

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



“Instalaciones eléctricas y neumáticas para Planta de Manufactura de Colchones y Bases”

Trabajo de Graduación presentado por

Pablo Danilo Arana González

para optar al grado de Licenciado en Ingeniería Mecánica

Guatemala

2012

“Instalaciones eléctricas y neumáticas para Planta de Manufactura de Colchones y Bases”

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

“Instalaciones eléctricas y neumáticas para Planta de Manufactura de Colchones y Bases”

Trabajo de Graduación presentado por

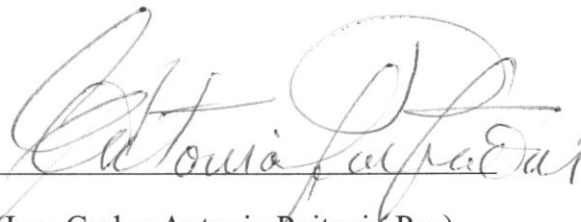
Pablo Danilo Arana González

para optar al grado de Licenciado en Ingeniería Mecánica


Guatemala


2012

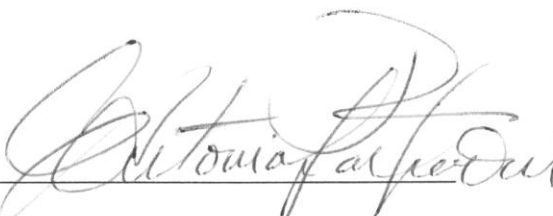
Vo. Bo. :

(f) 
(Ing. Carlos Antonio Poitevin Paz)

Tribunal Examinador:

(f) 
(Ing. Víctor Hugo Ayerdi)

(f) 
(Ing. Raúl Loarca)

(f) 
(Ing. Carlos Antonio Poitevin Paz)

Fecha de aprobación: Guatemala, 4 de diciembre de 2012

PREFACIO

El desarrollo de este trabajo de graduación surge a partir de la necesidad de la empresa XYZ de expandir y tener que trasladar su área de operaciones para poder satisfacer su crecimiento dentro del mercado. A finales del año 2011 inició la planeación para el proyecto Planta Villa Nueva. Después de un año se da por concluida la fase de acondicionamiento de la planta, entregando las instalaciones eléctricas y dejando pendientes las instalaciones neumáticas para finales del presente año.

Agradezco a mi padre, Carlos Arana, que en paz descanse, y a mi madre Loren González de Arana, cuya fuerza y valor han servido de ejemplo para luchar por mis sueños. A mis amigos y compañeros de carrera, por su amistad y apoyo incondicional prestado en estos años y en los que vienen.

Además agradezco la colaboración de los ingenieros Carlos Poitevin y Juan Castillo, que han sido de gran apoyo para el desarrollo de mi conocimiento profesional.

ÍNDICE

Lista de tablas	xii
Lista de figuras	xv
Resumen	xvi
I. Introducción	1
II. Justificación	2
III. Objetivos	3
IV. Marco teórico	4
A. Fundamentos de electricidad	4
1. Circuito básico eléctrico	4
2. Potencial eléctrico	4
3. Corriente eléctrica	4
4. Voltaje	5
5. Medición	5
B. Instalaciones eléctricas	6
1. Objetivos de una instalación eléctrica	6
2. Características de una instalación eléctrica	6
a. Seguridad	6
b. Eficiencia	7
c. Economía	7
d. Flexibilidad	7
e. Accesibilidad	7

3. Clasificación.....	7
4. Códigos y normas	8
5. Sistemas de distribución	9
6. Elementos de una instalación eléctrica	9
a. Acometida.....	9
b. Medición.....	9
c. Interruptores	9
d. Transformadores.....	10
e. Tableros.....	10
f. Equipo.....	10
g. Alumbrado.....	11
h. Planta de emergencia	11
i. Sistema de tierra.....	11
j. Interconexión.....	11
k. Banco de capacitores.....	12
C. Fundamentos mecánica de fluidos	14
1. Conceptos fundamentales.....	14
a. Presión.....	14
b. Líquidos y gases.....	15
c. Masa.....	15
d. Peso.....	15
e. Densidad.....	15
f. Peso específico	16
g. Viscosidad	16
h. Unidades de medida.....	16

2.	Flujo de fluidos.....	17
a.	Principio de continuidad.....	17
b.	Conservación de la energía.....	17
c.	Pérdidas y ganancias de energía.....	17
d.	Número de Reynolds.....	19
D.	Sistemas de aire comprimido.....	19
1.	Propiedades del aire.....	19
2.	Aplicaciones.....	20
3.	Ventajas y desventajas.....	20
4.	Componentes.....	21
a.	Compresor y tanque.....	21
b.	Tubería.....	22
c.	Válvulas de control.....	23
d.	Actuadores.....	23
e.	Equipo auxiliar.....	24
V.	Plan de trabajo.....	26
A.	Generalidades de producción.....	26
1.	El Producto.....	26
2.	Áreas de producción.....	26
a.	Estructura.....	26
b.	Químicos.....	27
c.	Esponja.....	27
d.	Costura.....	27
e.	Camastrones.....	28
f.	Preparado.....	28

g. Taller y servicios.....	28
3. Almacenamiento.....	28
4. Distribución en planta.....	29
B. Documentación.....	30
C. Antecedentes.....	32
1. Dimensiones del terreno.....	32
2. Distribución maquinaria.....	32
3. Sistema eléctrico.....	33
a. Generalidades.....	33
b. Carga instalada.....	33
c. Demanda máxima.....	34
d. Factor de demanda.....	36
4. Sistema neumático.....	37
D. Diseño.....	37
1. Dimensiones.....	37
2. Distribución maquinaria.....	38
3. Sistema eléctrico.....	38
a. Cálculos por sección.....	39
b. Resumen de cargas.....	45
c. Transformadores.....	46
d. Tableros.....	46
e. Conductores principales.....	47
f. Interruptores y conductores maquinaria.....	50
g. Canalización.....	52
h. Factor de potencia.....	53

i. Costos.....	53
4. Sistema neumático.....	54
a. Consumo.....	54
b. Compresor y tanque de almacenamiento.....	56
c. Sistema de tuberías.....	57
1) Línea principal.....	60
2) Línea camastrones.....	64
a) Ramal bases.....	65
b) Ramal camastrones.....	66
3) Ramal preparado y costura.....	68
4) Tratamiento de aire.....	69
5) Costos.....	69
VI. Conclusiones y recomendaciones.....	70
A. Conclusiones.....	70
B. Recomendaciones.....	71
VII. Bibliografía.....	72
VIII. Anexos.....	73

LISTA DE TABLAS

TABLA	Página
1. Unidades del SI y de Estados Unidos para cantidades comunes que se manejan en mecánica de fluidos.....	16
2. Datos técnicos maquinaria.....	30
3. Potencia instalada en Planta Petapa.....	33
4. Consumo y potencia máxima año 2012.....	34
5. Carga con factor de demanda aplicado.....	36
6. Variables para cálculos.....	39
7. Potencia/corriente estructuras.....	40
8. Potencia/corriente químicos.....	41
9. Potencia/corriente esponja y costura.....	42
10. Potencia/corriente camastrones.....	43
11. Potencia/corriente preparado.....	44
12. Resumen de cargas.....	45
13. Caída de voltaje estructuras.....	48
14. Caída de voltaje químicos.....	49
15. Caída de voltaje esponja costura.....	49

16. Caída de voltaje camastrones.....	50
17. Caída de voltaje preparado.....	50
18. Interruptores y conductores por máquina.....	51
19. Porcentaje permisible de relleno en tubería.....	52
20. Costos instalación eléctrica.....	53
21. Resumen de componentes neumáticos, características de operación.....	54
22. Cilindros neumáticos E1.....	55
23. Líneas y ramales sistema neumático.....	59
24. Accesorios línea principal.....	60
25. Resultados principal 80 cfm y tubería diámetro 1 ¼”.....	61
26. Resultados principal 40 cfm y tubería diámetro 1 ¼”.....	62
27. Resultados principal 60 cfm y tubería diámetro 1 ¼”.....	63
28. Accesorios línea camastrones.....	64
29. Resultados camastrones 40 cfm y tubería diámetro ¾”.....	64
30. Accesorios ramal bases.....	65
31. Resultados bases 5 cfm y tubería diámetro ½”.....	65
32. Accesorios ramal camastrones.....	66
33. Resultado ramal camastrones 35 cfm y tubería diámetro ½”.....	66
34. Resultados ramal camastrones 35 cfm y tubería diámetro ¾”.....	67
35. Accesorios ramal preparado y costura.....	68

36. Resultados ramal preparado y costura 10 cfm y tubería diámetro ½”	68
37. Costos instalaciones neumáticas.....	69
38. Selección de interruptores y arrancadores para motores tipo jaula de ardilla, 220 volts, 3 fases, 60 Hz, sin letra de código.....	73
39. Capacidad de corriente conductores de cobre aislado en Amperaje	74
40. Sección de conductores.....	74
41. Corrección factor de potencia	75
42. Resistencia de válvulas y acoplamientos, expresada en longitud equivalente.....	76
43. Factor de fricción en la zona de turbulencia completa para tubería de acero comercial, nueva y limpia.....	76
44. Tamaños de tubería que se sugiere para sistemas de aire comprimido.....	76

LISTA DE FIGURAS

FIGURA	Página
1. Circuito eléctrico básico.....	4
2. Conexión amperímetro.....	5
3. Conexión voltímetro.....	6
4. Potencia aparente, reactiva y activa.....	13
5. Presión absoluta, manométrica y atmosférica.....	15
6. Ecuación de continuidad.....	17
7. Flujo en tuberías, aplicación de Bernoulli.....	18
8. Gráfica consumo energía Planta Petapa.....	35
9. Gráfica potencia máxima registrada.....	35
10. Diagrama de Moody.....	77

RESUMEN

La planta de producción de la empresa XYZ se encuentra saturada de subproductos y producto terminado, afectando la fluidez del proceso de manufactura de colchones y bases. Las instalaciones físicas no dan espacio para que haya un aumento de producción sin generar obstaculización de caminos. El crecimiento de la empresa en el mercado ha llevado a la administración a planear el traslado de instalaciones. El proyecto Planta Villa Nueva surge de esta necesidad. Esta bodega es 2.4 veces más grande que la actual, de manera que se espera que la planta de producción se acomode correctamente. Los sistemas eléctrico y neumático son necesarios para la operación de la maquinaria y herramientas utilizadas en las operaciones de manufactura. Los sistemas de Planta Petapa, originalmente diseñados para otra empresa, no sirven de base para el diseño nuevo. La falta de documentación y las instalaciones incorrectas que se han realizado han provocado sistemas ineficientes a lo largo del tiempo. Los sistemas desarrollados en este trabajo de graduación permitirán no sólo la operación de la planta actual, también la instalación futura de maquinaria. Las instalaciones eléctricas dieron inicio a mediados de marzo del presente año. Después de 9 meses de trabajo sólo quedan por instalar las bajadas de cable a la maquinaria, pendiente para el momento de traslado proyectado para febrero del año 2013. El atraso a la conexión por parte de la Empresa Eléctrica de Guatemala no permitió la agilización del proyecto eléctrico, por lo que las instalaciones neumáticas no han iniciado todavía. Se espera que el proyecto neumático se concluya a finales de noviembre, para permitir el traslado total de la planta a inicios del otro año.

I. INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la empresa XYZ ha llevado a la administración a expandir sus operaciones para poder alcanzar las expectativas de ventas que se tienen para los próximos años. El proyecto Planta Villa Nueva inició en noviembre del año 2011, cuando fue adquirida la bodega que albergara la nueva planta, oficinas y bodegas. Desde entonces se ha dado inicio a las labores de remodelación, limpieza e instalaciones eléctricas y neumáticas.

El presente trabajo de graduación desarrolla el proyecto eléctrico y neumático para esta planta, con el objetivo de proveer a la empresa los servicios necesarios para la operación de la misma. Los sistemas que posee Planta Petapa inicialmente fueron diseñados para otra empresa hace más de 25 años, a los cuales se le han ido haciendo modificaciones con el paso del tiempo. Debido al sobredimensionamiento al que se tuvo que adaptar la producción en ese entonces, a la vejez del equipo y a la falta de documentación, se inició desde cero el proyecto eléctrico y neumático, partiendo de las necesidades reales de la maquinaria, dejando un rango de soporte para las instalaciones futuras, tanto eléctricas como neumáticas. El proceso de diseño inició con la documentación de los requerimientos en cada máquina; cálculos de variables de interés: potencia, corriente, pies cúbicos por minuto; dimensionamiento de equipo: tableros, interruptores, transformadores, conductores, tuberías; y diseño en planos.

Los sistemas eléctrico y neumático para Planta Villa Nueva han sido diseñados para una producción fluida y segura. Además existe la capacidad de crecimiento en todas las áreas, ya sea para la instalación de nueva maquinaria o para la adición de nuevos actuadores neumáticos. De esta manera se espera poder dar inicio al traslado de planta para la operación en el nuevo sitio a finales del presente año.

II. JUSTIFICACIÓN

Actualmente la empresa XYZ lleva a cabo sus operaciones de manufactura de colchones y bases en la Avenida Petapa, zona 12 de Guatemala. Los edificios donde actualmente opera fueron construidos aproximadamente hace 30 años para las operaciones de otra empresa. Dejando esto dicho queda claro que el dimensionamiento de los sistemas, eléctrico y neumático, es diferente a las necesidades que hoy en día tiene la planta. La mayoría de componentes del sistema eléctrico tienen más de 20 años de ser utilizados; no hay documentación acerca del sistema; las conexiones a cada máquina están expuestas sobre el suelo o con mal anclaje a las paredes. Por el lado neumático se tiene un cuarto de máquinas sin algunos componentes fundamentales; largos trazos de tubería sin utilizar; una presión de trabajo extremadamente alta, etc. Adicional a esto, con el paso de los años se han ido agregando máquinas, elementos neumáticos, tableros, luces y tuberías, que han hecho que los sistemas originales hayan perdido su orden, no dejando sin mencionar que han sido realizadas por personal no capacitado.

El crecimiento de la empresa es la principal causa del traslado de la planta a Villa Nueva. La planta actual se encuentra saturada de producto en proceso y materia prima, por lo que se ha perdido el orden y se ha llegado a afectar la fluidez del proceso de producción. En Villa Nueva se cuenta con una bodega que anteriormente era una maquila, por lo que de nuevo el traslado representa una adaptación a las instalaciones que ya hay ahí. Sin embargo, a falta de sistema eléctrico y neumático, se podrá hacer todo desde cero, buscando eliminar los aspectos negativos presentes en Planta Petapa.

III. OBJETIVOS

A. Objetivos general

1. Diseñar las instalaciones eléctricas y neumáticas para Planta de Manufactura de Colchones y Bases

B. Objetivos específicos

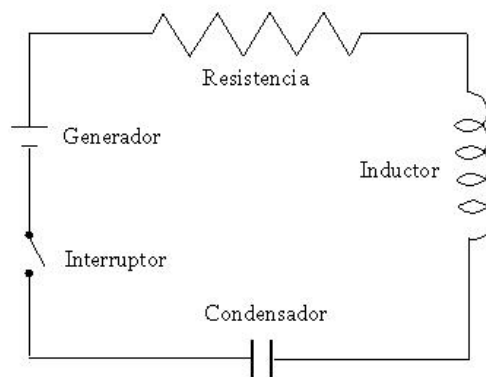
1. Determinar el consumo eléctrico de cada área de producción, tomando datos de placas y mediciones empíricas del equipo.
2. Planeación del sistema eléctrico acorde a consumo por área, distribución en planos y consideraciones futuras.
3. Determinar consumo de aire de acuerdo a la operación de los diferentes actuadores neumáticos de la planta.
4. Planeación del sistema neumático acorde a consumo en planta, distribución en planos y consideraciones futuras.

