



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica

**DISEÑO DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO PARA LA  
PLANTA DE AUTOABASTECIMIENTO DE PANELES DE  
MADERA DE LA FUNDACIÓN TECHO GUATEMALA**

**Joanne Stephany Delgado Melgar**

Asesorado por el Ing. Álvaro Antonio Ávila Pinzón

Guatemala, Mayo de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO PARA LA  
PLANTA DE AUTOABASTECIMIENTO DE PANELES DE  
MADERA DE LA FUNDACIÓN TECHO GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**JOANNE STEPHANY DELGADO MELGAR**

ASESORADO POR EL ING ÁLVARO ANTONIO ÁVILA PINZÓN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERA MECÁNICA**

GUATEMALA, MAYO DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

|            |                                     |
|------------|-------------------------------------|
| DECANO     | Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos    |
| VOCAL I    | Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno |
| VOCAL II   | Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  |
| VOCAL III  | Inga. Elvia Miriam Ruballos Samyoa  |
| VOCAL IV   | Br. Walter Rafael Véliz Muñoz       |
| VOCAL V    | Br. Sergio Alejandro Donis Soto     |
| SECRETARIO | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez     |

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

|            |                                    |
|------------|------------------------------------|
| DECANO     | Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos   |
| EXAMINADOR | Ing. Fredy Mauricio Monroy Peralta |
| EXAMINADOR | Ing. Víctor Manuel Ruiz Hernández  |
| EXAMINADOR | Ing. Raúl Guillermo Izaguirre      |
| SECRETARIO | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez    |

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **DISEÑO DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO PARA LA PLANTA DE AUTOABASTECIMIENTO DE PANELES DE MADERA DE LA FUNDACIÓN TECHO GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha octubre de 2012.



**Joanne Stephany Delgado Melgar**



Guatemala 19 de noviembre de 2013

Ing. Julio Cesar Campos Paiz  
Director Escuela de Ingeniería Mecánica  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero Campos:

Por este medio me comunico con usted deseándole éxitos en sus actividades diarias y así mismo para informarle que como asesor de la TESIS de la estudiante **Joanne Stephany Delgado Melgar** de la carrera de ingeniería mecánica con carné **200516068**, procedí a revisar la tesis cuyo nombre es **DISEÑO DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO PARA LA PLANTA DE AUTOABASTECIMIENTO DE PANELES DE MADERA DE LA FUNDACION TECHO GUATEMALA.**

En tal virtud **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular me despido quedando a sus órdenes

Atentamente



Ing. Álvaro Antonio Ávila Pinzón

Asesor de TESIS  
Colegiado 2262



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

El Coordinador del Área Complementaria, de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado **DISEÑO DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO PARA LA PLANTA DE AUTOABASTECIMIENTO DE PÁNELES DE MADERA DE LA FUNDACIÓN TECHO GUATEMALA**, de la estudiante **Joanne Stefhany Delgado Melgar**, recomienda su aprobación.

**ID Y ENSEÑAD A TODOS**



Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez  
Coordinador de Área

Guatemala, enero de 2014.

/behdei.



**USAC**

TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.Mecanica.98.2014

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, con la aprobación del Coordinador del Área de Diseño, del trabajo de graduación titulado **DISEÑO DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO PARA LA PLANTA DE AUTOABASTECIMIENTO DE PANELES DE MADERA DE LA FUNDACIÓN TECHO GUATEMALA**, de la estudiante **Joanne Stephany Delgado Melgar**, procede a la autorización del mismo.

*"Id y Enseñad a Todos"*

Ing. Julio César Campos Paiz  
Director  
Escuela de Ingeniería Mecánica

MA Ing. Julio César Campos Paiz  
DIRECTOR  
Esc. Ingeniería Mecánica

Guatemala, abril de 2014.

Universidad de San Carlos  
de Guatemala

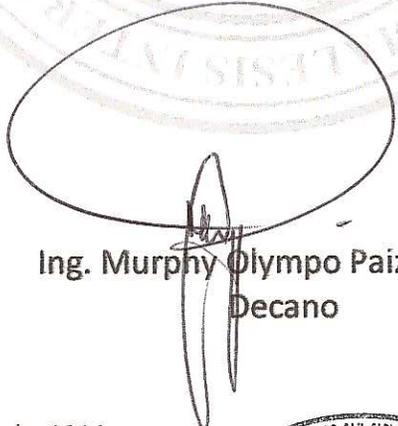


Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 198.2014

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DEL SISTEMA DE AIRE COMPROMIDO PARA LA PLANTA DE AUTOABASTECIMIENTO DE PANELES DE MADERA DE LA FUNDACIÓN TECHO GUATEMALA**, presentado por la estudiante universitaria **Joanne Stephany Delgado Melgar**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Decano

Guatemala, 5 de mayo de 2014

/gdech



## **ACTO QUE DEDICO A:**

**Mi madre**

Que con paciencia y dedicación me llevó hasta este momento de mi vida.

**Mi hermano**

Que me acompañó y me enseñó a tener paciencia

**Mi casa de estudios**

Que me dio tanto conocimiento

**Mis amigos**

Por ser una buena compañía y apoyo en todo momento.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

- Dios**                      Que me dotó de las aptitudes necesarias para culminar de manera exitosa mis estudios.
- Mis catedráticos**        Por haberme proporcionado las herramientas necesarias para desenvolverme con diligencia dentro del ámbito profesional.

## ÍNDICE GENERAL

|  |      |
|--|------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....                | III  |
| LISTA DE SÍMBOLOS .....                      | V    |
| GLOSARIO .....                               | VII  |
| RESUMEN .....                                | IX   |
| OBJETIVOS.....                               | XI   |
| INTRODUCCIÓN .....                           | XIII |
| <br>   |      |
| 1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS .....                | 1    |
| 1.1. Presión .....                           | 1    |
| 1.2. Caudal .....                            | 1    |
| 1.3. Potencia.....                           | 2    |
| 1.4. Compresores .....                       | 2    |
| 1.4.1. Compresores alternativos .....        | 3    |
| 1.4.2. Compresor de tornillo .....           | 4    |
| 1.4.3. Eficiencia del compresor.....         | 5    |
| 1.5. Tipo de sistema .....                   | 6    |
| 1.5.1. Circuito cerrado .....                | 6    |
| 1.5.2. Circuito abierto.....                 | 7    |
| 1.6. Tuberías .....                          | 7    |
| 1.7. Accesorios .....                        | 10   |
| 1.8. Unidad de mantenimiento.....            | 12   |
| 1.8.1. Condensador de humedad .....          | 12   |
| 1.8.1.1. Filtro de aire.....                 | 13   |
| 1.8.1.2. Válvula reguladora de presión ..... | 14   |
| 1.8.1.3. Manómetro.....                      | 14   |

|        |                                      |    |
|--------|--------------------------------------|----|
| 1.9.   | Mantenimiento.....                   | 15 |
| 2.     | ANTECEDENTES.....                    | 19 |
| 2.1.   | Fundación TECHO Guatemala .....      | 19 |
| 2.2.   | ¿Qué se hace actualmente? .....      | 21 |
| 2.3.   | ¿Qué se quiere lograr? .....         | 21 |
| 3.     | PROPUESTA DEL SISTEMA NEUMÁTICO..... | 23 |
| 3.1.   | Diseño .....                         | 23 |
| 3.1.1. | Compresor.....                       | 23 |
| 3.1.2. | Pistolas.....                        | 24 |
| 3.1.3. | Accesorios y tuberías .....          | 26 |
| 3.1.4. | Tipo de sistema .....                | 30 |
| 3.1.5. | Soporte de la tubería .....          | 30 |
| 3.1.6. | Mantenimiento .....                  | 31 |
| 3.2.   | Costos .....                         | 33 |
| 3.2.1. | De instalación.....                  | 33 |
| 3.2.2. | De mantenimiento .....               | 34 |
| 3.3.   | Propuesta alternativa .....          | 34 |
| 3.4.   | Ampliaciones.....                    | 36 |
|        | CONCLUSIONES.....                    | 37 |
|        | RECOMENDACIONES .....                | 39 |
|        | BIBLIOGRAFÍA.....                    | 41 |
|        | ANEXOS.....                          | 43 |

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 1.  | Clasificación de compresores .....           | 3  |
| 2.  | Compresor alternativo .....                  | 4  |
| 3.  | Compresor rotativo.....                      | 5  |
| 4.  | Sistema cerrado .....                        | 6  |
| 5.  | Sistema abierto .....                        | 7  |
| 6.  | Accesorios.....                              | 11 |
| 7.  | Potencia del compresor.....                  | 24 |
| 8.  | Pistola clavadora SENCO Pallet pro 100 ..... | 25 |
| 9.  | Engrapadora SENCO SNS45XP .....              | 26 |
| 10. | Equivalencia de accesorios en metros .....   | 28 |

### TABLAS

|       |  |    |
|-------|--|----|
| I.    | Unidades de presión y conversiones .....                     | 1  |
| II.   | Unidades de caudal y conversiones.....                       | 2  |
| III.  | Unidades de potencia y conversiones.....                     | 2  |
| IV.   | Resistencia de materiales para fabricación de tuberías ..... | 9  |
| V.    | Dimensionamiento de tubería .....                            | 27 |
| VI.   | Accesorios del diseño .....                                  | 28 |
| VII.  | Accesorios con equivalencia en metros .....                  | 29 |
| VIII. | Distancia entre soportes .....                               | 30 |
| IX.   | Costos de instalación .....                                  | 33 |
| X.    | Costos de mantenimiento .....                                | 34 |

XI. Gastos de instalación propuesta alternativa .....35

## LISTA DE SÍMBOLOS

| <b>Símbolo</b> | <b>Significado</b>  |
|----------------|---|
| <b>HP</b>      | Caballo de fuerza, unidad de potencia utilizada en el sistema inglés.               |
| <b>Q</b>       | Caudal, unidad de flujo que atraviesa un área respecto al tiempo.                   |
| <b>psi</b>     | Libra por pulgada cuadrada.   |
| <b>CFM</b>     | Pies Cúbicos por Minuto.  |
| <b>P</b>       | Presión, fuerza por unidad de superficie.   |
| <b>Bar</b>     | Unidad de presión equivalente a un millón de varias, aproximadamente una atmósfera. |
| <b>VE</b>      | Vivienda de emergencia.   |



## GLOSARIO

|                            |   |
|----------------------------|---|
| <b>Aire</b>                | Gas incoloro e inodoro que está formado de varios gases, entre los que predominan el nitrógeno y el oxígeno.  |
| <b>Aire seco</b>           | Es aquel en el cual se contenido de vapor de agua es cero o despreciable.   |
| <b>Compresibilidad</b>     | Propiedad que poseen los gases de reducir su volumen.   |
| <b>Neumática</b>           | Parte de la física que estudia las propiedades del aire comprimido y sus aplicaciones.  |
| <b>Presión atmosférica</b> | Es la presión que ejerce la atmósfera sobre la superficie terrestre. Esta presión no es constante ya que se ve afectada por la altura. Se determina como presión atmosférica normal, la presión existente al nivel del mar cuyo valor es de 17,7 psi. |



## RESUMEN

El aire es un gas que posee ciertas características especiales como compresibilidad, elasticidad, difusibilidad, expansibilidad entre otras, que lo hacen ser apropiado para utilizarse en aplicaciones como la neumática.

