la red de distribución, se establece que el porcentaje realista de eficiencia sería el 20%. El ahorro se basa en la resta del costo de consumo energético del año 2017 con la del Escenario realista. La inversión se recupera en 2.5 años ya que el costo del proyecto es de 710,374.04 Lps, lo cual hace que el proyecto sea factible para la empresa y logre satisfacer las necesidades y exigencias de las normativas ISO para la eliminación de teflón y recuperar el dinero lo más pronto posible.

<b>Escenario Realista Consumo Aire Comprimido</b>		
mes	consumo kWh	costo
julio	35,497.60	122,466.72
agosto	33,599.20	115,917.24
septiembre	26,929.60	92,907.12
octubre	20,180.00	69,621.00
noviembre	25,826.40	89,101.08
diciembre	23,793.60	82,087.92
	<b>Total Costo</b>	<b>572,101.08</b> LPS

**Tabla 6. Escenario realista de consumo de aire comprimido.**

Fuente: Elaboración propia

<b>AHORRO CADA 6 MESES EN LPS</b>	<b>143,025.27</b>
<b>AHORRO CADA AÑO EN LPS</b>	<b>286,050.54</b>
<b>AHORRO EN 2.5 AÑOS EN LPS</b>	<b>717,986.86</b>

#### 4.7 ESCENARIO OPTIMISTA

Este escenario se basa en la muestra de 6 meses anteriormente explicada. El fabricante hace constatar que la utilización de las tuberías y accesorios de aluminio de air express del sistema de red de distribución de aire comprimido, garantizan una eficiencia del 30% en el consumo energético. Tomando el 30% garantizado por el fabricante y que las perdidas sean mínimas, el proyecto es altamente factible debido a que se recupera la inversión en 1.5 años ya que el costo del proyecto es de 710,374.04 Lps. y al mismo tiempo se cumple la normativa ISO para la eliminación de teflón en las tuberías de aire comprimido. La inversión se recupera increíblemente rápido por lo cual el proyecto estaría pronto a realizarse.

<b>Escenario Optimista Consumo Aire Comprimido</b>		
mes	consumo kWh	costo
julio	31,060.40	107,158.38
agosto	29,399.30	101,427.59
septiembre	23,563.40	81,293.73
octubre	17,657.50	60,918.38
noviembre	22,598.10	77,963.45
diciembre	20,819.40	71,826.93
	<b>Total Costo</b>	<b>500,588.45</b> LPS

**Tabla 6. Escenario realista de consumo de aire comprimido.**

Fuente: Elaboración propia

<b>AHORRO CADA 6 MESES EN LPS</b>	<b>214,537.91</b>
<b>AHORRO CADA AÑO EN LPS</b>	<b>429,075.81</b>
<b>AHORRO EN 1.5 AÑOS EN LPS</b>	<b>729,428.88</b>

#### 4.5 ESCENARIO PESIMISTA

Este escenario se basa en la muestra de 6 meses anteriormente explicada. El fabricante hace constatar que la utilización de las tuberías y accesorios de aluminio de air express del sistema de red de distribución de aire comprimido, garantizan una eficiencia del 30% en el consumo energético. Tomando en cuenta que la red no tenga un diseño adecuado y que la demanda sea demasiado alta se establece que el ahorro sería del 10%. El ahorro se basa en la resta del costo de consumo energético del año 2017 con la del escenario pesimista. En la tabla 6 se puede observar que la inversión sería demasiado alta ya que se recuperara en 5 años, sin embargo, la empresa está obligada a eliminar el uso de teflón en las tuberías de aire comprimido debido a las nuevas normativas ISO por lo cual el proyecto siempre se realizaría, pero su realización tomaría varios años debido al costo de inversión y el tiempo de recuperación de la inversión.