IV. MARCO TEÓRICO

A. Fundamentos de electricidad

1. Circuito eléctrico básico. El flujo de electricidad dentro de un circuito involucra la corriente, que es el flujo de electricidad a través de un circuito; el voltaje, que representa la fuerza que hace circular la corriente; y la resistencia, que es la oposición al flujo de electricidad. Estas representan las unidades básicas de la electricidad. (Enríquez, Gilberto. 2007)

Figura 1. Circuito eléctrico básico.



2. Potencial eléctrico. El potencial eléctrico representa un diferencial de concentraciones de electrones entre dos puntos. El desplazamiento de electrones entre un punto y otro es provocado por la fuerza electromotriz (f.e.m.). (Enríquez, Gilberto. 2007)

3. Corriente eléctrica. Los átomos tienen un núcleo central alrededor del cual los electrones giran aleatoriamente. Si una fuerza electrónica es aplicada, los electrones pueden ser

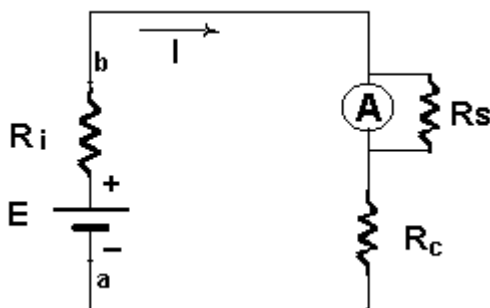
empujados en una dirección. Este movimiento direccional es llamado corriente. (Enríquez, Gilberto. 2007)

4. Voltaje. Para que exista flujo de corriente a través de un conductor se debe aplicar una fuerza de empuje denominada fuerza electromotriz. Puede ser producida por medios químicos, mecánicos, fotovoltaico, etc. (Enríquez, Gilberto. 2007)

5. Medición

a. Ampere. La corriente es una cantidad medible que indica el número de electrones que pasan a través de un conductor en un tiempo definido. La unidad de medida se denomina Ampere, equivalente a 6.25×10^{18} electrones fluyendo en un punto dado en un segundo. (Enríquez, Gilberto. 2007)

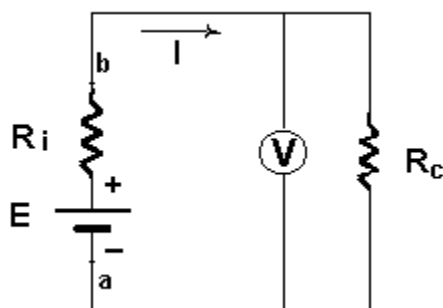
Figura 2. Conexión amperímetro.



Para su medición se utiliza el amperímetro. Éste cuenta con dos puntas que deben colocarse en serie al circuito y de esta manera la corriente fluya a través del instrumento de medición. (Boylestad, Robert. 1987)

b. Volt. La unidad básica es el Volt, definido como la diferencia de potencial entre dos puntos. (Enríquez, Gilberto. 2007)

Figura 3. Conexión voltímetro.



El diferencial de voltaje entre dos puntos se mide en paralelo cómo se muestra en la imagen. La punta positiva del voltímetro debe colocarse en el punto de mayor potencial. La punta negativa en el punto de menor potencial. (Boylestad, Robert. 1987)

B. Instalaciones eléctricas

Se denomina instalación eléctrica al conjunto de elementos que transportan y distribuyen la energía eléctrica desde el punto de suministro hasta el punto de utilización. Estos elementos consisten en tableros, interruptores, transformadores, banco de capacitores, dispositivos de control, contactos, canalización y soportes. (Bratu, Neagu; Campero, Eduardo. 1995)

1. **Objetivo de una instalación eléctrica.** La instalación eléctrica debe distribuir la energía al equipo conectado de manera segura y eficiente. Debe ser económica, flexible y de fácil acceso. (Bratu, Neagu; Campero, Eduardo. 1995)

2. Características de una instalación eléctrica

a. **Seguridad.** Una instalación segura es aquella que no representa peligro para los usuarios ni para el equipo conectado. Para alcanzar esto el sistema debe estar conectado a tierra, las áreas de peligro eléctrico correctamente señalizadas y protegidas ya sea por medio de letreros, rejillas o alambrado. (Bratu, Neagu; Campero, Eduardo. 1995)

b. Eficiencia. Se busca tener la menor cantidad de pérdidas posibles en un sistema, ya sea por los elementos que lo constituyen o por secciones de maquinaria con poca utilización que no pueden desconectarse por las características del sistema. (Bratu, Neagu; Campero, Eduardo. 1995)

c. Economía. Los proyectos de instalaciones eléctricas conllevan una inversión económica alta. Un ingeniero debe afrontar un proyecto pensando en realizar la menor inversión posible. (Bratu, Neagu; Campero, Eduardo. 1995)

d. Flexibilidad. Una instalación debe ser capaz de soportar pequeños cambios. Cuando se lleva a cabo un proyecto se busca que así sea por muchos años. Sin embargo si existe la necesidad de mover toda un área, es más fácil hacerlo si la instalación se encuentra en tubos que si está ahogada en el piso. (Bratu, Neagu; Campero, Eduardo. 1995)

e. Accesibilidad. El acceso a las instalaciones es una parte fundamental en el diseño. Las instalaciones necesitan un mantenimiento por lo que debe ser fácil el acceso a ellas. Esta característica no sólo se refiere a la instalación física. También conlleva realizar la documentación de la instalación, con especificaciones y diagramas necesarios para entender el sistema. (Bratu, Neagu; Campero, Eduardo. 1995)

3. Clasificación. Existen varias clasificaciones en cuanto a las instalaciones eléctricas. Pueden clasificarse según el lugar de instalación, la duración que va a tener, modo de operación, tipo de construcción. La clasificación de interés es según el voltaje:

- a. Instalaciones no peligrosas: voltaje igual o menor a 12 V
- b. Instalaciones de baja tensión: voltaje menor a 750 V
- c. Instalaciones de media tensión: voltajes entre 1,000 y 15,000 V

d. Instalaciones de alta tensión: mayores a 15,000 V
(Bratu, Neagu; Campero, Eduardo. 1995)

4. Códigos y normas. Las instalaciones eléctricas deben ejecutarse bajos ciertos estándares ya definidos. Un buen proyecto representa una respuesta técnica y económicamente adecuada a los requerimientos de las normas y códigos aplicables.
(Bratu, Neagu; Campero, Eduardo. 1995)

En Estados Unidos se utiliza el NEC (National Electrical Code) del cual muchos países han tomado sus estándares de instalaciones. Debido a que Guatemala no tiene una norma eléctrica propia, los proyectistas basan sus diseños en estas normas.

a. Propósito del NEC. El código tiene como propósito la salvaguarda práctica de las personas y de los bienes de los riesgos que se derivan de la utilización de electricidad. El cumplimiento de estas normas busca minimizar el riesgo de la electricidad como fuente de choques eléctricos y como fuente de ignición de fuego y explosiones. (*NEC 1999 Código Eléctrico Nacional.1999*)

b. Alcance

- Instalaciones eléctricas dentro de o en edificios públicos o privados u otras estructuras.
- Instalaciones de conductores y equipos que se conectan a fuentes de alimentación eléctrica.
- Instalaciones de conductores externos y equipos en predios.
- Instalaciones de cables y canalizaciones de fibra óptica.
- Instalaciones en edificaciones utilizadas por las empresas de energía eléctrica.

(*NEC 1999 Código Eléctrico Nacional.1999*)

5. Sistemas de distribución

a. Sistema monofásico 2 hilos. El sistema monofásico 2 hilos 120 V es utilizado para cargas menores a 3.75 kW.

b. Sistema monofásico 3 hilos. El sistema monofásico 3 hilos 120/240 V es utilizado para cargas mayores a 5 kW o cargas alimentadas con 240 V.

c. Sistema trifásico 3 hilos. Se utiliza generalmente para alimentar cargas trifásicas que operen con tensiones 240/480 V.

d. Sistema trifásico 4 hilos. Presenta una operación más flexible de cargas ya que se pueden conectar tanto cargas trifásicas como monofásicas. Este es el sistema más utilizado en la industria y edificios. (Méndez, Luis. 1992)

6. Elementos de una instalación eléctrica

a. Acometida. Se refiere al punto dónde se realiza la conexión entre la red, propiedad de la empresa distribuidora, y el alimentador principal que abastece al usuario. Las instalaciones correspondientes a la conexión con la red son ejecutadas por personal de la empresa eléctrica.

b. Medición. El equipo de medición consiste en el contador suministrado por la empresa distribuidora para cuantificar la energía consumida por el usuario.

c. Interruptores. Dispositivo diseñado para abrir o cerrar un circuito. Son utilizados como protección en contra de sobrecargas o corto circuitos, y para desconexión de áreas en fuera de uso.

1) Interruptor principal. Interruptor ubicado entre la acometida y el resto de instalación para el abastecimiento de energía.

2) Interruptor derivado. Interruptores cuya función es alimentar otras secciones del sistema, ubicados en el tablero principal de la instalación. Estos derivan a otros tableros.

d. Transformadores. Los valores de voltaje que se trabajarán en una instalación son definidos por el equipo que se utilizará en la misma. A veces es necesario utilizar equipo que transforme el valor del voltaje de la acometida a valores diferentes, acordes a las necesidades que se tienen para su correcto funcionamiento.

e. Tableros. Gabinete metálico dónde se colocan interruptores y/o dispositivos de control. Por lo general tienen un sistema de barras para las fases (1,2 ó 3) y una barra para el neutro. El número de circuitos derivados monofásicos está limitado a 42 polos por tablero, 14 salidas por fase. (Bratu, Neagu; Campero, Eduardo. 1995)

1) Tablero general. Ubicado inmediatamente después del interruptor principal, dónde se distribuye a las diferentes secciones de una instalación.

2) Tableros de distribución. Tableros destinados a alimentar los componentes de las diferentes secciones de una instalación.

f. Equipo. Consiste en la maquinaria que será utilizada con el sistema eléctrico diseñado. En el área industrial los motores tipo jaula de ardilla son muy comunes. Estos son motores cuya velocidad varía según la carga. Son económicos pero requieren una corriente muy alta en el arranque, 7 veces mayor a la carga nominal. (Bratu, Neagu; Campero, Eduardo. 1995)

g. Alumbrado. El sistema de alumbrado tiene por objetivo proporcionar la comodidad visual y rendimiento máximos compatibles con las limitaciones impuestas al proyecto, ya sean económicas o de otro tipo. Se definen dos niveles de iluminación: local y general. Local se refiere a las necesidades de luz debido a tareas específicas que se realizan en diferentes puntos del espacio a iluminar. El nivel general se refiere a la iluminación de todas las demás áreas. (Bratu, Neagu; Campero, Eduardo. 1995)

h. Planta de emergencia. Muchas instalaciones eléctricas poseen plantas de emergencia en caso de cualquier falla en el suministro eléctrico. Comúnmente están formadas por un motor de combustión interna acoplada a un generador de corriente alterna.

i. Sistema de tierra. El globo terráqueo tiene un potencial cero o neutro, por lo que es utilizado como referencia y sumidero de corrientes indeseables. Una toma de tierra se representa por una barra de cobre enterrada, o en general cualquier estructura en contacto con tierra. El sistema de tierra es representado por todos los conductores eléctricos conectados a una o más tomas. (Bratu, Neagu; Campero, Eduardo. 1995)

j. Interconexión. Para la interconexión entre los elementos de una instalación, se utiliza cable de cobre o aluminio dentro de ductos o tubos. Las conexiones a las terminales de los equipos son muy importantes y deben realizarse de manera que haya un contacto uniforme y no existan defectos que representen una disminución de sección. Los empalmes deben ser accesibles y si se encuentran a lo largo de la tubería deben quedar en cajas de registro.

Las tuberías que llevan el cableado pueden ser metálicas o plásticas. También existen ductos cuadrados o en forma de escalera. La canalización debe elegirse con criterios de funcionalidad, estética, facilidad de mantenimiento y economía. (Bratu, Neagu; Campero, Eduardo. 1995)

Las canalizaciones eléctricas tienen el objetivo de proteger los conductores contra deterioro mecánico y contaminación, a su vez proteger la instalación inmueble contra incendio por arcos que se puedan presentar en la misma.

1) Tubo conduit galvanizado. Tubo protegido interior y exteriormente por medio de acabado galvanizado, por lo que puede ser utilizado en cualquier clase de trabajo. Normalmente se utiliza en instalaciones que se encuentran a la intemperie.

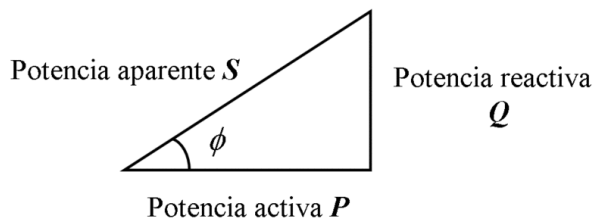
2) Tubo flexible Bx. Utilizado en secciones en las que la tubería rígida no puede ser instalada, como ángulos o formas caprichosas. Es ideal para instalaciones de motores ya que puede absorber vibraciones originadas por éstos.

3) Tubo PVC eléctrico. Su utilización ha aumentado debido a su estética y seguridad en comparación con otros ductos no metálicos. Además, es más económico que los tubos metálicos.

4) Canaleta. Canales de lámina pintada de gris o bien lámina galvanizada, de sección cuadrada o rectangular. Es utilizado únicamente en instalaciones sobrepuestas. (Méndez, Luis. 1992)

k. Banco de capacitores. Los motores, transformadores, lámparas fluorescentes, soldadoras, etc., consumen tanto potencia activa como potencia reactiva. La potencia activa (kW) es la potencia que el equipo convierte en trabajo útil. La potencia reactiva (kVAR) proporciona el flujo magnético necesario para el funcionamiento del equipo. La potencia aparente o total es aquella que consume el equipo. (ABB)

Figura 4. Potencia aparente, reactiva y activa.



El factor de potencia es la relación entre la potencia activa y la potencia total consumida por el equipo o carga.

$$\text{Factor de potencia} = \frac{\text{Potencia activa}}{\text{Potencia total}}$$

Un bajo factor de potencia es provocado por cargas inductivas (motores y transformadores) las cuales requieren grandes cantidades de potencia reactiva. Cuando se trabaja con un bajo factor de potencia, la empresa eléctrica debe incrementar la capacidad de generación para poder manejar la componente de la potencia reactiva. Este incremento de costo asociado con el suministro es repercutido al usuario por medio de tarifas de penalización. En Guatemala se exige que el factor de potencia no sea menor a 0.9.