La neumática utiliza aire comprimido para transformarlo en trabajo útil, lo que proporciona una gran cantidad de ventajas tales como incremento de la producción con cambios relativamente pequeños, proporciona una mayor seguridad a la hora de operación por la estabilidad del aire comprimido. También existen limitaciones como bajas velocidades de operación, se necesitan de condiciones especiales en relación a humedad y temperatura para que el equipo funcione de forma correcta y se alcance la vida útil esperada.

Existen diferentes tipos de compresores y accesorios que deben ser seleccionados bajo los criterios específicos de operación del sistema, ambiente en el que se va a utilizar, mantenimiento, ubicación, costo, entre otros factores que se detallan más adelante.

Para la fabricación de paneles de madera se utilizan pistolas de impacto las cuales utilizan aire comprimido para lograr la presión necesaria para que los clavos penetren, fijen la madera y así dar forma a los paneles que serán empleados en la construcción de la vivienda de emergencia para la familia que viven en situación de pobreza extrema.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Crear un diseño para el sistema de aire comprimido para la planta de autoabastecimiento de paneles de madera de la fundación TECHO Guatemala.

### **Específicos**

1. Determinar las características del equipo a utilizar para poder sugerir un tamaño ideal de compresor.
2. Determinar el tipo de compresor ideal según la cantidad y el trabajo a realizar.
3. Diseñar un programa de mantenimiento de acuerdo a las necesidades de la planta.
4. Especificar el sistema de distribución del aire comprimido.
5. Estimar las futuras ampliaciones para que el sistema siempre pueda trabajar en óptimas condiciones.



## INTRODUCCIÓN

La fundación TECHO Guatemala, busca mejorar la calidad de vida de las familias que actualmente viven en situación de pobreza y pobreza extrema. En un principio, los esfuerzos se orientan a satisfacer la necesidad de una vivienda digna a través de la construcción de una vivienda de emergencia. Esta primera etapa constituye la puerta de entrada para que muchos jóvenes voluntarios que no han tenido la oportunidad de acercarse a la realidad de los asentamientos, participen de una experiencia social de alto impacto emocional y social.

El proceso de construcción establece los primeros vínculos de confianza con los pobladores y líderes de la comunidad, validando una relación que permite posteriormente un trabajo más permanente en las comunidades.

La vivienda de emergencia es una casa de madera prefabricada, de 18 metros cuadrados (6 metros de frente por 3 metros de fondo). Se construye sobre la base de 12 pilotes que la aísla del suelo y la protege de la humedad, inundaciones y plagas. Tiene una durabilidad promedio de 7 a 10 años y puede ser edificada en 2 días por una cuadrilla de 8 a 10 jóvenes voluntarios en conjunto con la familia beneficiada.

Dada la gran demanda de estas viviendas, la organización se ha visto en la necesidad de hacer su propia fábrica de paneles, esto reduciría los costos de manufactura de la vivienda, cubriendo en un inicio una cantidad parcial de la demanda de viviendas de emergencia, para luego cubrir la demanda total.

Dentro de esta planta de paneles se deberá contar con un sistema de aire comprimido para la utilización de pistolas de impacto y engrapadoras, las que serán utilizadas en el ensamblaje de dichos paneles.

El aire comprimido es ampliamente utilizado en la industria manufacturera ya que proporciona grandes ventajas que ayudan agilizar los procesos lo cual reduce los costos e incrementa la eficiencia del equipo y la calidad del producto que se fabrica.

Es importante mencionar que la utilización del aire comprimido tiene ventajas como desventajas sobre diferentes tipos de métodos. Por lo tanto es necesario definir desde un principio las necesidades que se desean suplir así como los aspectos característicos del lugar, como: factores ambientales, estructurales, ampliaciones de la planta y el diseño del sistema en sí.

En el presente trabajo de graduación se hace un análisis detallado de las funciones y producción de la fábrica, lo cual servirá para conocer el modo de trabajo y la producción proyectada para luego proponer un diseño del sistema neumático ideal, además de una alternativa adicional basándose en utilidad y costos, también los accesorios y dispositivos neumáticos utilizados por el sistema que se implementará en la planta de paneles de la fundación TECHO Guatemala.

# 1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

## 1.1. Presión

La presión es una fuerza por unidad de superficie y puede expresarse en unidades tales como pascal, bar, atmósferas, kilogramos por centímetro cuadrado y psi (libras por pulgada cuadrada). A continuación se encuentra una tabla con las diferentes unidades de presión y sus conversiones.

Tabla I. **Unidades de presión y conversiones**

|                    | PSI                  | Atmosf.                | kg/cm <sup>2</sup>     | cm c.a. | mm Hg  | Bar              | Pa                   |
|--------------------|----------------------|------------------------|------------------------|---------|--------|------------------|----------------------|
| PSI                | 1                    | 0,0680                 | 0,0703                 | 70,31   | 51,72  | 0,0689           | 7.142                |
| Atmósfera          | 14,7                 | 1                      | 1,033                  | 1033    | 760    | 1,0131           | 1,01 10 <sup>5</sup> |
| kg/cm <sup>2</sup> | 14,22                | 0,9678                 | 1                      | 1000    | 735,6  | 0,98             | 98.100               |
| cm c.a.            | 0,0142               | 0,00096                | 0,0010                 | 1       | 0,7355 | 0,0009           | 100                  |
| mm Hg              | 0,0193               | 0,0013                 | 0,0013                 | 0,0013  | 1      | 0,00133          | 133                  |
| Bar                | 14,5                 | 0,987                  | 1,02                   | 1024    | 750    | 1                | 10 <sup>5</sup>      |
| Pa                 | 1,4 10 <sup>-4</sup> | 0,987 10 <sup>-5</sup> | 0,102 10 <sup>-4</sup> | 0,01    | 0,0075 | 10 <sup>-5</sup> | 1                    |

Fuente: <http://www.sapiensman.com/docs/d7.htm>. Consulta: 20 de diciembre de 2013.

## 1.2. Caudal

Es la cantidad de fluido que pasa en una unidad de tiempo. Normalmente se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo, puede expresarse en: metros cúbicos por segundo, litros por minuto, pies cúbicos por minuto (cfm), entre otros. A continuación se encuentra una tabla con las unidades básicas del caudal.

Tabla II. **Unidades de caudal y conversiones**

| <b>Unidad</b>     | <b>m<sup>3</sup>/s</b> | <b>litros por minuto</b> | <b>CFM</b> |
|-------------------|------------------------|--------------------------|------------|
| m <sup>3</sup> /s | 1                      | 60 000                   | 2118,88    |
| litros por minuto | 1,6x10 <sup>-5</sup>   | 1                        | 0,0353     |
| CFM               | 4,7x10 <sup>-4</sup>   | 28,32                    | 1          |

Fuente: elaboración propia.

### 1.3. **Potencia**

Es la cantidad de trabajo efectuado por unidad de tiempo, puede expresarse en: vatios (W), caballo de potencia (HP por sus siglas en inglés), caballo de vapor (CV). A continuación se encuentra una tabla con las unidades básicas de potencia y sus conversiones.

Tabla III. **Unidades de potencia y conversiones**

| <b>Unidad</b>          | <b>Vatios (W)</b> | <b>Caballo de fuerza (HP)</b> | <b>Caballo de vapor (CV)</b> |
|------------------------|-------------------|-------------------------------|------------------------------|
| Vatios (W)             | 1                 | 0,001341                      | 0,001359                     |
| Caballo de fuerza (HP) | 745,69987         | 1                             | 1,01386                      |
| Caballo de vapor (CV)  | 735,49875         | 0,98632                       | 1                            |

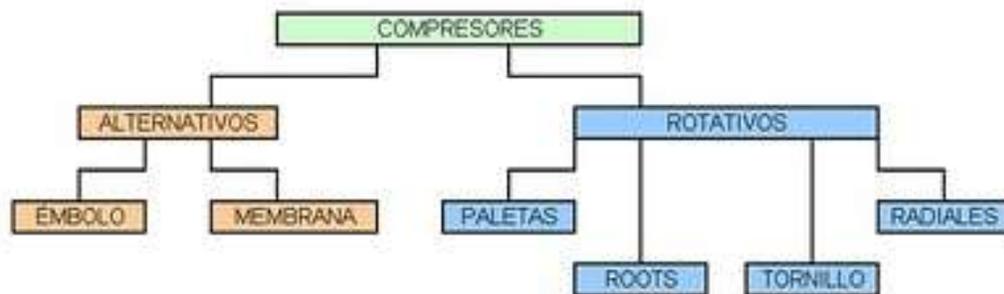
Fuente: elaboración propia.

