



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

**PROPUESTA DE FABRICACIÓN DE UN SISTEMA DE AIRE
COMPRIMIDO ESTÉRIL PARA EL PROCESO DE LLENADO DE
ENVASE EN UNA EMPRESA DE BEBIDAS CARBONATADAS**

Sergio Estuardo Olmstead Zamora
Asesorado por el Ing. Elvis José Álvarez Valdez

Guatemala, octubre de 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA DE FABRICACIÓN DE UN SISTEMA DE
AIRE COMPRIMIDO ESTÉRIL PARA EL PROCESO DE
LLENADO DE ENVASE EN UNA EMPRESA DE BEBIDAS
CARBONATADAS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

SERGIO ESTUARDO OLMSTEAD ZAMORA
ASESORADO POR EL INGENIERO ELVIS JOSÉ ÁLVAREZ VALDEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Fredy Mauricio Monroy Peralta
EXAMINADOR	Ing. Carlos Anibal Chicojay Coloma
EXAMINADOR	Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**PROPUESTA DE FABRICACIÓN DE UN SISTEMA DE
AIRE COMPRIMIDO ÈSTERIL PARA EL PROCESO DE
LLENADO DE ENVASE EN UNA EMPRESA DE BEBIDAS
CARBONATADAS,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 3 de octubre de 2004.



Sergio Estuardo Olmstead Zamora

Guatemala, 07 de octubre de 2005

Ing. Carlos Roberto Sic García
Coordinador Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos
Presente.

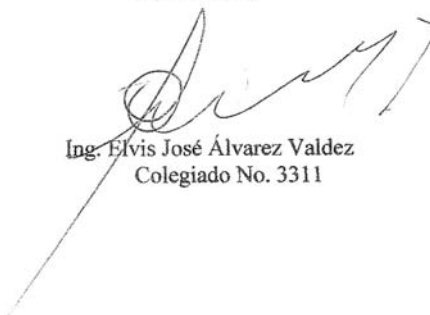
Estimado Ing. Sic García:

Atentamente y por este medio, envío a usted, el informe final, correspondiente a la practica del ejercicio profesional supervisado (E:P:S.) titulado " PROPUESTA DE FABRICACIÓN DE UN SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO ESTÉRIL PARA EL PROCESO DE LLENADO DE ENVASE EN UNA EMPRESA DE BEBIDAS CARBONATADAS", que fue debidamente asesorado por el suscrito.

Por lo que, habiendo cumplido con los objetivos y los requisitos de ley del referido trabajo, apruebo su contenido.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,



Ing. Elvis José Álvarez Valdez
Colegiado No. 3311

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIDAD DE EPS
Tel. 24423509

"Todo por ti Católica Mía"
Dr. Carlos Martínez Durán
2006: Centenario de su Nacimiento

Guatemala, 05 de septiembre de 2006
Ref. EPS. C. 490.09.06

Ing. Ángel Roberto Sic García
Coordinadora Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Sic García.

Por este medio atentamente le informo que como Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) del estudiante universitario de la Carrera de Ingeniería Mecánica, **SERGIO ESTUARDO OLMSTEAD ZAMORA**, procedí a revisar el informe final de la práctica de EPS, cuyo título es **"PROPUESTA DE FABRICACIÓN DE UN SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO ESTÉRIL EN EL PROCESO DE LLENADO DE ENVASE EN UNA EMPRESA DE BEBIDAS CARBONATADAS"**.

Cabe mencionar que las soluciones planteadas en este trabajo, constituyen un valioso aporte de nuestra Universidad a uno de los muchos problemas que padece el país.

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

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"D y Enseñad a Todos"

Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda
Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Mecánica

EESZ/jm

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIDAD DE EPS
Tel. 24423509

"Todo por ti Carolingio Mía"
Dr. Carlos Martínez Duzán
2006: Centenario de su Nacimiento

Guatemala, 05 de septiembre de 2006
Ref. EPS. C. 490.09.06

Ing. Fredy Monroy
Director Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Monroy.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado "**PROPUESTA DE FABRICACIÓN DE UN SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO ESTÉRIL EN EL PROCESO DE LLENADO DE ENVASE EN UNA EMPRESA DE BEBIDAS CARBONATADAS**" que fue desarrollado por el estudiante universitario **SERGIO ESTUARDO OLMSTEAD ZAMORA**, quien fue debidamente asesorado por el Ing. Elvis José Álvarez Valdez y supervisado por el Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo, en mi calidad de coordinador apruebo su contenido, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"D y Enseñad a Todos"