<b>Escenario Pesimista Consumo Aire Comprimido</b>		
mes	consumo kWh	costo
julio	39,934.80	137,775.06
agosto	37,799.10	130,406.90
septiembre	30,295.80	104,520.51
octubre	22,702.50	78,323.63
noviembre	29,054.70	100,238.72
diciembre	26,767.80	92,348.91
	<b>Total Costo</b>	<b>643,613.72</b>

**Tabla 6. Escenario pesimista de consumo de aire comprimido.**

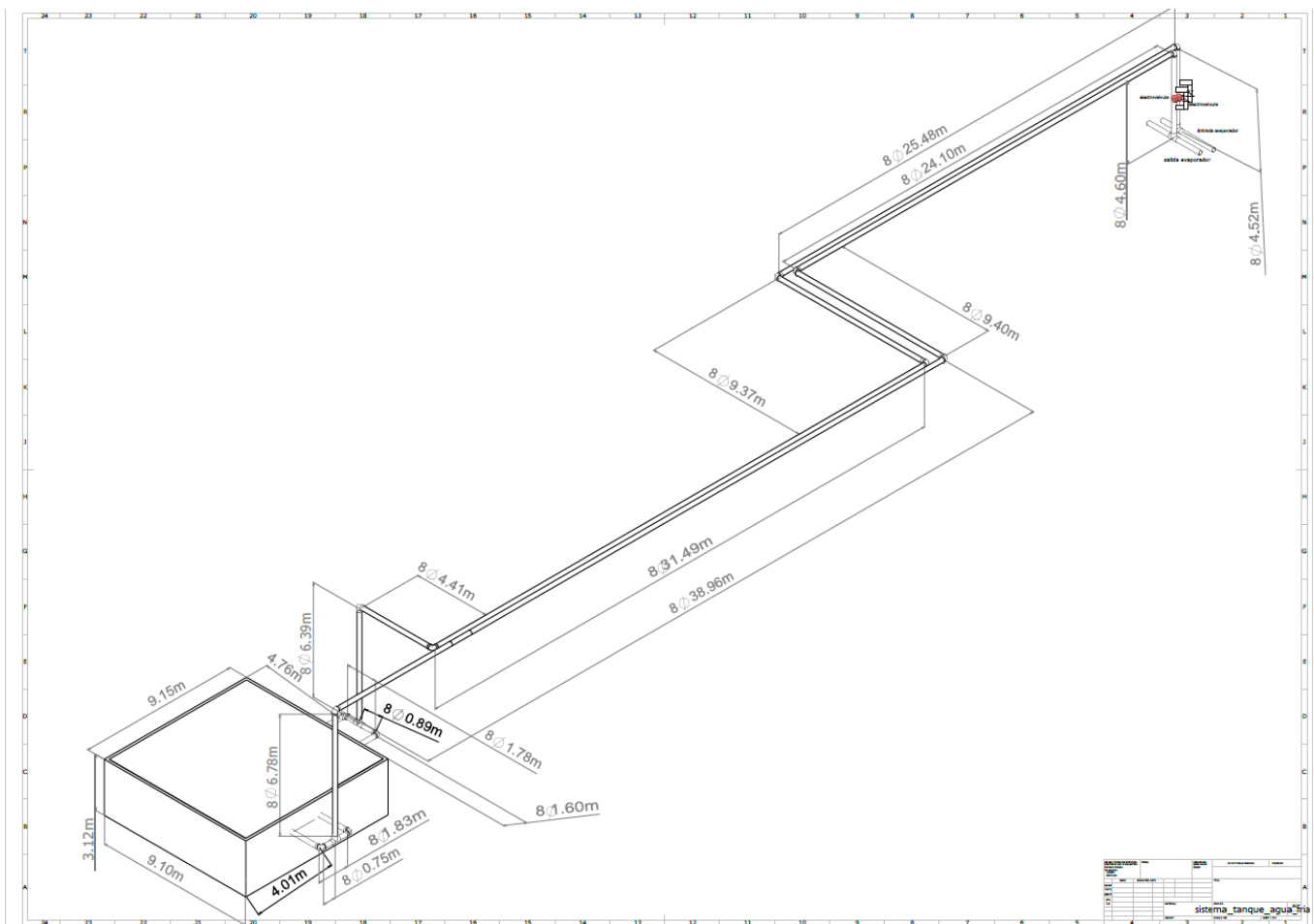
Fuente: Elaboración propia

<b>AHORRO CADA 6 MESES EN LPS</b>	<b>71,512.64</b>
<b>AHORRO CADA AÑO EN LPS</b>	<b>143,025.27</b>
<b>AHORRO EN 5 AÑOS EN LPS</b>	<b>715,126.35</b>