### 1.4. **Compresores**

En el mercado se encuentran diferentes modelos de compresores. Estos se agrupan bajo principios de funcionamiento en alternativos y rotativos, estos a

su vez se dividen en diferentes tipos como se muestra a continuación en la siguiente gráfica.

Figura 1. **Clasificación de compresores**



Fuente: <http://industrial-automatizada.blogspot.com/2010/08/compresores-neumaticos.html>.

Consulta: 20 de diciembre de 2013.

A continuación se detallan los dos tipos de compresores más utilizados en la industria.

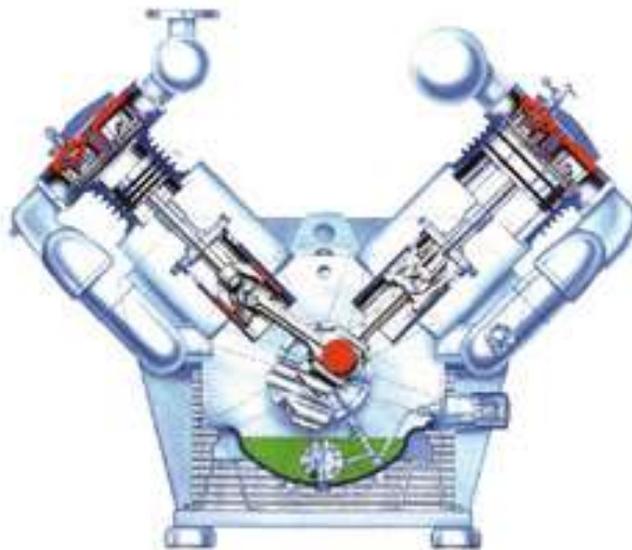
#### **1.4.1. Compresores alternativos**

Son compresores de aire simples. El más utilizado es el de pistón o émbolo donde un pistón es impulsado por motores (eléctricos, diésel, neumáticos) para levantar y bajar el émbolo dentro de una cámara. En cada movimiento hacia abajo del émbolo, el aire es introducido a la cámara mediante una válvula. En cada movimiento hacia arriba del émbolo, se comprime el aire y otra válvula es abierta para evacuar dichas moléculas de aire comprimidas, durante este movimiento la primera válvula mencionada se cierra. El aire comprimido es guiado a un tanque de reserva. Este tanque permite el

transporte del aire mediante distintas mangueras. La mayoría de los compresores de aire de uso doméstico son de este tipo.

La configuración de un compresor de pistón puede ser de un solo cilindro para baja presión/bajo volumen hasta una configuración de fases múltiples de compresión con una presión muy alta.

Figura 2. **Compresor alternativo**



Fuente: [http://www.compair.es/products/Low\\_and\\_Medium\\_Pressure\\_Pistons.aspx](http://www.compair.es/products/Low_and_Medium_Pressure_Pistons.aspx). Consulta: 20 de diciembre de 2013.

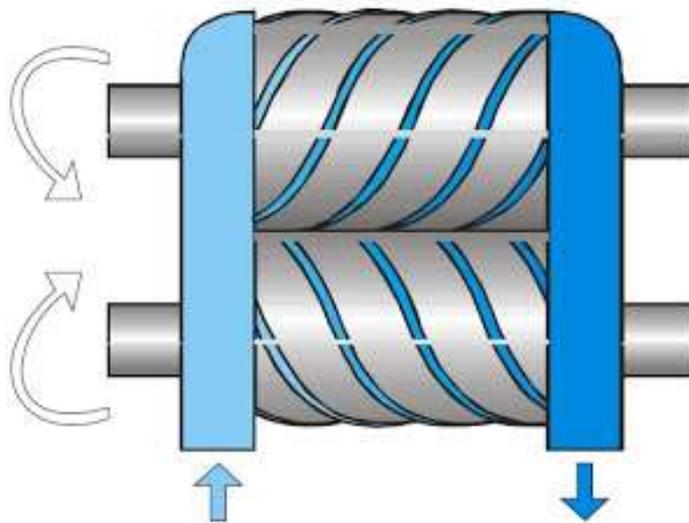
#### **1.4.2. Compresor de tornillo**

Estos compresores funcionan mediante dos rotores helicoidales paralelos, que giran en un cárter en sentidos contrarios e impulsan el aire de forma continua. El rotor macho, conectado al motor arrastra al rotor hembra al

momento del contacto entre sus superficies, sin ningún engranaje auxiliar. El volumen libre entre ellos disminuye comprimiendo el aire.

Es necesario lubricar las piezas móviles con aceite para evitar severos daños y desgastes, también para refrigerar los elementos. Este aceite es eliminado del aire previo a la utilización del mismo mediante filtros y separadores de aceite.

Figura 3. **Compresor rotativo**



Fuente: <http://industrial-automatica.blogspot.com/2010/08/compresores-neumaticos.html>.

Consulta: 20 de diciembre de 2013.

### **1.4.3. Eficiencia del compresor**

Las pérdidas de maquinaria son causadas por fricción interna, tuberías inter-etapas y válvulas. Cuando un compresor es impulsado directamente por un motor eléctrico con o sin un acoplamiento, la entrada de energía al eje del

compresor puede tomarse como la salida de potencia al eje del motor. En un compresor con sistema de transmisión de potencia tal como una transmisión por correa, la entrada de potencia al eje del compresor es la salida del dispositivo de transmisión menos la pérdida de transmisión.

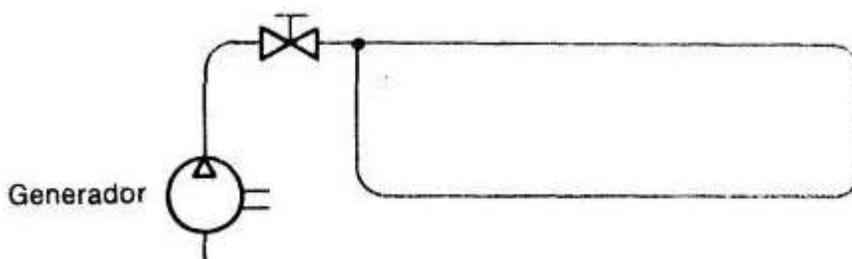
## 1.5. Tipo de sistema

Para el diseño de la distribución del aire comprimido, debe analizarse cuál va a utilizarse ya que se existen 3 tipos de sistemas diferentes: circuito cerrado, circuito abierto y mixto.

### 1.5.1. Circuito cerrado

Es el más utilizado en el diseño de líneas principales de distribución de aire comprimido, en donde la presión, caudal y velocidad del flujo de aire se mantiene constante en los diferentes puntos del circuito ya que el flujo se comparte en toda la línea y converge en un mismo punto de consumo en dos sentidos.

Figura 4. Sistema cerrado

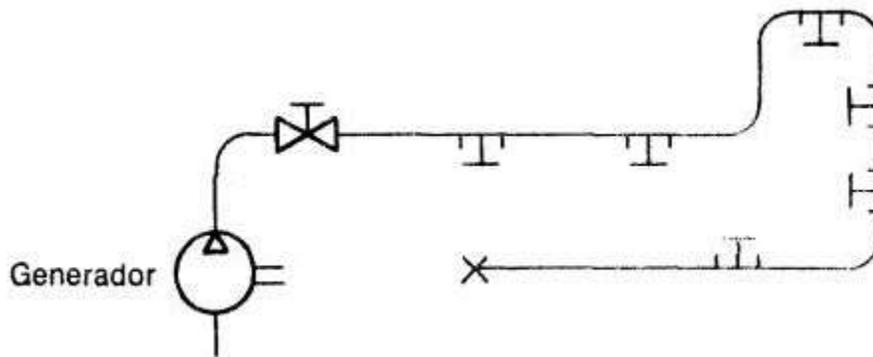


Fuente: <http://www.sapiensman.com/neumatica4.htm>. Consulta: 20 de diciembre de 2013.

### 1.5.2. Circuito abierto

El diseño de este circuito está limitado a redes de aire comprimido relativamente pequeñas, donde hay pocos puntos de alimentación cercanos al compresor. Presenta dificultades en la velocidad de distribución del aire, fluctuaciones en la presión de la línea y suministro de caudal a largas distancias.

Figura 5. Sistema abierto



Fuente: <http://www.sapiensman.com/neumatica4.htm>. Consulta: 20 de diciembre de 2013.

### 1.6. Tuberías

Las tuberías son los conductos formados por tubos, los cuales transportan el aire comprimido desde el compresor hasta los lugares de servicio. Las tuberías pueden clasificarse en rígidas, semirrígidas y flexibles.

Las tuberías rígidas son aquellas que no poseen movimientos relativos y se utilizan en las instalaciones permanentes a altas presiones y emplean tubos fabricados de base metálica.

Entre las tuberías rígidas más utilizadas se encuentran:

- Tuberías de acero: usadas cuando las instalaciones requieren de grandes diámetros (mayor de 4 pulgadas).
- Tuberías de cobre: usadas cuando las instalaciones son de reducido diámetro y están localizadas en medios poco corrosivos. Cuando se instalen tuberías de cobre debe tenerse en cuenta su alta fragilidad en presencia de vibraciones, su elevado costo y su limitación en cuanto se refiere a accesorios.
- Tuberías de hierro galvanizado: usadas en líneas de aire comprimido, ya que es resistente a la corrosión, se producen en una amplia variedad de tamaños y pueden ser utilizadas en servicios subterráneos y sumergidos.

Las tuberías semirrígidas, poseen cierta capacidad de deformarse, la cual es útil en su instalación y mantenimiento. Estas tuberías están fabricadas en gran parte de materiales termoplásticos como el PVC y el polietileno. Las tuberías semirrígidas, pueden conducir aire a moderadas presiones, son livianas y de un costo relativamente bajo. Pueden soportar medios corrosivos y ligeros desplazamientos sin sufrir daños.