Un banco de capacitores provee de manera simple, eficaz y a bajo costo la potencia reactiva necesaria para el funcionamiento del equipo. Las ventajas de tener este equipo:

- Reducen el monto de energía debido al incumplimiento con el factor de potencia.
- Disminuyen pérdidas por calentamiento en conductores.
- Incremental la capacidad de conducción de los cables.
- Mayor potencia disponible en transformadores.
- Mejoran la regulación de voltaje en cables.

(ABB)

C. Fundamentos mecánica de fluidos

La mecánica de fluidos trata las propiedades de los fluidos: la medición de la presión, densidad y flujo; la estática de los fluidos; el flujo en tuberías y conductos no circulares; la selección de bombas y su aplicación; el flujo en canales abiertos; el diseño y análisis de ductos para calefacción, ventilación y aire acondicionado; y el flujo de aire y otros gases. En este trabajo de graduación se hace especial énfasis en el aire comprimido, características y diseño, empezando desde los principios básicos que rigen el diseño en sistemas aplicados.

1. Conceptos fundamentales

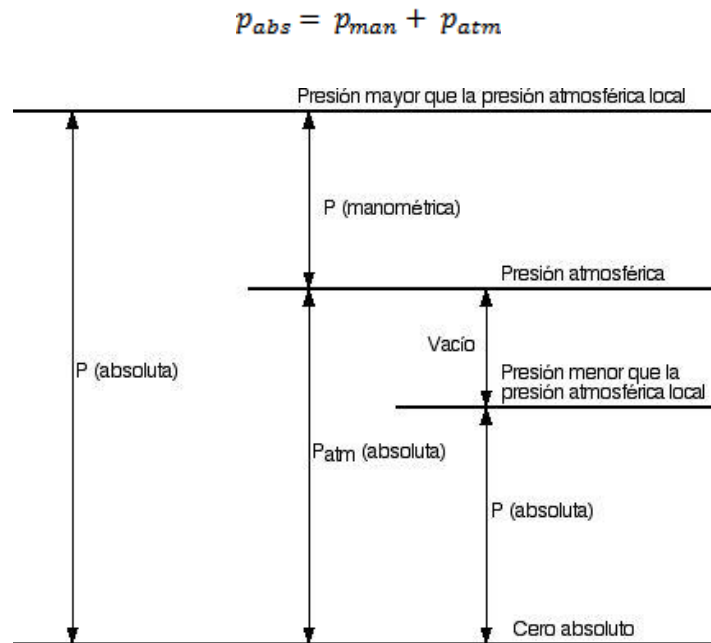
- a. Presión. Fuerza aplicada por unidad de área de una sustancia o superficie.

$$P = F/A \quad (\text{N/m}^2 = \text{Pascales, Pa})$$

Los fluidos involucran variaciones de presión dependiendo del sistema en que se utilizan. El sistema de bombeo de agua en una casa involucra una presión necesaria para que haya un flujo ideal de agua a la hora de abrir un grifo o una ducha. Las bebidas en botella se encuentran bajo cierta presión para su preservación. En las industrias la utilización de aire comprimido es común para el accionamiento y control de actuadores de máquinas.

Cuando se realizan cálculos que involucran la presión de un fluido se efectúan en relación a una presión de referencia, la presión atmosférica. La presión del fluido se denomina manométrica. La presión que se mide en relación a un vacío perfecto se denomina presión de vacío.

Figura 5. Presión absoluta, manométrica y atmosférica.



b. Líquidos y gases. Los fluidos pueden ser líquidos o gases. Una característica muy importante de estos es la capacidad de ser comprimidos. Por lo general los gases son muy fáciles de comprimir, al contrario de los líquidos que requieren más esfuerzo. (Mott, Robert. 2006)

c. Masa. Medida en la que un cuerpo se resiste al movimiento. (Mott, Robert. 2006)

d. Peso. Fuerza con la que un objeto o fluido es atraído a la Tierra.

$$W = mg \quad (\text{kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2)$$

e. Densidad. Masa por unidad de volumen.

$$\rho = m/v \quad (\text{kg}/\text{m}^3)$$

f. Peso específico. Peso por unidad de volumen.

g. Viscosidad. Es la resistencia de un fluido al movimiento. Mientras la viscosidad de un fluido sea mayor, la resistencia al movimiento será mayor y viceversa. Esta propiedad es inversamente proporcional a la temperatura. Si la temperatura aumenta la viscosidad del fluido disminuirá permitiendo una mayor fluidez.

h. Unidades de medida

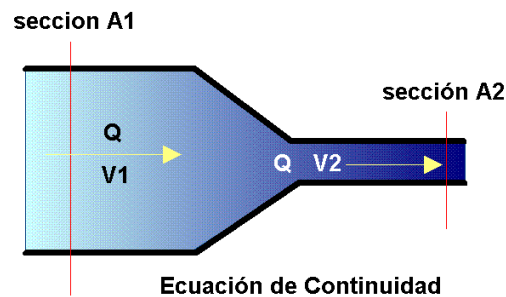
Tabla 1. Unidades del SI y de Estados Unidos para cantidades comunes que se manejan en mecánica de fluidos. Referencia 6.

Cantidad	Definición básica	Unidad estándar SI	Unidades estándar EEUU
Longitud		metro (m)	pies (ft)
Tiempo		segundo (s)	segundo (s)
Masa	Cantidad de una sustancia	kilogramo (kg)	Slugs
Fuerza	Empujar o tirar un objeto	newton (N)	libra (lb)
Presión	Fuerza/area	N/m o pascal (Pa)	lb/ft ²
Energía	Fueza por distancia	Nm o Joule (J)	lb*ft
Potencia	Energía/tiempo	J/s	lb*ft/s
Volumen	Longitud ³	m ³	ft ³
Area	Longitud ²	m ²	ft ²
Flujo volumétrico	Volumen/tiempo	m ³ /s	ft ³ /s o ft ³ /min (cfm)
Flujo en peso	Peso/tiempo	N/s	lb/s
Flujo másico	Masa/tiempo	kg/s	slugs/s
Peso específico	Peso/volume	N/m ³	lb/ft ³
Densidad	Masa/volume	kg/m ³	slugs/ft ³

2. Flujo de fluidos. La dinámica de fluidos trata aquellos fluidos que se mueven a través de conductos o tubos. Este movimiento puede ser descrito por su flujo volumétrico Q , que es el volumen de fluido que circula en una sección por unidad de tiempo, o por su flujo másico M , que es la masa de fluido que circula en una sección por unidad de tiempo.

a. Principio de continuidad. Para calcular la velocidad de flujo en un sistema de ductos cerrado se utiliza el principio de continuidad. Este establece que la cantidad de fluido que circula a través de cualquier sección en cierta cantidad de tiempo es constante. La ecuación de continuidad se aplica a líquidos y también a gases a velocidad menor de 100 m/s. (Mott, Robert. 2006)

Figura 6. Ecuación de continuidad



La velocidad de flujo aumenta conforme la sección de la tubería disminuye. Por tanto, en tubos con secciones pequeñas se generan velocidades altas y en tubos con secciones grandes velocidades más bajas.

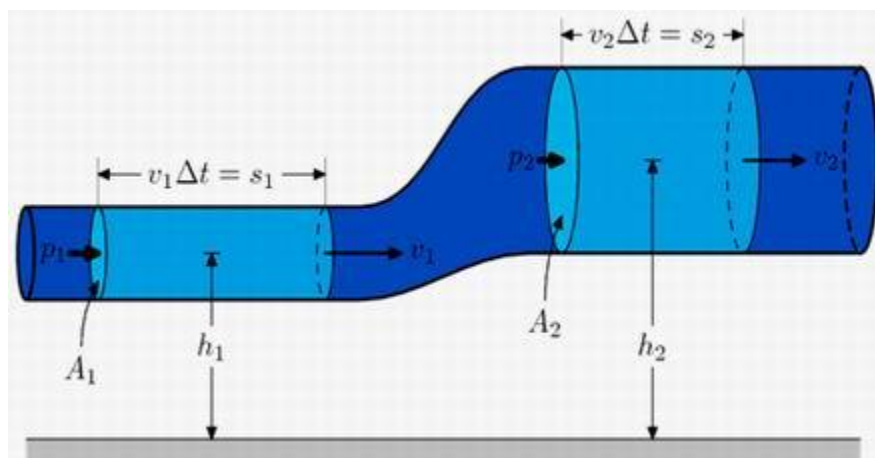
b. Conservación de la energía. La energía no se crea ni se destruye, sólo se transforma. El flujo en un sistema de tuberías involucra tres tipos de energía.

- 1) Energía potencial
- 2) Energía cinética
- 3) Energía de flujo

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

La ecuación de Bernoulli se utiliza para determinar valores de carga de presión, de elevación y de velocidad conforme un fluido circula a través de un sistema. Cada término es una forma de la energía que posee el fluido por unidad de peso del fluido que se mueve en el sistema. Se supone que hay pérdidas o adiciones de energía entre los dos puntos de un sistema de flujo de fluido que se analiza. (Mott, Robert. 2006)

Figura 7. Flujo en tuberías aplicación de ecuación de Bernoulli.



c. Pérdidas y ganancias de energía. En un sistema ideal no existen pérdidas de energía. En la práctica cada válvula, te, codo, reductor y agrandamiento provocan una pérdida de energía en el fluido. El paso del fluido a través de secciones rectas también genera pérdidas por fricción.

La ecuación general de la energía es una extensión de la ecuación de Bernoulli que toma en cuenta:

- 1) h_a , energía que se agrega al fluido con un dispositivo mecánico
- 2) h_r , energía que se remueve del fluido con un dispositivo mecánico

3) h_L , pérdidas de energía del sistema por fricción en tuberías o pérdidas en accesorios.

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + h_A - h_R - h_L = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

Es necesario que esta ecuación se aplique en la dirección de flujo. (Mott, Robert. 2006)

d. Número de Reynolds. Las pérdidas de energía en un fluido dependen si éste presenta un flujo laminar o turbulento. El número de Reynolds es un número adimensional muy utilizado en la mecánica de fluidos que describe el carácter del flujo en un tubo redondo mediante cuatro variables: densidad del fluido, viscosidad, diámetro del tubo y velocidad promedio del flujo.

$$N_R = \frac{vD\rho}{\eta}$$

Los flujos tienen números de Reynolds altos cuanto tienen una velocidad elevada y/o una viscosidad baja, y tienden a ser turbulentos. Los fluidos con viscosidad alta y/o se mueven a velocidades bajas, tenderán a comportarse en forma laminar. En aplicaciones prácticas de tuberías, si el número de Reynolds es menor a 2000, el flujo es laminar. Si es mayor a 4000 es turbulento. La región entre estos valores se denomina región crítica, donde el comportamiento del fluido es muy difícil de predecir. (Mott, Robert. 2006)

D. Sistemas de aire comprimido

1. Propiedades del aire

a. Componentes. El aire es una mezcla de gas incoloro e inodoro. Está formado por varios gases, principalmente de oxígeno (21%) y nitrógeno (78%). Además contiene

varios tipos de contaminantes sólidos, líquidos y gaseosos. (*Compressed Air Manual*. 1998)

b. Humedad. La humedad en el aire depende de las condiciones atmosféricas del lugar. La humedad relativa es un indicador del porcentaje de la humedad en el aire. La temperatura de rocío es definida como la temperatura a la cual la humedad del aire empieza a condensar.

Para el aire comprimido, la cantidad de humedad presente es aproximada a la relación de compresión. Para un compresor cuya presión de operación es 6 bar, la cantidad de humedad será 7 veces la humedad a presión atmosférica. (Majumdar, S.J. 1995)

2. Aplicaciones. Las aplicaciones del aire comprimido en la industria han tomado gran importancia en los últimos años. Es utilizado para:

- Detección de estados mediante sensores
- Procesamiento de información
- Accionamiento de actuadores mediante elementos de control
- Ejecución de trabajos mediante actuadores

Para controlar maquinaria es necesaria una sucesión lógica y compleja de estados y conexiones mediante una actuación conjunta de sensores, procesadores y elementos de accionamiento. (Croser, P. 1991)

3. Ventajas y desventajas. Las ventajas de la utilización de aire comprimido incluyen:

- Cantidad: cualquier lugar dispone de cantidades ilimitadas de aire
- Transporte: facilidad de transportar aire a través de tuberías

- Almacenamiento: posibilidad de almacenar aire en acumuladores
- Temperatura: es indiferente a oscilaciones de la temperatura
- Seguridad: no hay riesgos de fuego o explosión
- Limpieza: no hay contaminación de ambiente por aire comprimido
- Composición: los elementos de trabajo son de composición sencilla por lo que su precio es relativamente bajo
- Velocidad: es un medio de trabajo rápido

Las desventajas incluyen:

- Acondicionamiento: el aire debe tener acondicionamiento para evitar condensados y daños de elementos por esta razón
- Compresión: no permite velocidades homogéneas y constantes de los émbolos
- Ruido: el escape de aire produce altos niveles de sonido por lo que es necesaria protección auditiva

(Croser, P. 1991)

4. Componentes. Un sistema neumático involucra un compresor, tuberías, válvulas de control, actuadores y equipos auxiliares. El aire es comprimido a través del compresor y luego distribuido en los sistemas de tuberías hasta llegar al punto de consumo. Para lograr una óptima eficiencia del sistema neumático es importante que la caída de presión se mantenga tan baja como sea posible. Dónde más pérdidas de presión se presentan es en uniones de tubería y demás conexiones. (Majumdar, S.J. 1995)

a. Compresor y tanque

1) Compresor. El compresor de desplazamiento positivo se caracteriza por cerrar un volumen de gas o aire y aumentar la presión disminuyendo el área del

volumen encerrado. El compresor de pistón es de los más antiguos y más comunes en la industria.

El compresor de tornillo también es otro tipo muy utilizado. Este posee dos tornillos (macho y hembra) que se mueven en direcciones opuestas mientras el volumen entre ellos disminuye. Debido a que tienen menos componentes mecánicos que otras configuraciones pueden generar más flujo con dimensiones exteriores menores. (*Compressed Air Manual*. 1998)

Un compresor entregará 4 cfm de aire libre por cada caballo de fuerza indicado en placa. (Da Cunha, Ivor. 2007)

2) Tanque. Es necesario un tanque de almacenamiento de aire comprimido para suavizar las pulsaciones del flujo, proveer reserva de aire y eliminar condensado. Debe almacenar al menos la cantidad de aire entregada por el compresor en un minuto. (Majumdar, S.J. 1995)

b. Tubería. En muchas plantas de producción, el compresor se encuentra alejado del punto de consumo debido a múltiples razones. El medio de conexión entre el punto de generación y el punto de consumo es la tubería. Es necesario considerar una caída de presión mínima de aproximadamente 0.1 bar o menos. Para seleccionar la tubería de un sistema neumático hay que considerar:

- Presión de operación
- Flujo volumétrico total en línea
- Caída de presión permisible
- Material de tubería y tipos de juntas
- Largo y diámetro de tubería
- Ambiente de trabajo

Los materiales comúnmente utilizados en tuberías para aplicaciones neumáticas son acero galvanizado, hierro fundido, cobre, aluminio y policloruro de vinilo. Además la utilización de material flexible es muy común por lo que se encuentran mangueras de diferentes tipos. (Majumdar, S.J. 1995)

c. Válvulas de control. Para controlar un actuador neumático la energía del aire debe ser regulada y controlada a través de una configuración lógica. También es posible que exista la necesidad de regular el flujo de aire para generar alguna fuerza y velocidad deseada en un actuador. Esto se alcanza por medio de válvulas que controlan y regulan el aire. En general, las válvulas son utilizadas para:

- Activar o detener un actuador
- Controlar la dirección de flujo
- Controlar el flujo de aire
- Controlar la presión del aire

(Majumdar, S.J. 1995)

d. Actuadores. La potencia neumática puede ser convertida en movimiento lineal, como en los cilindros neumáticos, o en movimiento rotatorio, presente en motores neumáticos y algunas herramientas.