## V. APORTACIONES

### 5.1 Diseño del sistema de almacenamiento de agua fría.

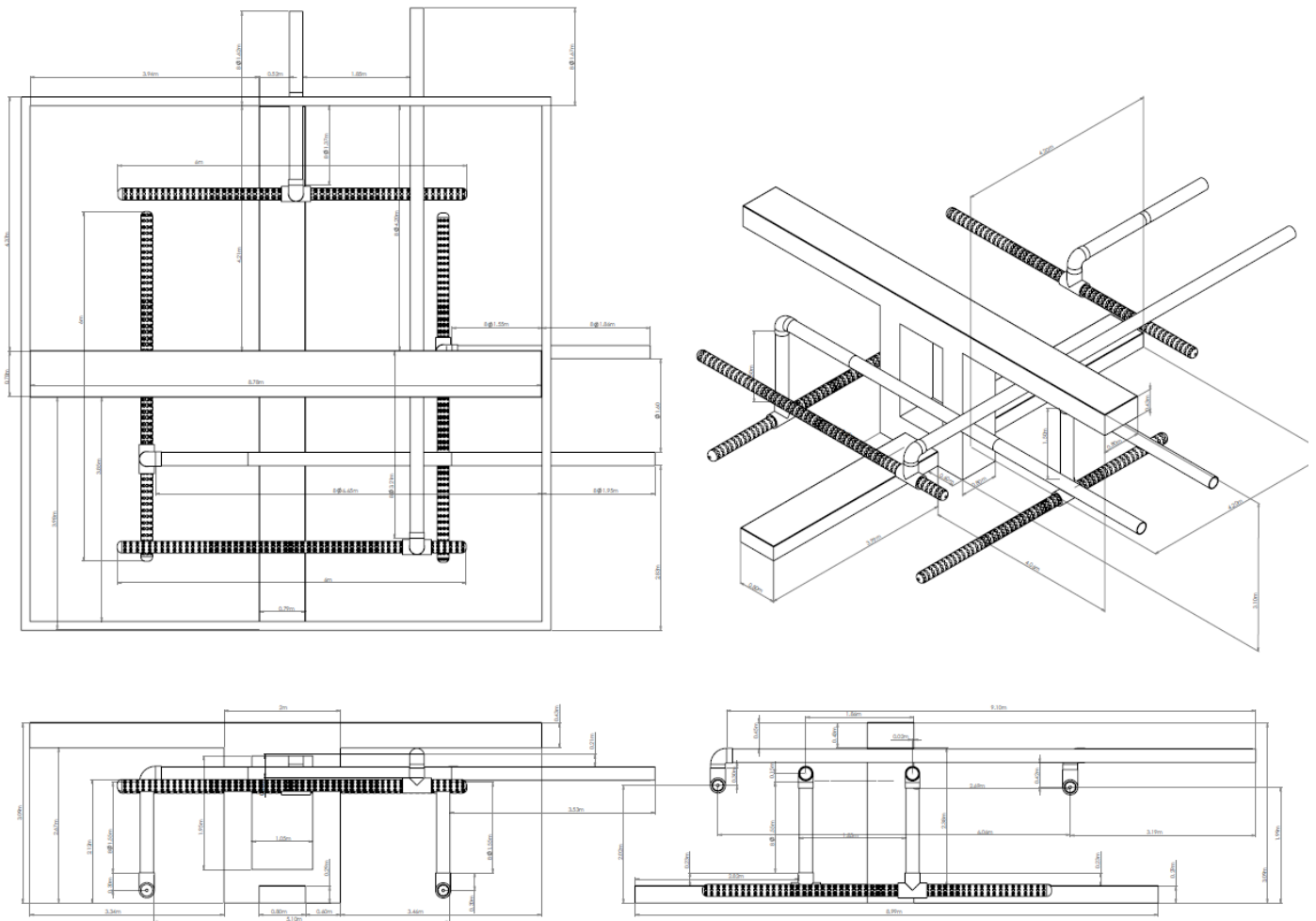
Debido a entrará en vigor una nueva tarifa de bajo costo durante la noche, se está planteando utilizar unas pilas en la parte inferior de PMD para poder almacenar el agua fría durante la noche. Este diseño incluye modificaciones al interior de la pila existente para maximizar su capacidad de almacenamiento. El proyecto todavía esta en fase de evaluación y cotización. Se pretende economizar el uso de energía de la eléctrica de los chillers almacenando agua durante la noche para ser utilizada el día siguiente. Hay diversos factores que se deben tomar en cuenta como la demanda, flujo, presión, temperatura y capacidad de almacenamiento del tanque.