Las tuberías flexibles, conocidas como mangueras, permiten un gran campo de aplicación, debido a que pueden soportar deformaciones, vibraciones, medios corrosivos y una gran gama de presiones, según sean los materiales empleados en su fabricación.

Las mangueras básicamente están constituidas por un forro interior liso, resistente a la neblina de aceite, una capa intermedia resistente a la presión y

de un forro externo flexible, que le proporciona resistencia a los solventes y a la abrasión.

Entre los materiales más utilizados en la fabricación de mangueras se encuentran: *nylon*, PVC flexible, terglene, caucho y lona.

La resistencia de las conducciones está relacionada con el espesor de la pared y la clase de material utilizado en su fabricación. A continuación, la resistencia de algunos materiales más empleados en la fabricación de tuberías.

Tabla IV. **Resistencia de materiales para fabricación de tuberías**

| <b>Material</b> | <b>Tensión máxima admisible del material (psi)</b> | <b>Tensión máxima admisible del material (Kg/cm<sup>2</sup>)</b> |
|-----------------|--|--|
| Fundición       | 4000 – 8000  | 280 – 560  |
| Acero           | 18000  | 1265   |
| Cobre blando    | 6800   | 480  |
| Cobre semiduro  | 9000   | 630  |
| Cobre duro      | 11300  | 800  |
| Latón rojo      | 8000   | 560  |
| Latón aluminio  | 12500  | 880  |
| Latón 70/30     | 12500  | 880  |
| Nylon           | 2000 – 6000  | 140 – 420  |

Fuente: elaboración propia.

## 1.7. Accesorios

En toda instalación es indispensable la utilización de accesorios, estos se utilizan para poder adaptar la tubería a la forma del edificio y para poder cumplir satisfactoriamente las necesidades de las máquinas neumáticas.

Entre los accesorios más utilizados están:

- Niples y uniones: accesorios que sirven como enlace entre tubos del mismo diámetro. La unión posee rosca hembra mientras que el niple tiene rosca doble macho.
- Adaptadores: elementos de unión que admiten el enlace de tuberías con distintas roscas.
- Reducciones: elementos que acoplan conducciones de diferentes diámetros, estos sirven para aumentar o disminuir el diámetro según sea la dirección del flujo.
- Codo: acoplamiento rígido que cambia la dirección del flujo a 30, 45, 60 o 90 grados, son usados cuando el espacio es limitado o cuando el diseño de la tubería lo amerite. Los codos pueden ser: codos iguales cuando poseen dimensiones iguales en sus extremos, codos desiguales cuando hay variación de diámetros en sus extremos.
- Tee: elemento de conducción que sirve para acoplar tres tuberías, el diámetro de estas tuberías puede ser igual o desigual según sean las características de la tee.

- Cruces: son elementos de conexión, los cuales sirven para acoplar cuatro tuberías en un mismo plano, son utilizadas para hacer derivaciones de una línea, las cruces pueden ser de cruz igual si poseen las mismas dimensiones en sus extremos o cruz desigual si hay variación en uno o dos de sus extremos.
- Tapones: son elementos roscados que impiden el paso del fluido hacia una dirección no deseada, se les llama tapones para tubos cuando poseen rosca hembra y simplemente tapas cuando están provistos de rosca macho.
- Acoples rápidos: dispositivos que sirven para unir fácil y velozmente elementos neumáticos con la red. Son utilizados cuando se tienen la necesidad de acoplar o desacoplar diferentes máquinas o dispositivos neumáticos a un mismo punto de conexión.

Los acoples rápidos cuentan internamente con un dispositivo el cual cierra automáticamente el paso de aire al desconectar el equipo impidiendo así, cualquier escape innecesario de aire.

Figura 6. **Accesorios**



Fuente: <http://www.ingenierocivilinfo.com/accesorios.html>. Consulta: 20 de diciembre de 2013.

## **1.8. Unidad de mantenimiento**

Son dispositivos relativamente voluminosos que permiten la condensación de la humedad y de partículas de aceite que están presentes en el aire comprimido, esto se logra por medio de la adherencia de las partículas más pesadas del aire en las paredes internas del condensador y por medio de una cierta variación de temperatura que experimenta el aire cuando atraviesa el condensador.

### **1.8.1. Condensador de humedad**

Los condensadores de humedad, también llamados trampas de agua, están ubicados en un nivel inferior de la red de distribución, son fabricados comúnmente de lámina de acero con juntas soldadas, provistos de una válvula de seguridad, manómetro y una válvula que evacúa el drenado de una forma automática o manual.

Cuando el drenado es de tipo automático se debe observar su correcto funcionamiento diariamente y si el drenado es manual se debe abrir diariamente o las veces que se necesite. Debido a que si se eleva demasiado el nivel condensado, este pasaría nuevamente al sistema de distribución, afectándolo en su rendimiento.

Entre los problemas que ocasiona la presencia de condensado en un sistema neumático se tiene:

- Provoca corrosión en la tubería y en la mayoría de los componentes de la instalación neumática.

- Lava la lubricación en la herramienta o equipo neumático.
- Provoca un desgaste prematuro de la instalación y equipo.
- Causa, una deficiente operación en las válvulas y cilindros neumáticos.
- Incrementa el costo y programas de mantenimiento.

#### **1.8.1.1. Filtro de aire**

Es un dispositivo capaz de eliminar las impurezas del aire; como polvo, sólidos abrasivos, aceite, condensados y toda materia extraña, permitiendo llevar aire limpio al regulador, lubricador y posteriormente al equipo neumático. Son fabricados de tela metálica fina, materiales sintéticos o de productos sinterizados.

Factores que deben tomarse en cuenta para la selección de los filtros:

- Tamaño de las partículas a separar: estas dependen de la naturaleza de las válvulas y de los elementos de la maquinaria neumática.
- Capacidad del filtro: debe ser la mayor posible para reducir la fricción del aire al atravesarlo y para asegurar su buen funcionamiento, aunque hubiera una limpieza descuidada en su mantenimiento.
- Accesibilidad: asegura el desmontaje y montaje rápido para evitar un paro muy largo. Si es empleado en un trabajo ininterrumpido, conviene montar 2 en paralelo para que mientras se limpie o cambie un filtro funcione el otro.
- Disponibilidad de repuestos: capacidad de contar con piezas de repuesto o filtros de cambio si se tratan del tipo desechable.

- Capacidad de separar y almacenar líquidos: el filtro debe contar con un depósito con capacidad suficiente para manejar el líquido separado o almacenado, evitando así la saturación con agua del elemento filtrante.

Algunos de los filtros que se utilizan son:

- Mecánicos
- De rejilla
- De borde
- De descarga automática, entre otros

#### **1.8.1.2. Válvula reguladora de presión**

Son válvulas que suministran una presión adecuada para el funcionamiento del equipo neumático, la presión puede ser ajustada de cero hasta la presión de la conducción. La válvula reguladora también protege al equipo neumático de los aumentos o disminuciones de la presión de conducción, evitando que funcione con defectos en los momentos críticos del ciclo de trabajo. Entre las válvulas más utilizadas se tiene:

- Válvula reguladora de diafragma
- Válvula reguladora de embolo

#### **1.8.1.3. Manómetro**

Es el medidor de presión más utilizado en la industria por su gran adaptabilidad a los diferentes rangos de presión y a las fluctuaciones repentinas de la misma, que pueden hacer que los otros dispositivos fallen.

El manómetro posee en su interior un tubo metálico con ciertas propiedades elásticas, con forma de C o espiral con su extremo sellado y acoplado a un mecanismo indicador. Cuando la presión se aplica al extremo abierto del tubo tiende a enderezarse produciéndose así una fuerza suficiente para mover un sector dentado y esta a su vez le provee de movimiento a una aguja indicadora la cual está montada sobre una escala numérica.

### **1.9. Mantenimiento**

El mantenimiento de cualquier máquina se puede describir como la circunstancia de mantener un equipo en un estado particular o condición de operación. Esto se diferencia de las reparaciones, ya que estas consisten en la restauración de un equipo a condición anterior u original de como nuevo.

Un compresor es en general:

- Un respirador de aire: necesita aire fresco y limpio.
- Un consumidor de energía: necesita energía eléctrica adecuada.
- Un generador de calor: necesita un adecuado suministro de enfriamiento.
- Un generador de agua condensada: necesita drenajes.
- Un usuario de aceite: necesita un lubricante de calidad y en cantidad apropiada.
- Un vibrador: necesita fundiciones y tuberías apropiadas.

Se hace énfasis en la economía de operación y la reducción de los costos generales fijos de los compresores. Los fabricantes de este tipo de máquinas diseñan y construyen máquinas que cumplen con los requisitos reales mucho más estrechos, lo que hace que el mantenimiento y la correcta operación tomen mayor importancia.

Se tiene cierto concepto ideal sobre lo que el mantenimiento de compresores debe ser. El mantenimiento por parte del usuario está limitado en general por el presupuesto, el personal disponible, la destreza de dicho personal y los requerimientos de producción.

El mantenimiento es una inversión en la continuación de la operación económica del compresor. El segundo beneficio más importante es la continuidad de la operación con un mínimo de interrupción no programada de la operación y reparaciones de emergencia. Cabe anotar que el reemplazo de piezas rotas conduce al manejo de crisis.

De los planteamientos hechos anteriormente puede surgir la pregunta ¿cómo puede entonces un ingeniero de planta o gerente de mantenimiento enfocar el problema de la programación y ejecución del mantenimiento de los compresores?

- Hacer un inventario de los compresores instalados:
  - Cantidad, localización en planta, tipo de compresor.
  - Determinar el ciclo de trabajo, tiempo cargando vs. tiempo descargando de cada compresor.
  
- Determinar la disponibilidad de capacidad de aire en reserva en cada área de servicio:
  - Evaluar los efectos de una interrupción de la operación en cada área para predecir el aspecto de crisis de un compresor que esté temporalmente fuera de servicio.