Las primeras aplicaciones del aire comprimido se presentaron en herramientas utilizadas en construcción, minería y carpintería. Entre la gran rama de herramientas neumáticas se puede encontrar martillos, taladros, desarmadores, sierras, llaves de chuchos, etc.

Por otro lado, los cilindros presentan un movimiento lineal recíprocante, y son utilizados en máquinas de distintas aplicaciones. Según su principio de operación se clasifican en: cilindros de simple efecto y doble efecto. (Majumdar, S.J. 1995)

e. Equipo auxiliar. El aire succionado por el compresor contiene partículas que pueden dañar los componentes de un sistema neumático. La presión de trabajo también debe ser regulada y lubricada antes de entrar al punto de utilización. Esto se controla por medio de las unidades de mantenimiento. La condensación del aire es otro problema presente en los sistemas neumáticos. Esta puede causar corrosión en tuberías y de igual manera, dañar los actuadores. Para evitar esto se utilizan secadores de aire. (Majumdar, S.J. 1995)

1) Unidad de mantenimiento. La unidad de mantenimiento tiene tres componentes: filtro de aire, regulador de presión y lubricante. Debido a la contaminación del aire, pequeñas partículas pueden estar presentes dentro del sistema, por lo que es necesario removerlas antes de que entren a los actuadores, al igual que el condensado en las líneas. La presión del sistema varía a lo largo de las tuberías y es corregida en la unidad de mantenimiento. Para este fin, todas las unidades cuentan con un manómetro. Por último, se añade lubricación para que los componentes de las válvulas y actuadores no se dañen durante su operación. La caída de presión a través de estos depende de la presión de operación y el flujo. Para una presión de 80 psi y un flujo de 60 cfm, la caída de presión es de 1.5 psi. (Majumdar, S.J. 1995)

2) Secadores. La humedad del aire debe ser controlada para evitar condensado en líneas. Esto se realiza por medio de secado realizado por un intercambiador de calor que reduce la temperatura de presión. También puede se puede realizar por medios químicos específicos. (Majumdar, S.J. 1995)

La caída de presión típica a través de un secador de aire comprimido es de 3 a 5 psi. El secador debería secar a la temperatura de rocío necesaria y de acuerdo al flujo del compresor. (Da Cunha, Ivor. 2007)

3) Filtros. La compresión de aire concentra sus impurezas. Dependiendo de la industria en la que se trabaja es necesario eliminar las partículas de líquidos y sólidos. Para esto se utilizan filtros de aceite y filtros de partículas.

V. PLAN DE TRABAJO

A. Generalidades de producción

1. El producto. Los productos de esta planta de manufactura son los colchones y bases. Debido a los diferentes tamaños que existen en el mercado y a los distintos tipos de camas que varían según el confort, la planta produce alrededor de 80 productos diferentes.

La columna vertebral de una cama está constituida por la estructura de resortes. La amortiguación y soporte se mejora con láminas y refuerzos de esponja que van sobre la estructura o inserta en ella. La parte estética la conforma las caras y fuelles, formados con tela con patrones cosidos.

Los camastrones poseen una estructura de madera formada con reglillas de diferentes medidas. Llevan un refuerzo de esponja y una funda de tela que los cubre por completo.

2. Áreas de producción. Para obtener los subproductos necesarios para manufacturar una cama o base, la planta cuenta con 6 áreas de producción y la sección de taller. A continuación se hace una breve descripción de las operaciones y maquinaria.

a. Estructura. Las máquinas resortereras son las encargadas de formar el alambre de acero en pequeños resortes individuales. Estos son unidos en la máquina ensambladora y

forman estructuras para los diferentes tamaños de camas existentes (King, Queen, Matrimonial, Semi matrimonial e Imperial). Por último pasan por las máquinas flejadoras, dónde se le agrega un contorno para darle rigidez a la estructura.

Las máquinas de estructuras poseen motores AC tipo jaula de ardilla y tratamiento térmico. Algunas son de procedencia italiana y otras manufacturadas en el país.

b. Químicos. En esta sección se producen los bloques de esponja y aglutinado. Se obtienen de una fórmula que mezcla distintos componentes que por medio de una reacción química da como resultado bloques de distintas densidades. Los bloques de aglutinado provienen de producto reciclado, que es molido y después aglutinado con una mezcla de químicos.

Químicos posee sistemas de bombeo, motores AC tipo jaula de ardilla, sistemas de ventilación y componentes neumáticos. Todas las máquinas fueron manufacturadas en el país.

c. Esponja. Los bloques de esponja son procesados en láminas de distintos grosores por medio de máquinas cortadoras, horizontales y verticales. Además se producen rollos de esponja, utilizados en el área de costura. En esta sección se encuentran las máquinas más antiguas de la planta, todas manufacturadas en el país.

d. Costura. En esta sección se realiza el forro de los colchones y bases. Los subproductos son las caras de la cama, el contorno de la cama (fuelle), y la funda del camastrón (para las bases). Para llegar a ser producto final de esta área, cada pieza va pasando por diferentes procesos.

Para realizar una cara o una funda, ésta debe pasar por cuatro máquinas diferentes. La máquina principal de ésta área une rollos de tela, esponja y guata para formar el

cuerpo de lo que será el producto final. Más adelante es procesado en distintas máquinas de coser industriales en las que se agrega material, corrigen fallas e identifica el producto.

Esta área de producción es la que más máquinas posee, y la única que exige conexiones monofásicas y trifásicas en un mismo lugar. Además algunas de las máquinas tienen un consumo de aire mínimo, que será considerado para el diseño del sistema neumático de la planta.

e. Camastrones. Las bases están formadas por reglillas de madera que son unidas por medio de pistolas neumáticas. Las reglillas llegan previamente cortadas a bodega, sin embargo en ocasiones se utiliza una sierra para realizar cortes. Además hay una máquina que taladra los agujeros para colocar las rosetas donde se enroscan las patas de la base. El mayor consumo neumático de la planta proviene de esta sección.

f. Preparado. Preparado es el lugar dónde todos los subproductos se unen para formar el colchón o base final. De primero se ensamblan las partes por medio de pistolas neumáticas. Después son cerradas en máquinas de coser industriales. Esta sección posee la mayor cantidad de actuadores neumáticos.

g. Taller y servicios. Esta sección comprende la maquinaria utilizada en el taller. Además se contempla el cargador del montacargas y el compresor de la planta.

3. Almacenamiento. El almacenamiento de subproductos y producto final en esta planta juega un papel importante debido a que se consideran espacios grandes por cada sección de manufactura. Como se mencionó anteriormente, la falta de espacio es la causa más importante para el traslado de planta. En este trabajo de graduación no se entra en detalles acerca de las cantidades consideradas para la nueva planta.

4. **Distribución en planta.** Unos de los mayores problemas que presenta Planta Petapa es la distancia que los operarios de Preparado recorren para recolectar las piezas necesarias para el ensamblaje de la cama. La obstaculización de caminos y el poco espacio disponible para circular provocan que la fluidez de producción se reduzca considerablemente. A esto hay que sumar que dentro de algunas áreas de producción se han ido agregando máquinas a como de lugar, sin pensar en una producción en línea, por lo que dentro de la misma área los operarios deben de transportar lo que hacen a lugares totalmente opuestos a su lugar de trabajo.

Otro de los problemas respecto a la distribución en planta es el área de trabajo disminuida que tienen algunos operarios, trabajando en lugares incómodos dónde una emergencia sería catastrófica debido a la obstaculización de caminos a causa de los mismos subproductos almacenados del área. La obstaculización de extintores y caminos promueve el desorden y en caso de emergencia las consecuencias podrían llegar a ser fatales.

El objetivo a alcanzar en Planta Villa Nueva es contar con una distribución que permita que la producción se pueda realizar de una forma fluida, ordenada y segura. Para alcanzar esto es necesario considerar:

- Producción en línea dentro de cada sección de producción
- Áreas de trabajo adecuadas para cada máquina y operario
- Pasillos entre máquinas y secciones que permitan fácil transporte de subproductos
- Áreas de almacenamiento mayores a las de Petapa, acordes a las proyecciones de producción
- Señalización de caminos y rutas de evacuación

B. Documentación

Las instalaciones que se realizarán en Planta Villa Nueva buscan proveer a la empresa los servicios para la operación del equipo utilizado para la manufactura de colchones y bases: electricidad y aire comprimido. El primer paso para el desarrollo de este proyecto consiste en realizar una documentación del equipo. La información de interés consiste en:

- Área de trabajo
- Potencia
- Amperaje
- Voltaje
- Fases
- Presión de trabajo
- Consumo de aire

Por tratarse de información exclusiva de la empresa, en este trabajo de graduación no se especificarán nombres de máquinas ni capacidades de producción de cada una de ellas. Para su referencia se procederá asignando una letra en referencia al área de producción, seguida de un número acorde al orden de procesamiento de los subproductos.

Tabla 2. Datos técnicos maquinaria

No.	Máquina	Área de trabajo (m)	HP	Kw	Amp (A)	Voltaje (V)	Ph	Presión (psi)	CFM
1	A1	6.5 x 4	15.01	11.20	63	220	3	-	-
2	A2	6.5 x 4	17.12	12.77	90	220	3	-	-
3	A3	4.8 x 1.6	4.05	3.02	7.5	230	3	-	-
4	A4	4.8 x 1.6	4.05	3.02	7.5	220	3	-	-
5	A5	4.5 x 3	1.47	1.10	4/2.	220/440	3	-	-
6	A6	4.5 x 3	1.47	1.10	26	220	3	-	-
7	B1	11 x 4.5	10.00	7.46	-	240	3	90	1
8	B1.1	-	3.00	2.24	-	220/440	3	-	-
9	B1.2	-	5.00	3.73	-	230/460	3	-	-
10	B2	2 x 2	3.00	2.24	-	208/230/460	3	-	-

Continuación Tabla 2. Datos técnicos maquinaria

No.	Máquina	Área de trabajo (m)	HP	Kw	Amp (A)	Voltaje (V)	Ph	Presión (psi)	CFM
11	B3	5 x 6	7.37	5.50	20/10.5	220/440	3	-	-
12	C1	4.5 x 6	2.00	1.49	-	240	3	-	-
13	C2	4 x 4.5	2.01	1.50	-	240	3	-	-
14	C3	4.5 x 6	5.00	3.73	18.5	208/230/460	3	-	-
15	C4	4 X 5	3.00	2.24	11.7	220	3	-	-
16	C5	5 x 5	1.00	0.75	-	240	3	-	-
17	D1	6 x 11	20.00	14.92	16	220	3	60-80	1.2
18	D1.1	-	7.50	5.60	-	210/230	3	80	1.2
19	D1.2	2.5 x 3.5	1.00	0.75	2.8	200/240	3	90	1
20	D1.3	2.5 x 3.5	0.50	0.37	6.2	115	1	-	-
21	D1.4	2 x 1.5	0.50	0.37	5.6/2.1	110/220	1	-	-
22	D2	4 x 5.5	3.00	2.24	13.3	220	3	-	-
23	D2.1	2 x 1.4	0.50	0.37	5.6/2.8	110/220	1	-	-
24	D2.2	2 x 1.5	0.54	0.40	5.2/2.6	110/220	1	-	-
25	D3	4 x 5.5	3.00	2.24	13.3	220	3	-	-
26	D3.1	2 x 1.5	0.25	0.19	5.6	110	1	-	-
27	D3.2	3 x 4.5	0.75	0.56	-	200/240	3	80	1
28	D3.3	2.5 x 3.5	1.00	0.75	2.8	240	3	-	-
29	D3.4	2.5 x 2.5	0.54	0.40	5.8/2.9	110/220	1	-	-
30	D3.5	2.5 x 2.5	0.54	0.40	5.8/2.9	110/220	1	-	-
31	D4	2.2 x 3	1.50	1.12	9	220	1	-	-
32	E1	1.5 x 3	1.00	0.75	4.8	220/380	3	90	5
33	E2	3 x 1	0.75	0.56	-	220	3	-	-
34	E3	1.7 x 2.2	-	-	-	-	-	80-120	5.52
35	E4	1.7 x 2.2	-	-	-	-	-	80-120	5.52
36	E5	1.7 x 2.2	-	-	-	-	-	80-120	5.52
37	E6	1.7 x 2.2	-	-	-	-	-	80-120	5.52
38	F1	2.8 x 2.8	1.00	0.75	-	230/460	1	-	-
39	F2	2.8 x 2.8	0.50	0.37	-	208/230/460	3	-	-
40	F3	2 x 2	-	-	-	-	-	70-90	1.6
41	F3	2 x 2	-	-	-	-	-	70-90	1.6
42	F3	2 x 2	-	-	-	-	-	70-90	1.6
43	F4	2 x 2	-	-	-	-	-	60-95	0.77
44	F4	2 x 2	-	-	-	-	-	60-95	0.77
45	F4	2 x 2	-	-	-	-	-	60-95	0.77
46	G1	1 x 1	1.00	0.75	-	110	1	-	-

Continuación Tabla 2. Datos técnicos maquinaria

No.	Máquina	Área de trabajo (m)	HP	Kw	Amp (A)	Voltaje (V)	Ph	Presión (psi)	CFM
47	G2	1 x 1	7.50	5.60	48	220	1	-	-
48	G3	1 x 1	0.50	0.37	-	110	1	-	-
49	G4	1.5 x 3	20.00	14.92	-	220/380/440	3	-	-
50	G5	1 x 1	15.00	11.19	40	230	3	-	-
ASUMIDOS									
Oficinas				15					
Iluminación				25					
Fuerza general				10					
25% del Motor más grande				3.73					
Potencia Instalada				154.13				CFM	39.59

La potencia instalada descrita anteriormente consiste en la sumatoria de todas las cargas trifásicas más la carga más alta de cada tres monofásicas. Las cargas monofásicas consideradas en esta sumatoria se encuentran en negrilla.

C. Antecedentes

1. Dimensiones del terreno. Planta Petapa tiene un espacio de 3,227.90 m² para la distribución de máquinas y almacenamiento de producto en proceso y producto final. Como se ha mencionado anteriormente, el espacio disponible ya no es suficiente para la planta.

2. Distribución maquinaria. La distribución de maquinaria en Planta Petapa se ha visto afectada por la falta de espacio disponible para el almacenamiento de subproductos y producto terminado. En este trabajo de graduación no se presentarán diagramas de flujo acerca de la producción ni se explicará con detalle la distribución de maquinaria.