**Ilustración 17. Sistema de almacenamiento de agua fría.**

Fuente: Elaboración Propia

## 5.2 Diseño de la pila para almacenamiento de agua fría.



**Ilustración 18. Estructura interior de la pila para agua fría.**

Fuente: Elaboración propia

La pila debe estar adecuadamente aislada para mantener el agua fría a una temperatura de 6°C. El sistema está programado en dos etapas:

- Descarga: Se descarga el agua fría localizada en el fondo de la pila mediante las válvulas moduladas a un flujo constante por medio de la bomba secundaria, al mismo tiempo, se recircula el agua caliente por el chiller Carrier para enfriarla.
- Carga: Se almacenará el agua producida por el chiller Daikin durante la noche debido a la tarifa de bajo costo. Se extrae el agua caliente en la parte superior de la pila para abastecerla con agua helada por el difusor inferior localizado en la pila.

### 5.3 Datos técnicos de la pila de agua fría.

	Galones	M3	Kg de h2O
Volumen	45,000	170.34	170,343.50

**Tabla 9. Capacidad de almacenamiento de la pila.**

Fuente: Elaboración propia

	COP avg
Chiller Daikin	5.851

**Tabla 10. COP chiller.**

Fuente: Tabacalera Hondureña

Energía necesaria para enfriar el agua	Joules	KWHt	KWHe
	-2863474235	795.41	135.94

**Tabla 11. Energía necesaria para enfriar el agua.**

Fuente: Elaboracion propia

	KWHe	Costo (lps)
Consumo energético chillers por hora	95.92	330.92
Consumo energético por hora	135.94	209.35

**Tabla 12. Comparación de consumo energético.**

Fuente: Elaboración propia

La utilización de la pila da un ahorro de 121.57 Lps por cada hora de uso lo cual disminuye el costo energético de la empresa. El proyecto todavía está en fase de evaluación debido a que se debe tomar en cuenta el consumo de bombas y el tiempo total de uso que brindará la pila de agua fría.

#### 5.4 Cotización para sistema almacenamiento de agua fría.

Componentes	Cantidad	Precio c/u	Precio Total
tubo 8 in	36		
Codo 8 in	21		
Tee 8 in	12		
Electrovalvula 8 in	2	L 77,546.00	L 155,092.00
Valvula N.C, 8 in	2	L 7,596.00	L 15,192.00
Variador freq.	1	L 66,209.74	L 66,209.74
Bomba	1		
Difusor	4		
Sensor de temp	2	L6,217.00	L12,434.00
Sensor de nivel	2	L5,900.00	L11,800.00
Modulo de entradas analogas	1	L8,810.00	L8,810.00
modulo de salidas digitales	1	L6,375.00	L6,375.00
reles 24v (120v-240v)	4	L251.42	L1,005.68
			<b>L 276,918.42</b>

**Tabla 13. Cotización para pila de agua fría.**

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla anterior se puede observar los materiales necesarios para la implementación de la pila para agua fría. En su mayor parte hay materiales de automatización, sin embargo, quedan pendiente materiales como tubos, codos y tees debido a ciertos contratiempos por parte de los proveedores. Esta cotización sirve para poder ir determinando cuanto tiempo se tardará en recuperar la inversión tomando en cuenta el ahorro.

## **VI. CONCLUSIONES**

- Se diseñó la tubería utilizando aluminio como material de alta calidad, cumpliendo con los estándares de alta calidad y normas ISO.
- Se redujo el coeficiente de fricción debido a las propiedades físicas del aluminio dando como resultado positivo a mayor eficiencia y menos consumo de aire comprimido.
- Se determinó que el proyecto es factible para la empresa debido a que su inversión total es recuperada en 2.5 años, al mismo tiempo, cumple con otra normativa de producción libre de PVC debido a la naturaleza de la instalación de la nueva tubería, convirtiendo el proyecto en fundamental.