- A partir de estos efectos, se podrá establecer áreas críticas y asignar prioridades en los programas de mantenimiento.
- Determinar requerimientos diarios normales de cada unidad:
  - Aceite.
  - Chequeos visuales y audibles.
  - Establecer hoja de registro de rutina para ser llevada por las personas responsables de la máquina.
  - Revisar las hojas conjuntamente con el personal.
  - Planear con anticipación como resultado de las hojas de registro: piezas en existencia, reemplazamiento de piezas, chequeos periódicos.

Como complemento a los aspectos anteriores se miran los siguientes puntos que aunque inicialmente no se consideran dentro los parámetros de mantenimiento, si influyen directamente en los equipos:

- Localización del compresor ya que el costo de espacio actualmente es alto en cualquier planta. Sin embargo, una localización inadecuada por ahorrar área es una falsa economía. Debe haber suficiente espacio alrededor y por encima de la unidad para hacer el trabajo de rutina diaria. Se debe dejar espacio también para la adecuada recirculación del aire con el fin de evitar sobrecalentamientos del motor y de otros dispositivos eléctricos sensibles como también del aire de admisión.
- Si la unidad se instala en un sitio donde es difícil encontrarla, verla o moverla alrededor de ella, el personal de mantenimiento hallará una excusa para evitarla, es una reacción humana normal.

- El filtro de aire de entrada. Un compresor de aire es un respirador. Si se le suministra aire sucio, húmedo y cargado de abrasivos entonces la vida útil de los elementos internos del compresor se acortarán considerablemente.

Colocar el filtro de admisión en un lugar limpio, pero en un lugar donde sea accesible para servicio conveniente.

En cuanto a lubricación se puede hacer los siguientes comentarios:

- Seleccionar un aceite que cumpla las especificaciones del fabricante del compresor. Consultar el manual de instrucciones para las especificaciones exactas.
- Llevar registros sobre cuánto usa y cuándo se hacen los cambios.

Los registros deben ser los más sencillos posible. En las unidades pequeñas enfriados por aire recíprocante, una simple etiqueta fijada a la unidad es suficiente. Para las unidades más grandes y enfriadas por agua se debe llevar un registro más elaborado. Sin hacerlo demasiado pesado con datos incompresibles. El propósito de los registros es establecer el reconocimiento exacto de las funciones de mantenimiento periódico y llevar un historial para proyectar el mantenimiento futuro.

## **2. ANTECEDENTES**

### **2.1. Fundación TECHO Guatemala**

TECHO trabaja en asentamientos precarios, siendo su motor esencial la acción conjunta de sus pobladores y jóvenes voluntarios, quienes trabajan para generar soluciones concretas a la problemática de la pobreza. TECHO impulsa un proceso continuo de fortalecimiento de la comunidad, siendo el desarrollo comunitario el eje transversal de la intervención.

En una primera fase, los voluntarios identifican y caracterizan las condiciones de vulnerabilidad de hogares y asentamientos con el apoyo de referentes de la comunidad y otros actores influyentes, impulsando desde un inicio la organización, participación y corresponsabilidad de la comunidad.

En una segunda fase, TECHO genera espacios participativos y desarrolla soluciones concretas en conjunto con los pobladores de la comunidad, a fin de enfrentar las necesidades identificadas. La precariedad habitacional es uno de los problemas prioritarios y urgentes de los asentamientos, por lo que TECHO empieza este proceso de desarrollo comunitario construyendo viviendas de emergencia, con la participación masiva de voluntarios y familias de la comunidad. Esta vivienda es una solución concreta y realizable al corto plazo, que impacta en la calidad de vida de las familias y genera los primeros vínculos de confianza entre los voluntarios y la comunidad, a partir de este trabajo conjunto.

Posteriormente, TECHO conforma la Mesa de Trabajo, instancia semanal de reunión y diálogo entre líderes comunitarios y voluntarios, a partir de la cual se identifican otras necesidades prioritarias y se desarrollan programas para enfrentarlas. Los principales programas que TECHO desarrolla con la Mesa de Trabajo son:

Educación: talleres de apoyo escolar para niños y jóvenes, y alfabetización para adultos.

Trabajo: capacitación en oficios básicos y formación laboral.

Fomento productivo: apoyo para el desarrollo de emprendimientos.

Fondos concursables para desarrollo de proyectos comunitarios.

Salud: campañas de prevención y promoción de la salud.

TECHO promueve la vinculación a redes para potenciar los programas mencionados y para desarrollar otros proyectos que contribuyan a la generación de soluciones integrales. Estas soluciones potencian las capacidades individuales y colectivas de autogestión en la comunidad e involucran a los voluntarios en un proceso de sensibilización y concientización en torno a la pobreza y sus causas, que los lleve a actuar y movilizarse para generar cambios reales.

Como última fase del modelo, se busca implementar soluciones definitivas en los asentamientos precarios, como la regularización de la propiedad, servicios básicos, vivienda, infraestructura comunitaria y desarrollo local. TECHO articula y vincula pobladores de asentamientos organizados con instituciones de gobierno para exigir sus derechos.

## **2.2. ¿Qué se hace actualmente?**

La actividad más importante que realiza la fundación es la construcción de viviendas de emergencia.

La vivienda de emergencia es una casa de madera prefabricada, de 18 metros cuadrados (6m de frente por 3m de fondo). Se construye con 9 paneles de madera pre-fabricados y se coloca sobre la base de 12 pilotes que la aísla del suelo para protegerla de la humedad, inundaciones, plagas, entre otros. Tiene una durabilidad promedio de 7 a 10 años y puede ser edificada en 2 días por una cuadrilla de 8 a 10 jóvenes voluntarios en conjunto con la familia beneficiada.

Existen pocos proveedores interesados en la fabricación de viviendas de emergencia por lo que TECHO se ve obligado a pagarle a estos, precios muy altos, tolerar fallas y comportamientos no deseados.

Aproximadamente entre 68-80 por ciento de los gastos de TECHO corresponde a la construcción de las viviendas de emergencia. En un afán de ayudar a que más familias vulneradas sean beneficiadas con una VE, se vio la necesidad de buscar alternativas que ayuden a disminuir los costos, para así poder invertir en otras áreas de la fundación.

## **2.3. ¿Qué se quiere lograr?**

Implementar una planta de fabricación de paneles para viviendas de emergencia, que serán compradas por TECHO para darle continuidad a los planes de construcción de viviendas con las familias que viven en situación de extrema pobreza. TECHO propone crear esta planta con la participación de

empresas interesadas, voluntarios, técnicos, pobladores de las comunidades, asesores, generando un impacto positivo en la sociedad (en temas laborales y medioambientales) y beneficiando a las empresas que participen con el proyecto a nivel de imagen y estrategia de Responsabilidad Social Empresarial.

La empresa actualmente se encuentra en la etapa de Planificación, y cuenta con el único respaldo de estar adherida a la marca TECHO y el prestigio y credibilidad que esta ha conseguido a través del trabajo en conjunto con pobladores y voluntarios durante los últimos años y la proyección de su trabajo a futuro.

### **3. PROPUESTA DEL SISTEMA NEUMÁTICO**

#### **3.1. Diseño**

Por los requerimientos de la fábrica, se diseñó un sistema de autoabastecimiento que requiere un sistema neumático simple integrado principalmente de los siguientes elementos:

##### **3.1.1. Compresor**

En un inicio se emplearan 4 pistolas de impacto, las cuales utilizan un máximo de 120 libras por pulgada cuadrada (8 bar) y un caudal de 11,4 CFM, (45,6 CFM, suma del caudal de las 4 pistolas) estos datos se obtienen de las especificaciones técnicas del equipo.

Debido a las necesidades de la fábrica se recomienda un compresor de tornillo ya que este genera un flujo constante, sin tener que detenerse a llenar el tanque como lo haría un compresor de pistones.

Los requerimientos específicos del compresor como presión y caudal, están determinados en función del trabajo que se realizará y de la demanda del equipo mencionado anteriormente (especificaciones técnicas en el siguiente capítulo).

Se tiene que:

$P_{max} = 120 \text{ PSI o } 8 \text{ bar}$

$Q_{total} = \sum(\text{caudal de cada pistola}) = (11,4 \times 4) = 45,6 \text{ CFM}$

1 CMF = 28,32 litros por minuto  
De lo anterior se encuentra que  
Qtotal = 1291,25 litros por minuto

Para encontrar la potencia del compresor utilizamos la siguiente tabla:

Figura 7. **Potencia del compresor**

|                |     |     |     |     |       |       |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-------|-------|
| POTENCIA (CV)  | 1,5 | 3   | 5,5 | 7,5 | 10    | 15    |
| CAUDAL (L/MIN) | 150 | 275 | 625 | 850 | 1.150 | 1.750 |
| PRESIÓN (BAR)  | 7   | 7   | 7   | 7   | 7     | 8     |

Fuente: Manual de aire comprimido en el taller.

Con los datos de presión y caudal de las pistolas neumáticas y comparándolos con la tabla anterior se encuentra que la presión máxima requerida es de 8,34 bar y el caudal de 1 291,25 litros por minuto por lo que la potencia del compresor debe ser de 15 CV, esto es aproximadamente 14,8 caballos de fuerza.

El compresor recomendado es un compresor de tornillo de 15 caballos de fuerza, 50 CFM y 120 libras por pulgada cuadrada.

### 3.1.2. Pistolas

Para la fabricación de paneles de madera se utilizarán pistolas de impacto, clavadoras y engrapadoras, se seleccionaron de la marca SENCO a continuación se encuentran sus especificaciones técnicas:

Pistolas clavadoras SENCO Pallet pro 100  
Especificaciones de la herramienta:  
Presión: 70 a 120 libras por pulgada cuadrada  
Consumo: 11,4 CFM

Figura 8. **Pistola clavadora SENCO Pallet pro 100**



Fuente: [http://www.sencolatinaamerica.co/PAL100\\_SS.pdf](http://www.sencolatinaamerica.co/PAL100_SS.pdf). Consulta: 20 de diciembre de 2013.