3. Sistema eléctrico

a. Generalidades. El sistema eléctrico fue diseñado hace más de 30 años para la operación de una planta de plásticos. Cuando la empresa XYZ empezó a trabajar en estas instalaciones adaptó sus necesidades al equipo ya instalado. Hasta la fecha el equipo sigue utilizándose y se ha podido producir sin problemas de esta manera. Sin embargo, hay algunos detalles que dificultan diversas operaciones: algunos tableros de la planta utilizan interruptores que ya han sido discontinuados; se han efectuado instalaciones sobre las mismas instalaciones, acumulando deshechos en canaletas que circundan la planta; instalaciones sin soportería o sobre el suelo, poniendo en riesgo a los operarios o cómo obstáculo visual. Muchos tableros se encuentran obstaculizados por producto en proceso y no existe señalización necesaria para la seguridad del personal. En general, las condiciones eléctricas pueden mejorarse en todos sus aspectos, y se consideran estos errores para no reincidir en ellos en el diseño de Planta Villa Nueva.

b. Carga instalada. Es la sumatoria de la potencia de todas las máquinas instaladas en el sitio. Planta Petapa tiene una carga instalada de 154.13 kW. El cuadro especifica la carga instalada por área.

Tabla 3. Potencia instalada Planta Petapa.

No.	Área	HP	kW	Factor de demanda	Potencia máxima (kW)
1	Estructuras	43.18	32.21	100%	32.21
2	Químicos	28.37	21.17	100%	21.17
3	Esponja/Costura	51.80	38.64	100%	38.64
4	Camastrones	1.75	1.31	100%	1.31
5	Preparado	0.50	0.37	100%	0.37
6	Servicios	42.50	31.71	100%	31.71
	Oficinas	20.11	15	100%	15.00
	Iluminación	33.51	25	100%	25.00
	Fuerza general	13.40	10	100%	10.00
	25% motor más grande	5	3.73	100%	3.73

Continuación Tabla 3. Potencia instalada Planta Petapa

Totales	206.61	154.13	154.13
----------------	---------------	---------------	---------------

Potencia activa (kW)	154.13
Potencia aparente (kVA)	171.26

c. Demanda máxima. Es la carga o potencia máxima registrada que subsiste durante 15 minutos en el lapso de un mes. Según los datos de facturación de la Empresa Eléctrica, la potencia máxima promedio registrada entre los meses diciembre 2011 – septiembre 2012 fue de 52.89 kW. La demanda máxima registrada ocurrió en diciembre del 2011, con un valor de 64.4 Kw. Los datos del mes de julio no se encuentran disponibles.

En el siguiente cuadro se detallan los valores de energía consumida y potencia máxima registrada en los meses mencionados.

Tabla 4. Consumo y potencia máxima año 2012

Mes	Consumo energía (kWh)	Potencia máxima (kW)
dic-11	17,080.00	64.40
ene-12	10,080.00	50.40
feb-12	9,240.00	50.40
mar-12	10,080.00	47.60
abr-12	8,960.00	47.60
may-12	11,480.00	47.60
jun-12	11,200.00	50.40
jul-12		
ago-12	13,440.00	58.80
sep-12	14,560.00	58.80
PROMEDIO	11,791.11	52.89

Figura 8. Gráfica consumo energía Planta Petapa

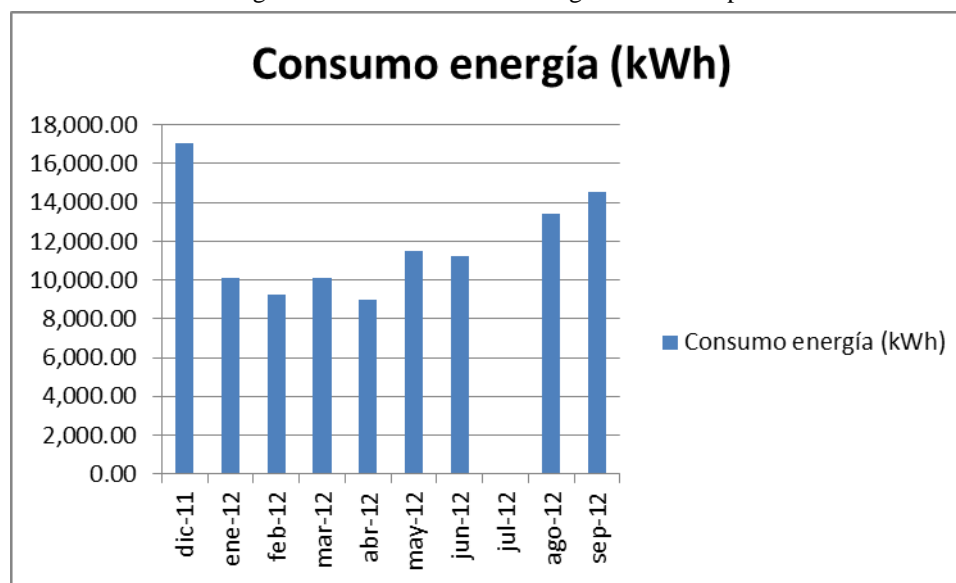
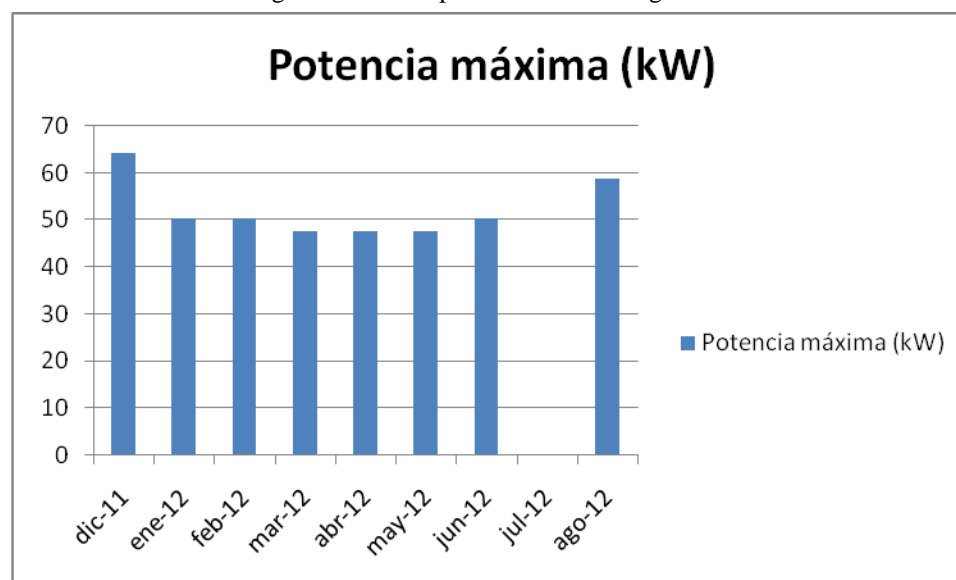


Figura 9. Gráfica potencia máxima registrada



d. Factor de demanda. El factor de demanda es la relación entre la potencia máxima y la potencia instalada. Este valor tiene que ver con la simultaneidad con que la maquinaria es utilizada. Algunas veces se calcula eliminando aquellas cargas que sirven únicamente de respaldo o reserva. (Bratu, Neagu; Campero, Eduardo. 1995)

$$F.D. = \text{Demanda máxima promedio} / \text{Potencia instalada} = 52.89/154.13 \text{ kW} = 0.34$$

Tabla 5. Carga con factor de demanda aplicado.

No.	Área	HP	kW	Factor de demanda	Potencia máxima (kW)
1	Estructuras	43.18	32.21	34%	11.05
2	Químicos	28.37	21.17	34%	7.26
3	Esponja/Costura	51.80	38.64	34%	13.26
4	Camastrones	1.75	1.31	34%	0.45
5	Preparado	0.50	0.37	34%	0.13
6	Servicios	42.50	31.71	34%	10.88
				34%	
	Oficinas	20.11	15	34%	5.15
	Iluminación	33.51	25	34%	8.58
	Fuerza general	13.40	10	34%	3.43
	25% motor más grande	5	3.73	34%	1.28

Totales	206.61	154.13	52.89
----------------	---------------	---------------	--------------

Potencia activa (kW)	52.89
Potencia aparente (kVA)	58.77

Determinar este valor es importante para definir la carga que se solicitará al Empresa Eléctrica en el contrato del servicio. Si se tiene un factor de demanda mal calculado la potencia instalada puede que no satisfaga las necesidades de la planta. En caso de que se haya sobredimensionado EEGSA podría aplicar sanciones.

4. **Sistema neumático.** El sistema neumático de Planta Petapa ha sufrido varias modificaciones desde su instalación inicial. En un principio era un circuito cerrado que circundaba las naves centrales de la planta. Después se sacaron de operación las tuberías más largas y se crearon mallas ubicadas en los puntos de operación de las secciones de preparado, camastrones y bases.

La presión de operación en el compresor es de 130 psi. Esta exagerada presión se debe a una alta caída de presión en la red, la cual tiene muchas causas: la configuración del sistema de tuberías no promueve una conservación de presión; las secciones de producción que requieren aire comprimido se encuentran muy alejadas entre sí; la vejez de la tubería se relaciona con una rugosidad alta; existen fugas en muchas partes del sistema; no hay un programa de mantenimiento adecuado. Además la acumulación de condensado en las líneas por falta de purga es causa de problemas de operación en algunas herramientas.

D. Diseño

El traslado de planta representa una excelente oportunidad para mejorar las condiciones generales de la operación de la planta. El diseño necesario comprende la distribución de las secciones de producción, así como cambios internos de cada sección para promover la producción en línea; el diseño del sistema eléctrico para la operación de la maquinaria; y el diseño neumático necesario para la operación del equipo que necesita aire comprimido.

1. **Dimensiones.** El terreno donde estará ubicada Planta Villa Nueva tiene un área total de 10,848 m². El espacio aprovechable para la planta tiene 7,717 m², 2.4 veces el área de Petapa. Se espera que de esta manera la distribución de la maquinaria, la señalización de caminos, el área para almacenamiento de materia prima, subproductos y

producto terminado, sea adecuada para la operación de la planta y para la seguridad de los trabajadores.

2. **Distribución maquinaria.** Los planos de la distribución de secciones de producción y maquinaria son parte esencial para el desarrollo del sistema eléctrico y neumático. Con base en la ubicación de las máquinas se hacen los cálculos para conductores, longitudes de tubería y canales.

La ubicación de la maquinaria no será detallada en este trabajo de graduación por ser información confidencial de la empresa. Sin embargo, de acuerdo a estos es que se desarrolla el proyecto eléctrico y neumático.

3. **Sistema eléctrico.** La configuración del sistema eléctrico en Planta Villa Nueva se puede observar en el Unifilar Anexo A1. Un tablero principal distribuye la energía a 5 secciones correspondientes a las áreas de producción:

- Estructura
- Esponja/Costura
- Camastrones
- Preparado
- Químicos

Se decide trabajar con 480V y bajar a 240V por medio de transformadores en cada sección de la planta. De esta manera el dimensionamiento de los conductores e interruptores se reduce convenientemente para la inversión del proyecto.

Cada una de estas secciones será dimensionada de acuerdo a la maquinaria presente, a la carga que representa la iluminación y tomando en consideración la instalación futura de nuevas máquinas. Cada una de ellas tendrá su tablero que se especificará más adelante.

a. Cálculos por sección. A continuación se detallan los cálculos realizados para cada sección de la planta. Se calcula la potencia total de maquinaria más carga por iluminación y fuerza, y se dimensiona el transformador necesario. El interruptor de cada sección correspondiente al tablero principal se calcula en base a la carga máxima que puede soportar cada transformador.

Las cargas monofásicas no pueden sumarse como si fueran trifásicas, por lo que se toma la mayor de cada tres. La carga considerada está en negrilla en cada una de las tablas siguientes.

La corriente descrita se utilizará para dimensionar los conductores que irán del tablero principal a cada tablero de distribución. Para realizar este cálculo se utilizaron las siguientes variables.

Tabla 6. Variables para cálculos

Variables			
Factor demanda	100%		
Sistema trifásico	$\sqrt{3}$	1.732	
Voltaje	V	480/240	Volts
Factor de potencia	f.p.	0.9	
Factor de seguridad (eficiencia)	f.s.	1.25	

1) Sección estructuras. Además de la maquinaria de la sección, se considera la maquinaria del taller de mantenimiento y la iluminación del patio exterior de la bodega.

Tabla 7. Potencia/corriente estructuras

No.	Área	Máquina	Sistema	Voltaje	HP	kW	Factor diseño	Potencia máxima (kW)
1	Estructura	A1	Trifásico	220	15.013	11.2	100%	11.2
2	Estructura	A2	Trifásico	220	17.118	12.77	100%	12.77
3	Estructura	A3	Trifásico	230	4.048	3.02	100%	3.02
4	Estructura	A4	Trifásico	220	4.048	3.02	100%	3.02
5	Estructura	A5	Trifásico	220/440	1.475	1.1	100%	1.1
6	Estructura	A6	Trifásico	220	1.475	1.1	100%	1.1
7	Taller	G1	Monofásico	110	1	0.746	100%	0.746
8	Taller	G2	Monofásico	220	7.5	5.595	100%	5.595
9	Taller	G3	Monofásico	110	0.5	0.373	100%	0.373
		Iluminación, fuerza.			10	7.46	100%	7.46
		Iluminación, fuerza.			10	7.46	100%	7.46
		25% motor más grande			5	3.73	100%	3.73

TOTALES		77.18	49.00		49.00
----------------	--	--------------	--------------	--	--------------

Potencia activa (kW)	49.00
Potencia aparente (kVA)	54.44

Cálculo de corriente (conductores)

$$I = P / (1.73 \times V \times \text{f.p.}) \times \text{f.s.} \quad \mathbf{81.85 \text{ A}}$$

Transformador recomendado **75 kVA**

Interruptor tablero principal y tablero de sección basados en 75 kW.

Voltaje (V)	Corriente (A)	Interruptor
480	90.21	125 A
240	180.42	225 A

2) Sección químicos. Se considera la iluminación exterior correspondiente a las bodegas de químicos y materia prima. También la potencia necesaria para la utilización del edificio de ventas.

Tabla 8. Potencia/corriente químicos

No.	Área	Máquina	Sistema	Voltaje	HP	kW	Factor diseño	Potencia máxima (kW)
7	Químicos	B1	Trifásico	240	10	7.46	100%	7.46
8	Químicos	B1.1	Trifásico	220/440	3	2.238	100%	2.238
9	Químicos	B1.2	Trifásico	230/460	5	3.73	100%	3.73
10	Químicos	B2	Trifásico	208/230/460	3	2.238	100%	2.238
11	Químicos	B3	Trifásico	220/440	7.373	5.5	100%	5.5
		Iluminación, fuerza.			10	7.46	100%	7.46
		25% motor más grande			1.843	1.375	100%	1.375
		Edificio ventas			10	7.46	100%	7.46

TOTALES		50.22	30.00		30.00
----------------	--	--------------	--------------	--	--------------

Potencia activa (kW)	30.00
Potencia aparente (kVA)	33.33

Cálculo de corriente (conductores)

$$I = P / (1.73 \times V \times f.p.) \times f.s. \quad \mathbf{50.12 \text{ A}}$$

Transformador recomendado **75 kVA**

Interruptor Tablero Principal y tablero de sección basado en 75 kW.

Voltaje (V)	Corriente (A)	Interruptor
480	90.21	125 A
240	180.42	225 A

3) Sección esponja y costura. Esponja y costura serán alimentadas por el mismo tablero. Además se considera la carga necesaria para iluminación del mezanine de producción. La máquina G6 consiste en un polipasto que será instalado en la nueva planta.