## **VII. RECOMENDACIONES**

Para la empresa:

- Enfocarse en proyectos de mayor impacto debido a que los otros proyectos asignados no eran factibles debido al alto costo de su realización y una relación de costo-beneficio sin resultados positivos.
- Manejar un mejor catalogo de proveedores debido a la limitación de productos a nivel nacional.

Para la universidad:

- Impartir una nueva clase de dibujo técnico basado en AutoCAD para la realización de planos eléctricos y físicos en dos dimensiones.
- Realizar talleres sobre desarrollo de proyectos basados en neumática y refrigeración ya que en la industria se implementa de manera frecuente.

## VIII. BIBLIOGRAFIA

- Emilio Rodríguez (2013). *Propiedades del aire comprimido*. Recuperado a partir de: <https://www.monografias.com/docs/Propiedades-del-aire-comprimido-PKMUNQYMY>
- Francisco Álvarez (2004). *Calidad de sistemas neumáticos*. Recuperador a partir de: [http://www.tecnologia-tecnica.com.ar/index\\_archivos/Page5297.htm](http://www.tecnologia-tecnica.com.ar/index_archivos/Page5297.htm)
- Jorge Torres (2010). *Aire comprimido*. Recuperado a partir de: <https://www.mundocompresor.com/diccionario-tecnico/aire-comprimido>.
- Héctor Alfaro (2012). *Diferentes tipos de compresores*. Recuperado a partir de: <https://www.mundocompresor.com/articulos-tecnicos/diferentes-tipos-compresores>.
- Eugenio Cantero (2015). *Como funciona un compresor de tornillo*. Recuperado a partir de: <https://compresoresblog.wordpress.com/2015/01/14/como-funciona-un-compresor-de-tornillo/>
- Javier Pérez (2008). *Compresor Rotativo de paletas*. Recuperado a partir de: <http://tecnologia-compresores.blogspot.com/2010/04/compresor-rotativo-paletas.html>
- Jimmy Alfredo Villalba (2007). *Compresor de Lóbulos o Émbolos Rotativos*. Recuperado a partir de: <https://www.scribd.com/document/326248927/Compresor-de-Lobulos-o-Embolos-Rotativos>
- Marisol García (2013). *Aplicaciones de aire comprimido en la industria*. Recuperado a partir de: <https://prezi.com/02apr6uey3cg/aplicaciones-de-aire-en-la-industria/>
- Marcelo Cassani (2011). *Diseño de instalaciones de aire comprimido*. Recuperado a partir de: <https://marcelocassani.wordpress.com/2011/02/02/disenoinstalacionesdeaire/>
- Carlos Mejia (2006). *Sistema de distribución cerrado*. Recuperado a partir de: <http://www.zootecniadomestica.com/red-distribucion-aire-comprimido/>
- Andrés Casanova (2014). *Redes de aires*. Recuperado a partir de: <http://www.monografias.com/trabajos16/redes-de-aire/redes-de-aire.shtml>
- Augusto Márquez (2016). *Sistemas de redes de aire comprimido*. Recuperador a partir de: <http://www.parkertransair.com/jahia/Jahia/filiale/spain/lang/es/home/TechnicalCenter/CompressedAirPipeSystem>

- Andrés Hernández (2002). *Ahorro energético de aire comprimido*. Recuperado a partir de [http://www.monografias.com/trabajos12/ahorro\\_aire\\_comprimido/redes-de-aire.shtml](http://www.monografias.com/trabajos12/ahorro_aire_comprimido/redes-de-aire.shtml)
- Olsson, McGraw (2001). *Mecánica clásica*. Recuperado a partir de: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/mecref.html#c1>
- Kyri McDonough (2006). *Neumática*. Recuperado a partir de: <https://www.schneider-electric.es/es/work/insights/five-reasons-why-aluminum-piping-makes-sense-for-compressed-air-systems.jsp>
- Jorge Lopez (2010). *Red Neumatica*. Recuperador a partir de: <http://repositorio.upct.es/xmlui/bitstream/handle/10317/5707/tfe-par-dis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>