Engrapadora Senco SNS45XP  
Especificaciones de la herramienta:  
presion: 80 a 120 libras por pulgada cuadrada  
consumo de aire: 11,4 CFM

Figura 9. **Engrapadora Senco SNS45XP**



Fuente: [http://www.sencolatinaamerica.co/sns45xp\\_sss.pdf](http://www.sencolatinaamerica.co/sns45xp_sss.pdf). Consulta: 20 de diciembre de 2013.

### **3.1.3. Accesorios y tuberías**

El dimensionamiento de la tubería a utilizar se establece en función de las necesidades de consumo de aire marcadas por la maquinaria a utilizar, previamente se estableció que dentro de la fábrica se utilizarán cuatro pistolas neumáticas de dos tipos diferentes, cada una de ellas consume por separado 11,4 CFM por lo que el consumo total será de 45,6 CFM y una presión de 120 libras por pulgada cuadrada; para encontrar el diámetro ideal se utiliza la siguiente tabla.

Tabla V. **Dimensionamiento de tubería**

| Presión<br>en PSI | Diámetro de la tubería |        |        |        |
|-------------------|------------------------|--------|--------|--------|
|                   | Caída de presión 10%   |        |        |        |
|                   | 1/8 in                 | 1/4 in | 3/8 in | 1/2 in |
| 5                 | 0,5                    | 1,2    | 2,7    | 4,9    |
| 10                | 0,8                    | 1,7    | 3,9    | 7,7    |
| 20                | 1,3                    | 3      | 6,6    | 13     |
| 40                | 2,5                    | 5,5    | 12     | 23     |
| 60                | 3,5                    | 8      | 18     | 34     |
| 80                | 4,7                    | 10,5   | 23     | 44     |
| 100               | 5,8                    | 13     | 29     | 54     |
| 110               | 6,3                    | 14,4   | 31,5   | 59,3   |
| 150               | 8,6                    | 20     | 41     | 80     |
| 200               | 11,5                   | 26     | 58     | 108    |
| 250               | 11,5                   | 33     | 33     | 135    |

Fuente: rediseño de la red de aire comprimido de la planta No. 2 de la fábrica textiles del lago SA, tesis elaborada por Carlos Estuardo Barranco Gonzáles.

Como se puede observar en la tabla anterior se señaló en color azul la presión de 150 libras por pulgada cuadrada y el caudal de 80 CFM, se tomaron valores mayores de los requeridos para no afectar el funcionamiento del sistema con una presión o caudal menor del requerido y también tomando en cuenta futuras ampliaciones.

De la tabla anterior se deduce que debe utilizarse tubería de hierro galvanizado de ½ pulgada, tanto para la línea principal como las acometidas.

Según el plano de la fábrica es necesario utilizar 33,5 metros de tubería para la línea principal y acometidas, además de los siguientes accesorios:

Tabla VI. **Accesorios del diseño**

| Accesorio            | Cantidad |
|----------------------|----------|
| Codo de 90 grados    | 2        |
| Tees                 | 3        |
| Válvula de compuerta | 3        |

Fuente: elaboración propia.

Para determinar la longitud equivalente de los accesorios anteriores se utiliza la siguiente tabla, esta nos ofrece una longitud equivalente en metros.

Figura 10. **Equivalencia de accesorios en metros**

| Clase de resistencia aislada  | Diámetros nominales de las tuberías | 3/8  | 1/2  | 3/4  | 1    | 1 1/4 | 1 1/2 | 2    | 2 1/2 | 3    | 4    |
|---|-------------------------------------|------|------|------|------|-------|-------|------|-------|------|------|
|   |                                     | 10   | 15   | 20   | 25   | 32    | 40    | 50   | 65    | 80   | 100  |
|  manguito de unión                         |                                     | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,03 | 0,04  | 0,05  | 0,06 | 0,09  | 0,12 | 0,15 |
|  cono de reducción                         |                                     | 0,20 | 0,30 | 0,50 | 0,65 | 0,85  | 1,00  | 1,30 | 2,00  | 2,30 | 3,00 |
|  codo de 90°                               |                                     | 0,38 | 0,50 | 0,63 | 0,76 | 1,01  | 1,32  | 1,71 | 1,94  | 2,01 | 2,21 |
|  "te" derivación a ramal                   |                                     | 1,80 | 2,50 | 3,00 | 3,60 | 4,10  | 4,60  | 5,00 | 5,50  | 6,20 | 6,90 |
|  válvula de compuerta abierta              |                                     | 0,14 | 0,18 | 0,21 | 0,26 | 0,36  | 0,44  | 0,55 | 0,69  | 0,81 | 1,09 |
|  válvula de paso recto y asiento inclinado |                                     | 1,10 | 1,34 | 1,74 | 2,28 | 2,89  | 3,46  | 4,53 | 5,51  | 6,69 | 8,80 |
|  válvula de globo                          |                                     | 4,05 | 4,95 | 6,25 | 8,25 | 10,8  | 13,0  | 17,0 | 21,0  | 25,0 | 33,0 |
|  válvula de escuadra o ángulo (abierta)    |                                     | 1,90 | 2,55 | 3,35 | 4,30 | 5,60  | 6,85  | 8,60 | 11,1  | 13,7 | 17,1 |

Fuente: <http://oficioapuntes.blogspot.com/2010/07/tabla-equivalente-las-perdidas-de-carga.html>.  
Consulta 20 de diciembre de 2013.

Utilizando las equivalencias de la tabla anterior para un diámetro de ½ pulgada tenemos lo siguiente:

Tabla VII. **Accesorios con equivalencia en metros**

| <b>Accesorio</b>     | <b>Cantidad</b> | <b>Equivalencia en metros</b> | <b>Total</b> |
|----------------------|-----------------|-------------------------------|--------------|
| Codo de 90 grados    | 2               | 0,5                           | 1,0          |
| Tees                 | 3               | 2,50                          | 7,5          |
| Válvula de paso      | 3               | 0,18                          | 0,54         |
| Total                |                 |                               | 8,54         |
| Tubería + accesorios |                 |                               | 42,54        |

Fuente: elaboración propia.

Al final de cada acometida se utilizarán mangueras de poliuretano de la misma medida (1/2 pulgada) también un filtro coalescente, ya que proporcionan una sencilla y eficaz manera de eliminar tanto agua como contaminantes sólidos de combustibles y aceites lubricantes.

Los filtros coalescentes no disponen de mecanismos ni piezas móviles que podrían arruinarse por lo tanto no necesitan más mantenimiento que el cambio de filtro cuando sea necesario, el filtro dura aproximadamente 1 año según el uso que se le dé.

También se instalará una unidad de mantenimiento completa, a la salida del compresor para controlar periódicamente la presión y calidad del aire.

### 3.1.4. Tipo de sistema

Según las necesidades de la fábrica y el compresor que se eligió para trabajar (compresor de tornillo), se utiliza un sistema abierto, ya que no se necesita que el aire regrese al compresor, debido a que este no utiliza un tanque de almacenamiento sino que produce un flujo continuo directamente al sistema.

### 3.1.5. Soporte de la tubería

Esto evitará flexiones donde puede acumularse condensado que provocarían reducción de eficiencia y tener que drenar la tubería constantemente, se debe instalar un soporte a una distancia correcta, este soporte depende algunas veces de la estructura del edificio, actualmente la fábrica no cuenta con instalaciones definidas por lo que se sugiere poner soportes a la tubería de la siguiente forma:

Distancia entre soportes:

Tabla VIII. **Distancia entre soportes**

| <b>Diámetro de tubería en pulgadas</b> | <b>Distancia vertical en metros</b> | <b>Distancia horizontal en metros</b> |
|--|-------------------------------------|---------------------------------------|
| ¼                                      | 1,25                                | 1                                     |
| ½                                      | 1,75                                | 1,25                                  |
| ¾                                      | 12,7                                | 1,75                                  |
| 1-1/4                                  | 3                                   | 2,5                                   |

Fuente: rediseño de la red de aire comprimido de la planta No. 2 de la fábrica textiles del lago SA, tesis elaborada por Carlos Estuardo Barranco Gonzáles.

Se necesitan 43 metros de tubería de hierro de ½ pulgada por lo que se necesitaran 2 soportes verticales con abrazaderas de aluminio, y 35 soportes horizontales.

### **3.1.6. Mantenimiento**

El compresor prestará un mejor servicio si se mantiene limpio, adecuadamente enfriado y debidamente aceitado.

El trabajo en la fábrica será de 8 horas diarias, 5 días a la semana, además es un trabajo bastante liviano por lo que el mantenimiento del equipo será bastante sencillo.

- Diario (antes de ponerlo en servicio)
  - Purga de condensado
  - Revisión de nivel de aceite
  
- Semanal (40 horas)
  - Limpieza de todas las superficies
  - Purga de condensados
  - Revisión de niveles de aceite
  
- Mensual (200 horas)
  - Revisar niveles de aceite
  - Limpiar superficies
  - Inspección visual y audible

- Inspección de filtros
- Revisar conexiones eléctricas
- Limpieza de pistolas
  
- Semestral (1000 horas)
  - Limpieza de todas las superficies
  - Purga de condensados
  - Cambio de filtro de aceite
  - Cambio de aceite
  - Limpieza de filtros de aire
  - Revisión completa de sistema eléctrico
  - Revisión de tuberías y mangueras
  - Revisión de uniones roscadas
  
- Anual (2000 horas)
  - Repetir mantenimiento semestral
  - Cambio de válvulas
  - Cambio de mangueras flexibles (de ser necesario)
  - Cambio de filtros de aire
  - Revisión de manómetros
  - Revisión del caudal

Los trabajos de mantenimiento deben ser realizados siempre por la misma persona o equipo de mantenimiento, debidamente capacitados para realizar el trabajo y deben quedar registrados en un libro de mantenimiento. Para cualquier consulta necesaria, debe indicarse siempre el nombre de la persona que lo realizó, las horas de trabajo y el tipo de mantenimiento realizado.