Tabla 9. Potencia/corriente esponja y costura

No.	Área	Máquina	Sistema	Voltaje	HP	kW	Factor diseño	Potencia máxima (kW)
12	Esponja	C1	Trifásico	240	2	1.492	100%	1.492
13	Esponja	C2	Trifásico	240	2.011	1.5	100%	1.5
14	Esponja	C3	Trifásico	208/230/460	5	3.73	100%	3.73
15	Esponja	C4	Trifásico	220	3	2.238	100%	2.238
16	Esponja	C5	Trifásico	240	1	0.746	100%	0.746
50	Servicios	G5	Trifásico	230	15	11.19	100%	11.19
	Servicios	G6	Trifásico		5	3.73	100%	3.73
		Iluminación, fuerza.			5	3.73	100%	3.73
17	Costura	D1	Trifásico	220	20	14.92	100%	14.92
18	Costura	D1.1	Trifásico	210/230	7.5	5.595	100%	5.595
19	Costura	D1.2	Trifásico	200/240	1	0.746	100%	0.746
20	Costura	D1.3	Monofásico	115	0.5	0.373	100%	0.373
21	Costura	D1.4	Monofásico	110/220	0.5	0.373	100%	0.373
22	Costura	D2	Trifásico	220	3	2.238	100%	2.238
23	Costura	D2.1	Monofásico	110/220	0.5	0.373	100%	0.373
24	Costura	D2.2	Monofásico	110/220	0.536	0.4	100%	0.4
25	Costura	D3	Trifásico	220	3	2.238	100%	2.238
26	Costura	D3.1	Monofásico	110	0.25	0.187	100%	0.187
27	Costura	D3.2	Trifásico	200/240	0.75	0.560	100%	0.560
28	Costura	D3.3	Trifásico	240	1	0.746	100%	0.746
29	Costura	D3.4	Monofásico	110/220	0.536	0.4	100%	0.4
30	Costura	D3.5	Monofásico	110/220	0.536	0.4	100%	0.4
31	Costura	D4	Monofásico	220	1.5	1.119	100%	1.119
		Iluminación, fuerza.			5	3.73	100%	3.73
		25% motor más grande			5	3.73	100%	3.73

TOTALES		89.12	63.63		63.63
----------------	--	--------------	--------------	--	--------------

Continuación Tabla 9. Potencia/corriente esponja y costura

Potencia activa (kW)	63.63
Potencia aparente (kVA)	70.70

Cálculo de corriente (conductores)

$$I = P / (1.73 \times V \times \text{f.p.}) \times \text{f.s.} \quad \mathbf{106.30 \text{ A}}$$

Transformador recomendado **75 kVA**

**Interruptor tablero principal y tablero de sección
basado en 75 kW.**

Voltaje (V)	Corriente (A)	Interruptor
480	90.21	125 A
240	180.42	225 A

4) Sección camastrones. Esta sección considera las dos máquinas de camastrones, el tablero que utilizará mantenimiento de vehículos, el compresor y la iluminación frontal de la bodega.

Tabla 10. Potencia/corriente camastrones

No.	Área	Máquina	Sistema	Voltaje	HP	kW	Factor diseño	Potencia máxima (kW)	
32	Camastrón	E1	Trifásico	220/380	1	0.746	100%	0.746	
33	Camastrón	E2	Trifásico	220	0.75	0.560	100%	0.560	
49	Servicios	G4	Trifásico	220/380/440	20	14.92	100%	14.92	
	Servicios	G7	Monofásico		1	0.746	100%	0.746	
		Iluminación, fuerza.				10	7.46	100%	7.46
		25% del motor más grande				5	3.73	100%	3.73

TOTALES		37.75	27.42		27.42
----------------	--	--------------	--------------	--	--------------

Potencia activa (kW)	27.42
Potencia aparente (kVA)	30.46

Cálculo de corriente (conductores)

$$I = P / (1.73 \times V \times \text{f.p.}) \times \text{f.s.} \quad \mathbf{45.80 \text{ A}}$$

**Transformador
recomendado**

30 kVA

**Interruptor tablero principal y tablero de sección
basado en 30 kW.**

Voltaje (V)	Corriente (A)	Interruptor
480	36.08	50 A
240	72.17	100 A

5) Sección preparado. Las oficinas serán alimentadas por el tablero de preparado, por lo que se incluyen en los cálculos de esta sección.

Tabla 11. Potencia/corriente Preparado

No.	Área	Máquina	Sistema	Voltaje	HP	kW	Factor diseño	Potencia máxima (kW)
38	Preparado	F1	Monofásico	230/460	1	0.746	100%	0.746
39	Preparado	F2	Trifásico	208/230/460	0.5	0.373	100%	0.373
		Iluminación, fuerza.			10	7.46	100%	7.46
		25% motor más grande			0.25	0.187	100%	0.19
		OFICINAS			15	11.190	100%	11.19

TOTALES		26.75	11.75		11.75
----------------	--	--------------	--------------	--	--------------

Potencia activa (kW)	11.75
Potencia aparente (kVA)	13.06

Cálculo de corriente (conductores)

$$I = P / (1.73 \times V \times \text{f.p.}) \times \text{f.s.} \quad \mathbf{19.63 \text{ A}}$$

**Transformador
recomendado**

30 kVA

**Interruptor tablero principal y tablero de sección
basado en 30 kW.**

Voltaje (V)	Corriente (A)	Interruptor
480	36.08	50 A
240	72.17	100 A

b. Resumen de cargas

Tabla 12. Resumen de cargas

No.	Área	HP	kW	Factor diseño	Potencia máxima (kW)
1	Estructuras	77.18	49.00	100%	49.00
2	Químicos	50.22	30.00	100%	30.00
3	Esponja/Costura	89.12	63.63	100%	63.63
4	Camastrones	37.75	27.42	100%	27.42
5	Preparado	26.75	11.75	100%	11.75

TOTALES	281.01	181.80	181.80
----------------	---------------	---------------	---------------

Potencia activa (kW)	181.80
Potencia aparente (kVA)	202.00

Cálculo de corriente

$$I = P / (1.73 \times V \times \text{f.p.}) \times \text{f.s.} \quad \mathbf{303.71 \text{ A}}$$

Transformador recomendado **250 kVA***

Interruptor

Voltaje (V)	Corriente (A)	Interruptor
480	300.70	500 A
240	601.41	800 A

*Este valor corresponde al banco de transformadores que hay que solicitar a EEGSA para la conexión del servicio. Sin embargo, el solicitado es de 75kVA según el factor de demanda igual al 34%.

c. Transformadores

1) Transformador tipo seco de 75 kVA

3 Transformadores tipo seco Federal Pacific, 75 kVA – Cat: T4T75E para propósito general, tres fases, 60 Hz, primario 480 delta, secundario 240/120.

2) Transformador tipo seco de 30 kVA

2 Transformadores tipo seco Federal Pacific, 30 kVA – Cat: T4T30E para propósito general, tres fases, 60 Hz, primario 480 delta, secundario 240/120.

d. Tableros. Las especificaciones de los tableros que se utilizarán se presentan a continuación:

1) Tablero Principal (TP)

Tablero tipo Panel Board marca Siemens, barras de 800 A, tres fases, 480 voltios, neutro y tierra aislada, con interruptor principal de 500 A.

2) Tablero Sección Estructura (TE)

Tablero semi industrial Siemens, 42 polos, tres fases, 240 voltios, barras de 225 A, con interruptor principal de 3 x 225 A.

3) Tablero Sección Químicos (TQ)

Tablero semi industrial Siemens, 42 polos, tres fases, 240 voltios, barras de 225 A, con interruptor principal de 3 x 225 A.

4) Tablero Sección Esponja/Costura (TE/C)

Tablero semi industrial Siemens, 42 polos, tres fases, 240 voltios, barras de 225 A, con interruptor principal de 3 x 225 A.

5) Tablero Costura 1 (TC1)

Tablero centro de carga Siemens, 30 polos, tres fases, 240 voltios, barras de 200 A, con interruptor principal de 3 x 175 A.

6) Tablero Costura 2 (TC2)

Tablero centro de carga Siemens, 30 polos, tres fases, 240 voltios, barras de 200 A, sin interruptor principal.

7) Tablero Esponja (TE)

Tablero centro de carga Siemens, 30 polos, tres fases, 240 voltios, barras de 200 A, con interruptor principal de 125 A.

8) Tablero Sección Camastrones (TC)

Tablero centro de carga Siemens, 30 polos, tres fases, 240 voltios, barras de 200 A, con interruptor principal de 3 x 100 A.

9) Tablero Sección Preparado (Tprep)

Tablero centro de carga Siemens, 30 polos, tres fases, 240 voltios, barras de 200 A, con interruptor principal de 3 x 100 A.

10) Tableros centros de carga

3 Tableros centro de carga, 24 polos, tres fases 240 voltios.

11) Tablero centro de carga

7 Tableros centro de carga, 16 polos, monofásico, 240 voltios.

e. Conductores principales. Se le llama caída de voltaje a la diferencia entre el voltaje aplicado al extremo alimentador de una instalación y el obtenido en cualquier otro punto del sistema. De acuerdo al NEC, la caída máxima de voltaje permitida es 3% para el circuito alimentador y 3% para el circuito derivado. (Bratu, Neagu; Campero, Eduardo. 1995)

La fórmula utilizada para la caída de voltaje es

$$e = \frac{2cLI}{s_{cu}V}$$

e = caída de voltaje en %

c = sistema trifásico

L = longitud de conductor en metros

I = corriente de carga en amperes

V = voltaje aplicado en volts

Scu = sección transversal del conductor (Tabla 40 en Anexo)

(Bratu, Neagu; Campero, Eduardo. 1995)

Los conductores que tienen más longitud en esta instalación son aquellos que van desde el tablero principal a cada tablero de distribución. Para el cálculo se toman dos valores de corrientes: la corriente máxima que está limitada por el tamaño del transformador, y la corriente nominal calculada en base a la maquinaria instalada. A continuación se presenta el resumen de resultados para cada área.

La corriente nominal se calculó con un factor de seguridad de 1.25 debido a que en algunas secciones la potencia instalada es mucho menor a la capacidad del transformador. Por esta razón se sobredimensiona para la instalación futura de maquinaria.

1) Conductor estructuras

Tabla 13. Caída de voltaje estructuras

Longitud TP a TE (m)	16
Cable	AWG 2
Sección cobre (mm ²)	33.63
Corriente máxima (A)	90.21
Corriente nominal (A)	81.85
Voltaje (V)	480
Sistema trifásico	1.732
Caída corriente máxima	0.31
Caída corriente nominal	0.28

2) Conductor químicos

Tabla 14. Caída de voltaje químicos

Longitud TP a TQ (m)	116
Cable	No. AWG 1/0
Sección cobre (mm ²)	53.48
Corriente máxima (A)	90.21
Corriente nominal (A)	50.12
Voltaje (V)	480
Sistema trifásico	1.732

Caída corriente máxima	1.41
Caída corriente nominal	0.78

3) Conductor esponja/costura

Tabla 15. Caída de voltaje esponja costura

Longitud TP a TE/C (m)	60
Cable	No. AWG 2
Sección cobre (mm ²)	33.63
Corriente máxima (A)	90.21
Corriente nominal (A)	106.30
Voltaje (V)	480
Sistema trifásico	1.732

Caída corriente máxima	1.16
Caída corriente nominal	1.37

4) Conductor camastrones

Tabla 16. Caída de voltaje camastrones.

Longitud TP a TC (m)	96
Cable	No. AWG 6
Sección cobre (mm ²)	13.3
Corriente máxima (A)	36.08
Corriente nominal (A)	45.80
Voltaje (V)	480
Sistema trifásico	1.732

Caída corriente máxima	1.88
Caída corriente nominal	2.39

5) Conductor preparado

Tabla 17. Caída de voltaje preparado

Longitud TP a Tprep (m)	81
Cable	No. AWG 6
Sección cobre (mm ²)	13.3
Corriente máxima (A)	36.08
Corriente nominal (A)	19.63
Voltaje (V)	480
Sistema trifásico	1.732

Caída corriente máxima	1.59
Caída corriente nominal	0.86

f. Interruptores y conductores maquinaria. Para el dimensionamiento de los interruptores de cada máquina se utilizó la tabla 38 en Anexo. Los conductores que van del tablero de sección a la máquina se definieron en base a la tabla 39 en Anexo.

Tabla 18. Interruptores y conductores por máquina.

No.	Máquina	HP	Kw	Corriente nominal (A)	Corriente arranque (A)	Interruptor	Conductor
1	A1	15.01	11.20	26.94	188.60	3 x 100	AWG 4
2	A2	17.12	12.77	30.72	215.04	3 x 100	AWG 4
3	A3	4.05	3.02	7.26	50.85	3 x 20	AWG 12
4	A4	4.05	3.02	7.26	50.85	3 x 20	AWG 12
5	A5	1.47	1.10	2.65	18.52	3 x 15	AWG 12
6	A6	1.47	1.10	2.65	18.52	3 x 15	AWG 12
7	B1	10.00	7.46	17.95	125.62	3 x 70	AWG 8
8	B1.1	3.00	2.24	5.38	37.69	3 x 20	AWG 12
9	B1.2	5.00	3.73	8.97	62.81	3 x 30	AWG 12
10	B2	3.00	2.24	5.38	37.69	3 x 20	AWG 12
11	B3	7.37	5.50	13.23	92.62	3 x 50	AWG 10
12	C1	2.00	1.49	3.59	25.12	3 x 15	AWG 12
13	C2	2.01	1.50	3.61	25.26	3 x 15	AWG 12
14	C3	5.00	3.73	8.97	62.81	3 x 30	AWG 12
15	C4	3.00	2.24	5.38	37.69	3 x 20	AWG 12
16	C5	1.00	0.75	1.79	12.56	3 x 15	AWG 12
17	D1	20.00	14.92	35.89	251.24	3 x 100	AWG 4
18	D1.1	7.50	5.60	13.46	94.22	3 x 50	AWG 10
19	D1.2	1.00	0.75	1.79	12.56	3 x 15	AWG 12
20	D1.3	0.50	0.37	0.90	6.28	1 x 15	AWG 12
21	D1.4	0.50	0.37	0.90	6.28	1 x 15	AWG 12
22	D2	3.00	2.24	5.38	37.69	3 x 20	AWG 12
23	D2.1	0.50	0.37	0.90	6.28	2 x 15	AWG 12
24	D2.2	0.54	0.40	0.96	6.74	2 x 15	AWG 12
25	D3	3.00	2.24	5.38	37.69	3 x 20	AWG 12
26	D3.1	0.25	0.19	0.45	3.14	2 x 15	AWG 12
27	D3.2	0.75	0.56	1.35	9.42	2 x 20	AWG 12
28	D3.3	1.00	0.75	1.79	12.56	2 x 20	AWG 12
29	D3.4	0.54	0.40	0.96	6.74	1 x 15	AWG 12
30	D3.5	0.54	0.40	0.96	6.74	1 x 15	AWG 12
31	D4	1.50	1.12	2.69	18.84	2 x 20	AWG 12
32	E1	1.00	0.75	1.79	12.56	3 x 15	AWG 12
33	E2	0.75	0.56	1.35	9.42	3 x 15	AWG 12
38	F1	1.00	0.75	1.79	12.56	3 x 15	AWG 12
39	F2	0.50	0.37	0.90	6.28	3 x 15	AWG 12

Continuación Tabla 18. Interruptores y conductores por máquina

No.	Máquina	HP	Kw	Corriente nominal (A)	Corriente arranque (A)	Interruptor	Conductor
46	G1	1	0.746	1.79	12.56	2 x 15	AWG 12
47	G2	7.5	5.595	13.46	94.22	2 x 50	AWG 12
48	G3	0.5	0.373	0.90	6.28	1 x 15	AWG 12
49	G4	20	14.92	35.89	251.24	3 x 125	AWG 4
50	G5	15	11.19	26.92	188.43	3 x 100	AWG 6
51	G6	5	3.73	8.97	62.81	3 x 30	AWG 12
52	G7	1	0.746	1.79	12.56	2 x 15	AWG 12

g. Canalización. Los elementos destinados a la protección de los conductores (tubos pvc y canales metálicos) se especifican en el plano Alimentadores principales en Anexo A2. La especificación de la tubería de los tableros de distribución a cada máquina se observa en el Unifilar Anexo A1.

Es importante mencionar que el número de conductores dentro de un tubo tiene que ser restringido de manera que permita un arreglo físico que facilite el alojamiento y la manipulación, considerando también la cantidad de aire necesaria para que los conductores se mantengan a temperaturas adecuadas. (Enríquez, Gilberto. 2007)

Tabla 19. Porcentaje permisible de relleno en tubería. Referencia 1.

Número de conductores	1	2	más de 2
Relleno permisible	53%	31%	40%

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

F = factor de relleno

A = sección tubería

a = sección conductores

h. Factor de potencia. Para el cálculo del banco de capacitores es necesario conocer el factor de potencia actual, el factor de potencia deseado y la demanda en Kilowatts. Dónde se cruzan los valores del factor de potencia en la *Tabla para corregir el factor de potencia* suministrada por ABB, se encuentra el valor que hay que multiplicar por la demanda, para obtener la dimensión del banco de capacitores a utilizar. La tabla 41 en Anexo demuestra una tabla similar a la utilizada.

Planta Petapa cuenta con un banco de capacitores que al desconectar demuestra cuál es el valor del factor de potencia. Según observación, se determina que el factor de potencia sin banco de capacitores es de 0.66. La demanda actual promedio de la planta es de 52.89 kW. Sin embargo se dimensionará para una demanda de 75 kW.

$$\text{Dimensión Banco de Capacitores} = 0.654 * 75kW = 49.05kVA$$

El banco de capacitores necesario para Planta Villa Nueva debe ser de 50 kVAR.

i. Costos. El material utilizado para las instalaciones eléctricas en Planta Villa Nueva fue adquirido en Electroma, S.A., Impelsa, Proelca y Anclo Centroamericana. Por tratarse de información confidencial de la empresa sólo se presentará un estimado de la inversión total.

Tabla 20. Costos instalación eléctrica

Descripción	Precio total
Materiales para planta	Q160,000.00
Tableros y transformadores	Q175,000.00
Mano de obra	Q100,000.00
	Q435,000.00

Materiales para planta incluye tubería pvc, tubería emt, codos, uniones, canal metálica de 4x12” y 4x8”, varilla de acero, abrazaderas y tornillos. Además se puede

observar el rubro de mano de obra debido a que la empresa no cuenta con personal para las instalaciones en el sitio.

4. Sistema neumático

a. Consumo. La utilización de aire comprimido en la planta es principalmente para pistolas engrapadoras utilizadas en el ensamblaje de colchones y bases de madera. Aparte hay un número reducido de máquinas que cuentan con componentes neumáticos, principalmente cilindros de dimensiones pequeñas, por lo que el consumo es realmente bajo. A continuación se presenta el resumen de los componentes neumáticos y sus características. Estos datos han sido obtenidos de los manuales de cada herramienta y máquina. Se explica el cálculo para la máquina E1. La máquina B1 no se toma en cuenta en el dimensionamiento de este sistema.

Tabla 21. Resumen de componentes neumáticos, características de operación

No.	Máquina	Presión	CFM
7	B1	90	1
17	D1	60-80	1.2
18	D1.1	80	1.2
19	D1.2	90	1
27	D3.2	80	1
32	E1	90	2.5
34	E3	80-120	5.52
35	E4	80-120	5.52
36	E5	80-120	5.52
37	E5	80-120	5.52
43	F4	60-95	0.77
44	F4	60-95	0.77
45	F4	60-95	0.77
40	F3	70-90	1.6
41	F3	70-90	1.6
42	F3	70-90	1.6
		TOTAL	37.09

Las especificaciones de consumo se dan en términos de aire libre, que indica la cantidad de aire que se entrega por unidad de tiempo suponiendo que el aire se encuentra a presión atmosférica (14.7 psia o 101.3 kPa abs) y temperatura estándar de 60°F o 15°C. Para determinar el flujo volumétrico en otras condiciones se utiliza la siguiente ecuación.

$$Q_a = Q_s * \frac{p_{atm-s}}{p_{atm} + p_a} * \frac{T_a}{T_s}$$

Q_a = Flujo volumétrico en condiciones reales (scfm)

Q_s = Flujo volumétrico en condiciones estándar (cfm)

P_{atm-s} = Presión atmosférica absoluta estándar

P_{atm} = Presión atmosférica absoluta real

P_a = Presión de operación

T_a = Temperatura absoluta real

T_s = Temperatura absoluta estándar = 520° R

(Mott, Robert. 2006)

1) Consumo E1. El posee tres cilindros de doble efecto controlados por válvulas de palanca. El consumo en un cilindro depende del diámetro del pistón, diámetro del vástago y la carrera.

Tabla 22. Cilindros neumáticos E1

Cilindro	Función	Carrera (ft)	Diámetro pistón (ft)	diámetro vástago (ft)	Presión de operación (psi)
1	Elevador	0.82	0.21	0.07	90
2	Mordaza	0.22	0.16	0.053	90
3	Mordaza	0.22	0.16	0.053	90

Las ecuaciones necesarias para el cálculo del consumo de aire de un cilindro de doble efecto son:

$$Q = \left(S * \frac{D^2 * \pi}{4} + S * \frac{D^2 - d^2}{4} * \pi \right) * n * Rel. Compresión$$

Q = consumo en cfm

S = carrera en ft

D = diámetro pistón en ft

d = diámetro vástago en ft

n = ciclos por minuto

$$Rel. Compresión = \frac{1.013 + presión de operación en bar}{1.013}$$

De acuerdo a estas ecuaciones se determina que el consumo de aire en esta máquina es de 2.5 cfm. Los ciclos por minuto se calculan en base a la producción de la máquina. En este caso se consideran 5 ciclos en un minuto como máximo.

b. Compresor y tanque de almacenamiento. El compresor que se utilizará para alimentar el sistema neumático es un Compresor de Tornillo marca Ingersoll Rand T300 serie 716088 de 20 hp. Su presión máxima de operación es 140 psi y la mínima 105 psi. Entrega 11.66 scfm.

Un compresor trabaja raras veces a plena carga durante mucho tiempo. Para esto, existen sistemas que controlan el flujo eficientemente. El sistema de control encendido/apagado es el más simple y común de compresores menores a 30 hp. Un sensor monitorea la presión de descarga, encendiendo y apagando el motor de acuerdo a esta.

El almacenaje mínimo deber ser 1 galón por cfm para que el compresor utilice 92% de su plena carga. Si se incrementa a 10 galones por cfm, el compresor utilizará el 77%.

Estos datos se cumplen si se utiliza el sistema de control carga/descarga. (Da Cunha, Ivor. 2007)

De acuerdo a lo anterior y tomando en cuenta 60 cfm, el tanque de almacenamiento debería ser de 60 gal.

Como cálculo alternativo se propone la siguiente ecuación para el cálculo del tanque.

$$V_r = \frac{15PQ}{\Delta PN}$$

V_r = volumen del tanque m^3

Q = descarga m^3/min (60 cfm = 1.7 m^3/min)

P = presión de entrada (bar abs) = 1.013 bar

ΔP = diferencial de presión (bar) = 6.12 bar

N = número de ciclos por hora = 10

(Majumdar, S.J. 1995)

El resultado indica que es necesario un tanque de 0.84 m^3 igual a 225 galones.

c. Sistema de tuberías. El rendimiento y la productividad del equipo disminuyen si la presión cae por debajo de la presión de trabajo establecida. En el diseño de tuberías, las pérdidas entre el compresor y el punto de consumo deben ser las mínimas.

Cuando en alguna parte del sistema se presentan cambios de presión o temperatura, deben tomarse en cuenta las modificaciones del peso específico del aire. Si el cambio de la presión es menor al 10% de la presión de entrada, las variaciones en el peso específico tienen un efecto despreciable.

El peso específico se calcula a partir de la ley de los gases ideales de la termodinámica,

$$P = \gamma RT$$

P = presión absoluta del gas

γ = peso específico del gas

T = temperatura absoluta del gas

R = constante del gas en consideración, 53.3 ft*lb para el aire

Para calcular la pérdida de presión entre dos puntos se utiliza la ecuación de energía anteriormente expuesta,

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + h_A - h_R - h_L = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

P_1 representa la presión en el compresor y P_2 la ubicación del punto de uso. La altura no cambia en esta instalación por lo que ese término se desprecia. Si el diámetro de la tubería es el mismo, se desprecia la carga por velocidad. Dentro de cada circuito no hay elementos mecánicos que adicionen o quiten energía al sistema. La ecuación resultante es:

$$\frac{P_1}{\gamma} + h_L = \frac{P_2}{\gamma}$$

Se desea que el peso específico tenga el menor cambio posible, por lo que se asume que tienen el mismo valor. Despejando para la presión en el compresor:

$$P_1 = P_2 + \gamma h_L$$

y

$$h_L = f \left(\frac{L}{D} \right) \left(\frac{v^2}{2g} \right) + f_t \left(\frac{L_e}{D} \right) \left(\frac{v^2}{2g} \right)$$

El primer término representa la carga de velocidad a través de toda la tubería del circuito. El segundo se refiere a la carga de velocidad a través de codos, tes y válvulas. El valor de f se obtiene de la lectura del Diagrama de Moody (Figura 10 en Anexo) utilizando la rugosidad relativa y el Número de Reynolds. El valor de f_t representa el factor de fricción en la zona de turbulencia completa para accesorios y se encuentra en la Tabla 43 en Anexo. La longitud equivalente de cada accesorio se encuentra en la tabla 42 en Anexo.

El proceso de diseño empieza eligiendo un tamaño de tubería de acuerdo a la Tabla 44 en Anexo. Se evalúa la caída de presión y si es mayor al 10% se evalúa de nuevo hasta que la caída sea satisfactoria. El cálculo para cada línea y ramal se ha evaluado como si estuviera conectado directamente al compresor. La máxima caída de presión (suma de caídas de presiones individuales) resulta ser menor al 10% de la presión total.

El sistema de tuberías está formado por: línea principal, línea camastrones, ramal bases, ramal camastrones, ramal preparado y ramal costura. El consumo de cada parte se especifica a continuación. En el Plano Sistema Neumático Anexo A3 se especifica la configuración del sistema.

Tabla 23. Líneas y ramales sistema neumático

Sistema neumático	CFM
Línea principal	36.09
Línea camastrones	26.89
Ramal bases	2.31
Ramal camastrones	24.58
Ramal preparado	4.8
Ramal costura	4.4

1) Línea Principal. La línea principal deberá soportar la máxima demanda del sistema y puede ser dimensionado en base a la capacidad del compresor. Sin embargo, es poco probable que la demanda pueda ser tan grande. Se hacen los cálculos en base a tres valores de demanda distintos.

Variables de utilización

Presión atmosférica	14.7	Psi
Presión manométrica	90	Psi
Temperatura	80	F
Temperatura absoluta	520	°R
Constante del aire	53.30	ft*lb
Temperatura absoluta	540	°R

Flujo en condiciones reales

Flujo estándar	80	aire libre
Flujo en cond. Reales	11.66	Cfm

Peso específico aire

Peso específico aire	0.52	lb/ft ³
----------------------	------	--------------------

Tabla 24. Accesorios línea principal

Accesorios	Cantidad	Le/D	Subtotal
Válvula de compuerta	1	8	8
Codo estándar a 90°	1	30	30
Te estándar (flujo directo)	2	20	40
	TOTAL		78

Tabla 25. Resultados principal 80 cfm y tubería diámetro 1 ¼"

Cálculo caída de presión		
Flujo estándar	80	cfm
Flujo real	11.66	Cfm
Tubería	1 1/4	cédula 40
Diámetro	0.115	Ft
Área	0.01039	ft ²
Longitud	45	M
Longitud	147.64	Ft
Densidad aire	0.0163	slug/ft ³
Viscosidad dinámica	3.85E-07	lb*s/ft ³
Rugosidad acero comercial	0.00015	Ft
Perdida tubería		Pérdida accesorios
1,283.81		78
Velocidad flujo		Carga velocidad
18.71		5.44
Número Reynolds		Rugosidad relativa
9.09E+04		767
F	0.026	Moody
Ft	0.022	
Pérdida energía		
190.78	ft	
Caída de presión		
0.69	psi	
Presión compresor		
90.69	psi	

Debido a que la mayoría de actuadores neumáticos son herramientas y su factor de utilización es muy variable, se calculará la pérdida de presión con dos valores más de flujo.

La carga total instalada es la sumatoria del consumo de todos los actuadores neumáticos. Este valor ya es más grande al consumo real de la planta. Su tamaño podría ser aceptable pero al agregar máquinas o herramientas que tengan consumo de aire las pérdidas de presión superarían los límites, no dejando sin mencionar pérdidas por fugas. Se realizarán los cálculos para 60 cfm y 40 cfm.

Tabla 26. Resultados principal 40 cfm y tubería diámetro 1 ¼”

Cálculo caída de presión		
Flujo estándar	40	cfm
Flujo real	5.83	Cfm
Tubería	1 1/4"	cédula 40
Diámetro	0.115	Ft
Área	0.01039	ft ²
Longitud	45	M
Longitud	147.64	Ft
Densidad aire	0.0163	slug/ft ³
Viscosidad dinámica	3.85E-07	lb*s/ft ³
Rugosidad acero comercial	0.00015	Ft
Perdida tubería		Pérdida accesorios
1,283.81		78
Velocidad flujo		Carga velocidad
9.36		1.36
Número Reynolds		Rugosidad relativa
4.55E+04		767
F	0.024	Moody
Ft	0.022	
Pérdida energía		
44.21	Ft	
Caída de presión		
0.16	psi	
Presión compresor		
90.16	psi	

Por último se realizan los cálculos para 60 cfm.

Tabla 27. Resultados principal 60 cfm y tubería diámetro 1 ¼”

Cálculo caída de presión		
Flujo estándar	60	cfm
Flujo real	8.75	Cfm
Tubería	1 1/4"	cédula 40
Diámetro	0.115	Ft
Área	0.01039	ft ²
Longitud	45	M
Longitud	147.64	Ft
Densidad aire	0.0163	slug/ft ³
Viscosidad dinámica	3.85E-07	lb*s/ft ³
Rugosidad acero comercial	0.00015	Ft
Perdida tubería		Pérdida accesorios
1,283.81		78
Velocidad flujo		Carga velocidad
14.03		3.06
Número Reynolds		Rugosidad relativa
6.82E+04		767
F	0.024	Moody
Ft	0.022	
Pérdida energía		
99.46	Ft	
Caída de presión		
0.36	Psi	
Presión compresor		
90.36	Psi	

El cálculo de la caída de presión para los diferentes flujos volumétricos resulta ser menor al 10% recomendado. Como conclusión se utilizará la tubería de acero comercial de 1 ¼” de diámetro cédula 40.