### 3.2. Costos

Los datos utilizados para la elaboración de las siguientes tablas de costos fueron tomados del anexo financiero del estudio de factibilidad de la fábrica de auto abastecimiento de la fundación TECHO Guatemala, además de la asesoría del instructor Álvaro Méndez del INTECAP.

#### 3.2.1. De instalación

Los costos de instalación o también conocidos como costos en etapas preoperativas, se definen como gastos que realiza la empresa u organización en plazo previo a la apertura y operación de la misma.

Tabla IX. Costos de instalación

| Descripción del equipo                | Costo    |        |                 |             |
|---------------------------------------|----------|--------|-----------------|-------------|
|                                       | Cantidad | Unidad | Precio unitario | total       |
| Pistola Clavadora Senco Pallet Pro 90 | 2        |        | Q3 955,76       | Q7 911,53   |
| Engrapadora Senco SNS 45XP            | 2        |        | Q3 441,85       | Q6 883,70   |
| Compresor Kaeser 15 HP                | 1        |        | Q139 650,00     | Q139 650,00 |
| Unidad de Mantenimiento               | 1        |        | Q955,76         | Q955,76     |
| Sistema de mangueras ½ pulgada        | 15       | metros | Q153,69         | Q2 305,35   |
| tubería de hierro de 1/2 pulgada      | 43       | metros | Q79,80          | Q3 431,40   |
| Codo 90 grados ½ pulgada              | 3        |        | Q26,32          | Q78,96      |
| Tee de ½ pulgada                      | 3        |        | Q112,44         | Q337,32     |
| Válvula de paso                       | 3        |        | Q244,44         | Q733,32     |
| Anclajes verticales                   | 2        |        | Q14,56          | Q29,12      |
| Anclajes Horizontales                 | 35       |        | Q23,87          | Q835,45     |
| filtro coalescente                    | 4        |        | Q199,50         | Q798,00     |
| Ingeniero Mecánico                    | 1        |        | Q6 000,00       | Q6 000,00   |

Continuación de la tabla IX.

|                            |   |  |           |             |
|----------------------------|---|--|-----------|-------------|
| Asistente de ingeniero     | 1 |  | Q2 500,00 | Q2 500,00   |
| total de sistema instalado |   |  |           | Q172 529,71 |

Fuente: elaboración propia.

### 3.2.2. De mantenimiento

Es el precio pagado por concepto de las acciones realizadas, para conservar o restaurar un bien o un producto a un estado específico y con base a estos se toman decisiones de operación.

Tabla X. **Costos de mantenimiento**

| Tipo de Mantenimiento        | Quien lo realiza                  | Costo anual |
|------------------------------|-----------------------------------|-------------|
| Diario                       | personal de mantenimiento interno | Q30 075,34  |
| semanal                      |                                   |             |
| mensual                      |                                   |             |
| semestral                    | empresa externa                   | Q2 394,00   |
| anual                        |                                   | Q3 192,00   |
| total de mantenimiento anual |                                   | Q35 661,34  |

Fuente: elaboración propia

### 3.3. Propuesta alternativa

Para esta propuesta, se plantea el uso de un compresor diferente siempre que cumpla con las especificaciones requeridas; se usará un compresor de pistones por las siguientes razones:

- Menor costo
- Mayor demanda en el mercado nacional
- Menor costo de mantenimiento
- Más disponibilidad de repuestos entre otros

Las especificaciones en cuanto al equipo, tubería y accesorios son las mismas ya que los costos derivados de estas solo son significativos en cuanto a la calidad y no al funcionamiento de los mismos.

Tabla XI. **Gastos de instalación propuesta alternativa**

| Descripción del equipo                | Costo    |        |                 |            |
|---------------------------------------|----------|--------|-----------------|------------|
|                                       | Cantidad | Unidad | Precio unitario | total      |
| Pistola Clavadora Senco Pallet Pro 90 | 2        |        | Q3 955,76       | Q7 911,53  |
| Engrapadora Senco SNS 45XP            | 2        |        | Q3 441,85       | Q6 883,70  |
| Compresor de pistones 15 HP           | 1        |        | Q30 187,46      | Q30 187,46 |
| Unidad de Mantenimiento               | 1        |        | Q955,76         | Q955,76    |
| Sistema de mangueras ½ pulgada        | 15       | metros | Q153,69         | Q2 305,35  |
| tubería de hierro de 1/2 pulgada      | 43       | metros | Q79,80          | Q3 431,40  |
| Codo 90 grados ½ pulgada              | 3        |        | Q26,32          | Q78,96     |
| Tee de ½ pulgada                      | 3        |        | Q112,44         | Q337,32    |
| Válvula de paso                       | 3        |        | Q244,44         | Q733,32    |
| Anclajes verticales                   | 2        |        | Q14,56          | Q29,12     |
| Anclajes Horizontales                 | 35       |        | Q23,87          | Q835,45    |
| filtro coalescente                    | 4        |        | Q199,5          | Q798,00    |
| Ingeniero Mecánico                    | 1        |        | Q6 000,00       | Q6 000,00  |
| Asistente de ingeniero                | 1        |        | Q2 500,00       | Q2 500,00  |
| total de sistema instalado            |          |        |                 | Q63 067,17 |

Fuente: elaboración propia.

### **3.4. Ampliaciones**

Dependiendo del aumento de construcciones podría en algún momento necesitarse una ampliación en la fábrica, para la cual el diseño propuesto se encuentra bastante adaptado, pero sería necesario comprar otro compresor de las mismas características o desde un principio duplicar la potencia del compresor actual.

Se adjunta un plano de diseño, tomando en cuenta un crecimiento de 2 mesas de trabajo más (ver anexos figuras 11, 12 y 13).

## CONCLUSIONES

1. Los costos de energía que genera un compresor durante su vida útil ascienden a varias veces el costo inicial de capital, por lo cual la diferencia en el precio de compra no es un verdadero criterio a la hora de economizar. La eficiencia y la confiabilidad son esenciales en la producción de aire comprimido. Los compresores de tornillo de bajo consumo energético ayudan a las empresas a mejorar su margen competitivo y a reducir significativamente sus costos en la producción de aire comprimido.
2. El aire comprimido es actualmente una herramienta importante en aplicaciones industriales tales como el ensamblaje de paneles de madera para la utilización en construcciones de viviendas de emergencia, esto se debe a que con una pequeña instalación neumática se pueden utilizar pistolas de impacto, las que agilizan y facilitan el trabajo que se convierte en un proceso industrial.
3. El programa de mantenimiento es importante para mejorar el rendimiento y la vida útil de los equipos neumáticos. Este programa debe incluir desde una limpieza diaria del polvo, hasta mantenimientos grandes con cambio de piezas y sustitución de lubricantes.
4. Durante el estudio y elaboración del diseño del sistema neumático se han puesto a prueba los conocimientos adquiridos durante toda la carrera de Ingeniería Mecánica ya que se han tomado de cursos como

Mecánica de Fluidos hasta cursos profesionales como Instalaciones Mecánicas y Montaje y Mantenimiento de Equipo entre otros.

## RECOMENDACIONES

1. Como primera opción de compresor, instalar uno de tornillo, ya que este tiene mejores características como: aire continuo sin necesidad de tanque, mejor desempeño, menores costos de mantenimiento, entre otros.
2. Es necesario que se utilicen planes de mantenimiento y hojas de control de cada equipo utilizado para garantizar una larga vida útil en cada uno de ellos, esto también ayuda en la reducción de costos ya que al dar un mantenimiento preventivo a un equipo se disminuye la necesidad de un mantenimiento correctivo, también reduce costos de pérdidas en la producción por paros o averías.
3. Todo equipo industrial debe ser instalado y operado de forma correcta y con las medidas de protección que el equipo necesite, esto evitará accidentes que pudieran llegar a ser de gravedad. Tal situación puede ser perfectamente evitable proporcionando capacitación y protección a cada los operadores del equipo.
4. Es importante la utilización de equipos de buena calidad aunque se incrementen los costos, ya que a largo plazo se verán beneficios en la inversión y tendrán una vida útil prolongada. Este criterio debe utilizarse tanto en la selección del equipo principal, hasta la tubería, válvulas y accesorios; esto evitará fugas y pérdidas de presión, las cuales disminuyen la capacidad del sistema.