2) Línea camastrones. La línea de camastrones alimentará el consumo del área de bases (parte de preparado) y de camastrones. En total se considera un consumo de 40 cfm. De esta línea se derivarán dos ramales: bases y camastrones.

Tabla 28. Accesorios línea camastrones

Accesorios	Cantidad	Le/D	Subtotal
Válvula de compuerta	2	8	16
Te estándar (flujo directo)	2	20	40
TOTAL			56

Tabla 29. Resultados camastrones 40 cfm y tubería diámetro 3/4"

Cálculo caída de presión		
Flujo estándar	40	cfm
Flujo real	5.83	Cfm
Tubería	3/4"	cédula 40
Diámetro	0.0687	Ft
Área	0.0037	ft ²
Longitud	40	M
Longitud	131.23	Ft
Densidad aire	0.0163	slug/ft ³
Viscosidad dinámica	3.85E-07	lb*s/ft ³
Rugosidad acero comercial	0.00015	Ft
Perdida tubería		Pérdida accesorios
1,910.24		56
Velocidad flujo		Carga velocidad
26.27		10.72
Número Reynolds		Rugosidad relativa
7.63E+04		458
F	0.026	Moody
Ft	0.025	
Pérdida energía		
547.25	Ft	
Caída de presión		
1.99	psi	
Presión compresor		
91.99	psi	

La elección de tubería de $\frac{3}{4}$ " es la adecuada para obtener una caída de presión aceptable.

a) Ramal bases. Para este ramal se considera un flujo de 5 cfm.

Tabla 30. Accesorios ramal bases

Accesorios	Cantidad	Le/D	Subtotal
Válvula de compuerta	1	8	8
TOTAL			8

Tabla 31. Resultado bases 5 cfm y tubería diámetro $\frac{1}{2}$ "

Cálculo caída de presión		
Flujo estándar	5	cfm
Flujo real	0.73	Cfm
Tubería	acero 1/2"	cédula 40
Diámetro	0.0518	Ft
Área	0.00211	ft ²
Longitud	15	M
Longitud	49.21	Ft
Densidad aire	0.0163	slug/ft ³
Viscosidad dinámica	3.85E-07	lb*s/ft ³
Rugosidad acero comercial	0.00015	Ft
Perdida tubería		Pérdida accesorios
950.05		8
Velocidad flujo		Carga velocidad
5.76		0.51
Número Reynolds		Rugosidad relativa
1.26E+04		345
F	0.033	Moody
Ft	0.027	
Pérdida energía		
16.25	Ft	

Continuación Tabla 31. Resultado bases 5 cfm y tubería diámetro ½”

Caída de presión		
0.06	psi	
Presión compresor		
90.06	psi	

b) Ramal camastrones. Se consideran 35 cfm para este ramal. Como primera elección se considera la tubería de ½”.

Tabla 32. Accesorios ramal camastrones

Accesorios	Cantidad	Le/D	Subtotal
Te estándar (flujo ramal)	1	60	60
TOTAL			60

Tabla 33. Resultado ramal camastrones 35 cfm y tubería diámetro ½”

Cálculo caída de presión		
Flujo estándar	35	cfm
Flujo real	5.10	Cfm
Tubería	1/2"	cédula 40
Diámetro	0.0518	Ft
Área	0.00211	ft ²
Longitud	25	M
Longitud	82.02	Ft
Densidad aire	0.0163	slug/ft ³
Viscosidad dinámica	3.85E-07	lb*s/ft ³
Rugosidad acero comercial	0.00015	Ft
Perdida tubería		Pérdida accesorios
1,583.42		60
Velocidad flujo		Carga velocidad
40.31		25.23
Número Reynolds		Rugosidad relativa
8.82E+04		345
F	0.033	Moody
Ft	0.028	

Continuación Tabla 33. Resultado ramal camastrones 35 cfm y tubería diámetro 1/2"

Pérdida energía		
1360.68	Ft	
Caída de presión		
4.95	psi	
Presión compresor		
94.95	psi	

La caída de presión generada por tubería es menor al 10%, sin embargo, la velocidad es muy alta por lo que se calcula de nuevo la caída con tubería de 3/4".

Tabla 34. Resultado ramal camastrones 35 cfm y tubería diámetro 3/4"

Cálculo caída de presión		
Flujo estándar	35	cfm
Flujo real	5.10	Cfm
Tubería	3/4"	cédula 40
Diámetro	0.0687	Ft
Área	0.0037	ft ²
Longitud	25	M
Longitud	82.02	Ft
Densidad aire	0.0163	slug/ft ³
Viscosidad dinámica	3.85E-07	lb*s/ft ³
Rugosidad acero comercial	0.00015	Ft
Perdida tubería		Pérdida accesorios
1,193.90		60
Velocidad flujo		Carga velocidad
22.99		8.20
Número Reynolds		Rugosidad relativa
6.67E+04		458
F	0.026	Moody
Ft	0.025	
Pérdida energía		
266.99	Ft	
Caída de presión		
0.97	psi	
Presión compresor		
90.97	psi	

Como conclusión se utilizará la tubería de 3/4" para este ramal.

3) Ramal preparado y costura. El consumo en los ramales de preparado y costura es similar, así como su longitud. Para el cálculo de estos se consideran 10 cfm.

Tabla 35. Accesorios ramal preparado y costura

Accesorios	Cantidad	Le/D	Subtotal
Válvula de compuerta	1	8	8
Total			8

Tabla 36. Resultados ramal prep/costura 10 cfm y tubería diámetro 1/2"

Cálculo caída de presión		
Flujo estándar	10	cfm
Flujo real	1.46	Cfm
Tubería	acero 1/2"	cédula 40
Diámetro	0.0518	Ft
Área	0.00211	ft ²
Longitud	15	M
Longitud	49.21	Ft
Densidad aire	0.0163	slug/ft ³
Viscosidad dinámica	3.85E-07	lb*s/ft ³
Rugosidad acero comercial	0.00015	Ft
Perdida tubería		
950.05		Pérdida accesorios
		8
Velocidad flujo		
11.52		Carga velocidad
		2.06
Número Reynolds		
2.52E+04		Rugosidad relativa
		345
F	0.031	Moody
Ft	0.027	
Pérdida energía		
61.10	Ft	
Caída de presión		
0.22	Psi	
Presión compresor		
90.22	Psi	

4) Tratamiento de aire. Como se mencionó anteriormente la acumulación de condensado en tuberías puede llegar a dañarla generando corrosión y afectando la caída de presión a largo plazo. Además el equipo que utiliza el aire comprimido puede llegar a dañarse. A petición de la empresa el sistema se realizará sin tomar en cuenta un secador para la eliminación de condensados. Para contrarrestar esto se instalarán puntos de purga al final de cada ramal del sistema. Es importante mencionar que la utilización del secador es esencial para alargar el tiempo de vida útil de la tubería.

La eliminación de partículas sólidas se alcanza por medio de un filtro de partículas que se dimensiona según el flujo volumétrico del aire.

5) Costos. A continuación se presenta un estimado de costos de las instalaciones neumáticas. Los precios de tuberías, soporte y unidades de mantenimiento son precios internacionales manejados en Estados Unidos. En el mercado nacional existirá cierta variación.

Tabla 37. Costos instalaciones neumáticas

Descripción	Precio total
Tuberías	Q10,000.00
Soportería	Q5,000.00
Tratamiento aire	Q20,000.00
Servicio Mayor Compresor	Q10,000.00
Mano de obra	Q30,000.00
	Q75,000.00

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A. Conclusiones

1. La potencia total instalada, basada en la documentación de 52 máquinas, iluminación y fuerza, es de 181.79 kW. La potencia instalada en las áreas de producción de estructura, químicos, esponja/costura, camastrones y preparado es: 49, 30, 63.63, 27.42 y 11.74 kW, respectivamente.
2. Tres áreas de producción tienen capacidad para la instalación de más maquinaria. Estructuras tiene 18.5 kW disponibles, químicos 37.5 kW, preparado 19.5 kW. esponja/costura está limitada, sin embargo, es factible la instalación de máquinas de coser pequeñas. En camastrones no es necesaria capacidad para la instalación de más maquinaria.
3. El consumo de aire que representa la utilización de 16 actuadores neumáticos es de 37.09 cfm. En camastrones, bases, preparado y costura se consumen 24.58, 2.31, 4.8 y 4.4 cfm, respectivamente. En químicos hay un consumo de 1 cfm, que no se considera en el diseño del sistema neumático.
4. El sistema de tubería fue diseñado para capacidades mayores que permitan la instalación de actuadores neumáticos en el futuro. La línea principal fue diseñada para la capacidad del compresor, 80 cfm; el ramal de camastrones 35 cfm; el ramal de bases 5 cfm; el ramal de preparado y el de costura 10 cfm

B. Recomendaciones

1. Las instalaciones eléctricas se encuentran parcialmente concluidas. La instalación de tableros, transformadores, soportería, conductores e interruptores se encuentra terminada. Debido a que el traslado de planta no se ha realizado todavía, las bajadas y la conexión a la maquinaria queda pendiente de realizarse para principios del año 2013.
2. Las instalaciones neumáticas no se han realizado. Por razones económicas se esperaba concluir de primero el proyecto eléctrico para darle inicio al neumático. Sin embargo, éste tomó más tiempo de lo estimado, por lo que las instalaciones neumáticas se desarrollarán en el mes de noviembre y diciembre del presente año.
3. Desarrollar un plan de mantenimiento para el sistema eléctrico.
4. Llevar a cabo la señalización correcta de los elementos eléctricos que representan peligro para los trabajadores de la planta.
5. Las instalaciones eléctricas futuras deben realizarse por personal calificado.
6. Debido a que el traslado de planta se realizará por fases, tomar en cuenta el factor de potencia, ya que no se adquirirá otro banco de capacitores aparte del que está instalado en Planta Petapa. Esto puede llevar a penalizaciones por parte de EEGSA.
7. Los transformadores representan una carga sin importar si hay utilización de maquinaria o no. Mientras no se tenga maquinaria en Planta Villa Nueva, tener los interruptores del tablero principal abiertos.
8. Tomar en cuenta que EEGSA impone una penalización por no consumir la carga contratada después de tres meses de conexión.
9. Desarrollar un plan de mantenimiento para el sistema neumático.
10. Tomar en cuenta la instalación futura de un secador de aire para el sistema neumático y de esta manera alargar el tiempo de vida útil de las tuberías.

VII. BIBLIOGRAFÍA

1. Boylestad, Robert. 1987. *Introductory Circuit Analysis*. 5ta. Edición. Estados Unidos. Merrill Publishing Company. 864 págs.
2. Bratu, Neagu; Campero, Eduardo. 1995. *Instalaciones Eléctricas, conceptos básicos y diseño*. 2ª Edición. México. Alfaomega Grupo Editor. 240 págs.
3. *Capacitores para la corrección del factor de potencia en baja tensión*. ABB.
4. *Compressed Air Manual*. 1998. Atlas Copco Compressor AB. 6ta Edición. Sweden. 165 págs.
5. Croser, P. 1991. *Neumática. Manual de estudio*. 2da Edición. Festo Didactic KG. 230 págs.
6. Da Cunha, Ivor. 2007. *Compressed air: Energy Efficiency Reference Guide*. CEA Technologies Inc. Canada. 118 págs.
7. Enríquez, Gilberto. 2007. *El ABC de las instalaciones eléctricas en edificios y comercios*. México, D.F. Editorial Limusa. 490 págs.
8. Majumdar, S.J. 1995. *Pneumatic Systems: Principles and maintenance*. United States of America. McGraw-Hill. 282 págs.
9. Méndez, Luis. 1992. «Guía para el diseño de instalaciones eléctricas». Tesis Universidad San Carlos de Guatemala. 94 págs.
10. Mott, Robert. 2006. *Mecánica de Fluidos*. 6ta. Edición. Enríquez, Javier. México. Pearson Educación. 644 págs.
11. *NEC 1999 Código Eléctrico Nacional*. 1999. National Fire Protection Association, Inc. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. 1225 págs.

VIII. ANEXO

Tablas.

Tabla 38. Selección de interruptores y arrancadores para motores tipo jaula de ardilla, 220 volts, 3 fases, 60 Hz, sin letra de código (Fragmento). Referencia 3.

Potencia en HP	Potencia Kva	Corriente nominal (A)	Corriente de arranque (A)	Capacidad nominal interruptor termo magnético (amperes)
0.5	0.79	2.04	11	15
0.75	1.01	2.87	15	15
1	1.29	3.53	24	15
1.5	1.88	5.02	35	15
2	2.42	6.43	45	15
3	3.48	9.12	60	20
5	5.41	14.38	90	30
7.5	8.08	20.78	120	50
10	10.5	26.9	150	70
15	15.1	39.16	220	100
20	19.8	51.14	290	125
25	24	62.8	365	150

Tabla 39. Capacidad de corriente de conductores de cobre aislado en amperes (Fragmento). Referencia 3.

Tipo asilam.	THWN, RUW, T, TW, TWD, MTW	
Temp. Max.	60 C	
Calibre AWG/MCM	en tubo	al aire
14	15	20
12	20	25
10	30	40
8	40	55
6	55	80
4	70	105
3	80	120
2	95	140
1	110	165
1/0	125	195
1/00	145	225
1/000	165	260
1/0000	195	300

Tabla 40. Sección de conductores (Fragmento). Referencia 3.

Calibre AWG	Sección cobre mm ²
14	2.08
12	3.31
10	5.26
8	8.37
6	13.3
4	21.15
2	33.63
1/0	53.48
2/0	67.43
3/0	85.05
4/0	107.2

Tabla 42. Resistencia de válvulas y acoplamientos, expresada en longitud equivalente Le/D. Referencia 6.

Tipo	Le/D
Válvula de globo abierta	340
Válvula de ángulo abierta	150
Válvula de compuerta abierta	8
Válvula de verificación (tipo giratorio)	100
Válvula de verificación (tipo bola)	150
Válvula de mariposa abierta 2-8 in	45
Válvula de pie	420
Codo estándar a 90	30
Codo roscado a 90	50
Codo estándar a 45	16
Codo roscado a 45	26
Te estándar - flujo directo	20
Te estándar - flujo en el ramal	60

Tabla 43. Factor de fricción en la zona de turbulencia completa para tubería de acero comercial, nueva y limpia (Fragmento). Referencia 6.

Tamaño nominal de tubería (in)	Factor de fricción ft
1/0	0.027
3/4	0.025
1	0.023
1 1/4	0.022
1 1/2	0.021

Tabla 44. Tamaños de tubería que se sugiere para sistemas de aire comprimido (Fragmento). Referencia 6.

Aire libre	Aire comprimido	Tamaño tubería cédula 40
4	0.513	1/8
8	1.025	1/4
20	2.563	3/8
35	4.486	1/2
80	10.25	3/4
150	19.22	1

Figura 10. Diagrama de Moody