## BIBLIOGRAFÍA

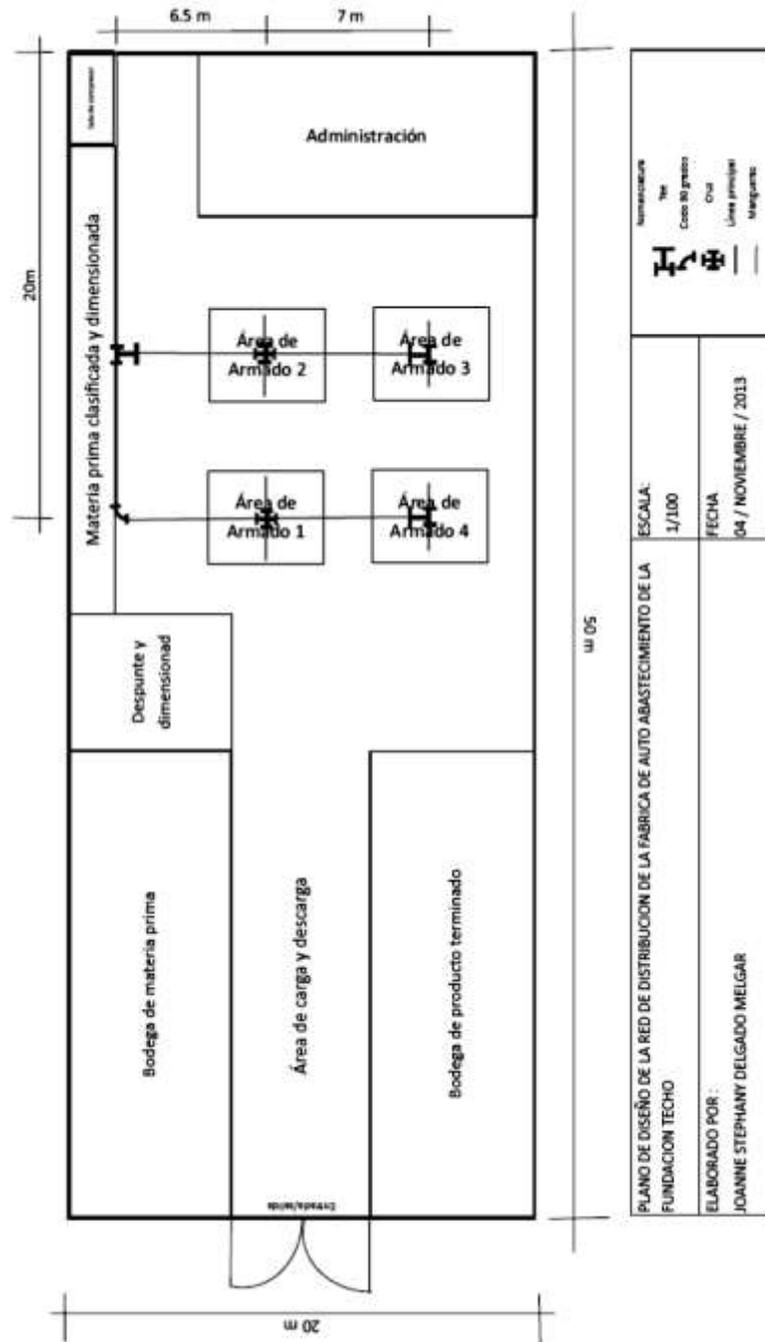
1. CENGEL, YANUS A. *Termodinámica*. 6 ed. Mexico DF: McGraw-Hill, 2000. 1008 p.
2. \_\_\_\_\_. *Turbinas y compresores*. En: análisis de masa u energía de volúmenes de control. Termodinámica. sexta edición, Mexico DF, editorial Mc Graw-Hill, 2008. 300 p.
3. Ingeniería de sistemas Ltda. *filtros coalescentes* [en línea]. Disponible en: <http://www.ingdeseguridad.com/filtros-coalescentes.html> [Consulta:4 de julio de 2013].
4. Kaeser Compressors inc *Manual de especificaciones técnicas Kaeser Compressors*. [En línea] Disponible en: <http://pdf.directindustry.es/pdf/kaeser-compressors-68092.html> [Consulta: 19 de enero de 2013.]
5. RODAS ARREAGA, Edwin Estuardo. *Guía para el diseño del sistema de aire comprimido en una fábrica de jabón y detergente*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Universidad de San Carlos de Guatemala, facultad de Ingeniería, 2000. 289 p.
6. Sedel. *Instalaciones Neumáticas o de aire comprimido*. [En línea] Disponible en <http://www.serviciotecnicocompresores.com/servicios/instalaciones-neumaticas-o-de-aire-comprimido.php> [consulta: 20 de enero de 2013].



## **ANEXOS**

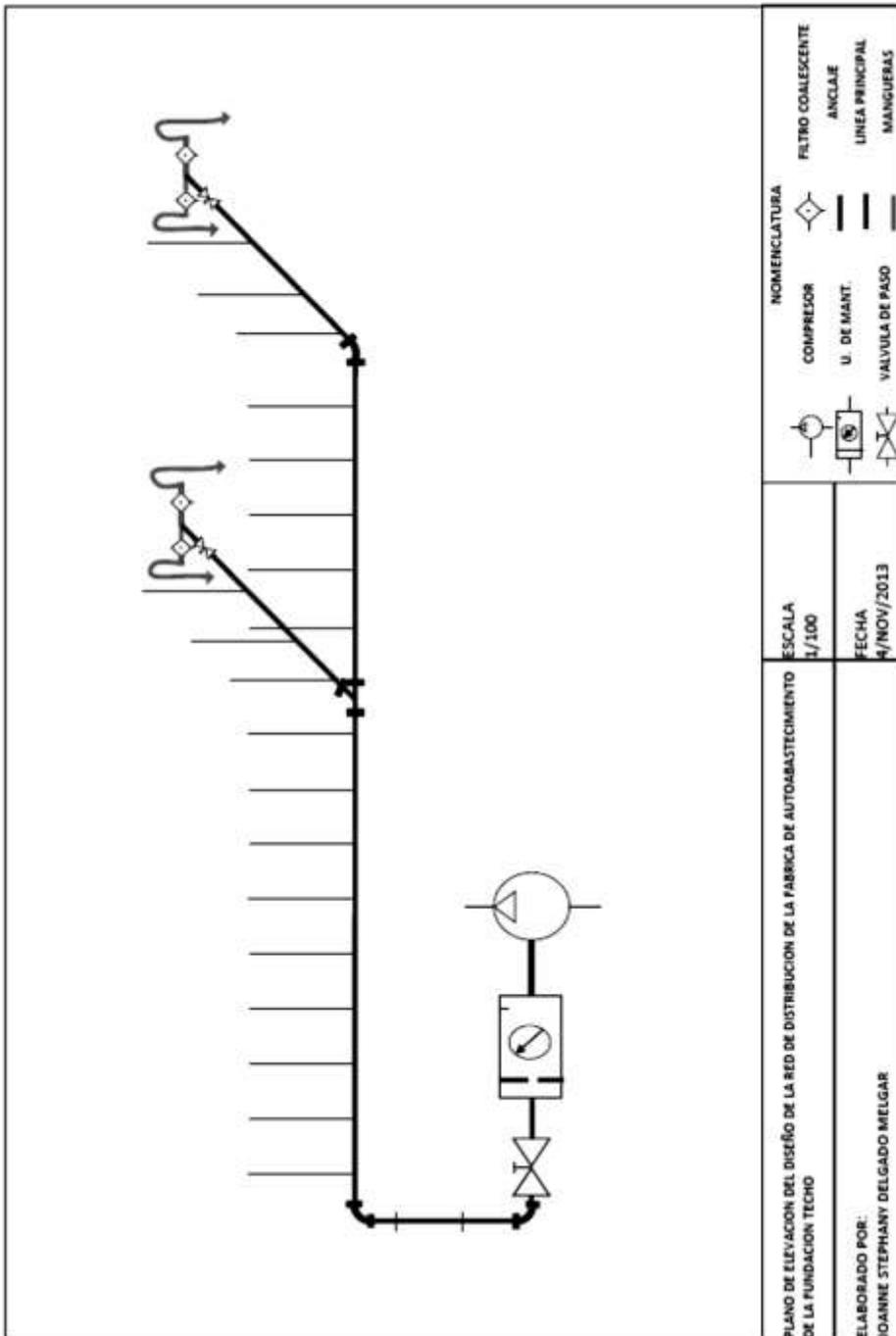


Figura 11. Plano de proyección de crecimiento



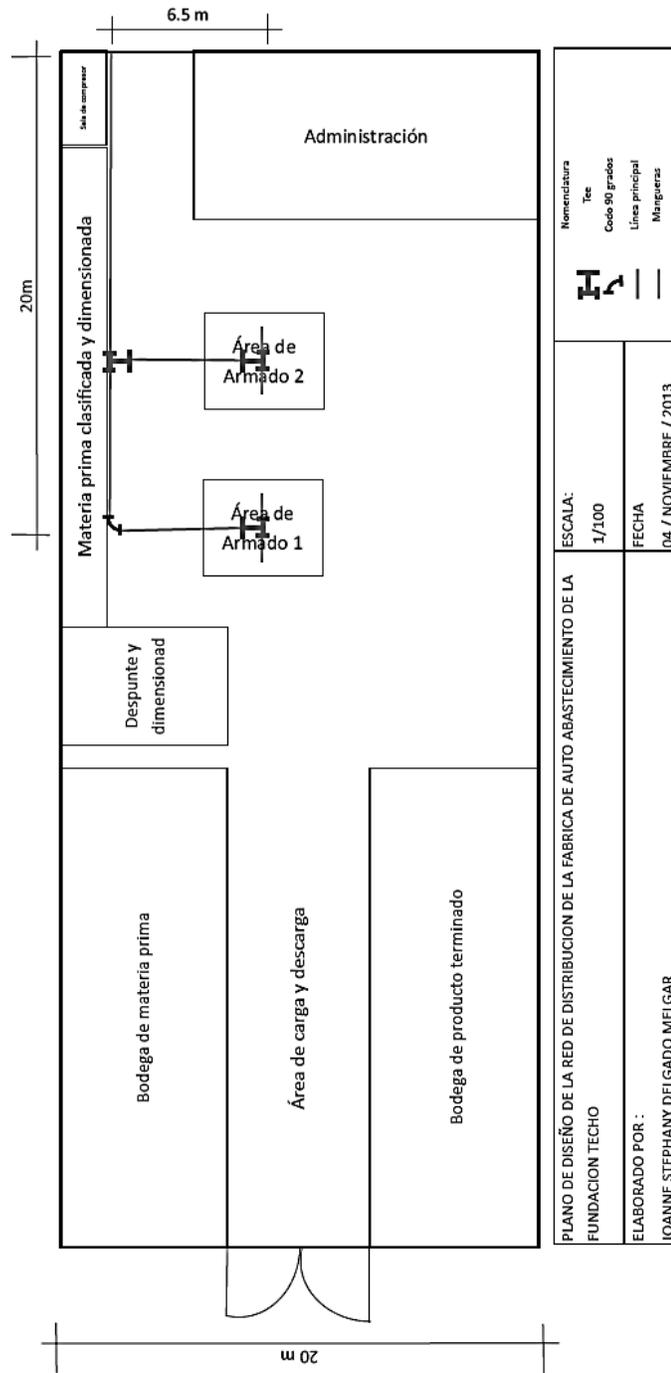
Fuente: elaboración propia, con programa Autocad 2010.

Figura 12. Plano de elevación



Fuente: elaboración propia, con programa Autocad 2010.

Figura 13. Plano principal



Fuente: elaboración propia, con programa Autocad 2010.