Ing. Ángel Roberto Sic García
Coordinador Unidad de EPS

ARSG/jm

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA

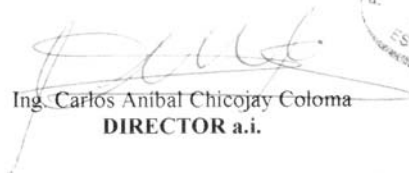


FACULTAD DE INGENIERIA

"Todo por ti Carolingia mía"
D. Carlos Martínez Durán
2006: Centenario de su nacimiento

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con la aprobación del Coordinador del Ejercicio Profesional Supervisado, al trabajo de graduación, PROPUESTA DE FABRICACIÓN DE UN SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO ESTÉRIL EN EL PROCESO DE LLENADO DE ENVASE EN UNA EMPRESA DE BEBIDAS CARBONATADAS del estudiante **Sergio Estuardo Olmstead Zamora**, procede a la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Carlos Anibal Chicojay Coloma
DIRECTOR a.i.



Guatemala, octubre de 2006.

/bhdei

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.396.2006

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al trabajo de graduación titulado: **PROPUESTA DE FABRICACIÓN DE UN SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO ESTÉRIL PARA EL PROCESO DE LLENADO DE ENVASE EN UNA EMPRESA DE BEBIDAS CARBONATADAS**, presentado por el estudiante universitario **Sergio Estuardo Olmstead Zamora**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
DECANO



Guatemala, Octubre 19 de 2006

/gdech

Todo por ti, Carolina Mía
Dr. Carlos Martínez Durán
2006. Centenario de su Nacimiento

ACTO QUE DEDICO A:

Dios: Por ser la fortaleza espiritual que me ha guiado en la vida.

Mis padres: Cesar Eduardo y Gloria Haydee por su guía y ejemplo.

Mi esposa Gladys por su apoyo.

Mis hijos Estuardo, Gladys y Julio por ser mi motivación a ser mejor cada día.

Mis hermanos Eduardo, Lisset, Karin y Vanessa por sus sabios consejos.

Mis catedráticos por sus enseñanzas y consejos.

Universidad de San Carlos de Guatemala.

AGRADECIMIENTO A

DIOS	Por culminar este trabajo de graduación, dándome la fuerza y el entendimiento necesario.
MIS PADRES	Quienes me apoyaron y me dieron el aliento necesario para terminar el presente trabajo de graduación.
MI ESPOSA E HIJOS	Con cariño sincero
COMPAÑEROS Y AMIGOS	Por los momentos compartidos.
FACULTAD DE INGENIERÍA	Por haberme brindado la oportunidad de estudiar una carrera universitaria.
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA	Por haberme brindado la oportunidad de estudiar una carrera universitaria .

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

OBJETIVOS

INTRODUCCIÓN

1 GENERALIDADES

1.1 Empresa de bebidas carbonatadas

1.1.	Gerencia de producción.	1
1.2.	Área de envase sucio y clasificación.	1
1.3.	Área de lavado de envase.	2
1.4.	Área de tratamiento de agua.	2
1.5.	Área de preparación de producto.	3
1.6.	Área de carbonatado.	4
1.7.	Área de llenado de producto.	4
1.8.	Área de codificado e inspección.	5
1.9.	Área de empaque.	5
1.10.	Área de almacenamiento de producto terminado.	5
1.11.	Área de taller de producción.	6
1.12.	Área de equipos auxiliares.	6
1.13.	Descripción del proceso.	7

2 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

2.1. Situación actual del sistema de llenadoras.	9
2.2. Localización del área para diseño.	10
2.3. Variables de diseño del sistema de aire comprimido estéril	11

3 DISEÑO DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO ESTERIL

3.1 Teoría sobre aire comprimido.	13
3.1.1 Métodos de compresión.	15
3.1.1.1 Compresores de desplazamiento positivo.	16
3.1.1.2 Compresores de tornillo helicoidal	17
3.1.1.3 Compresores de tornillo rotativo	19
3.1.1.4 Compresores dinámicos.	20
3.1.1.5 Eyectores.	20
3.1.2 Filtros.	20
3.1.2.1 Mantenimiento para filtros	21
3.1.2.2 Filtros para atrapar Partículas.	22
3.1.2.3 Filtro coalescente para atrapar aceite.	23
3.1.2.4 Filtros para atrapar vapores.	24
3.1.2.5 Filtros para atrapar bacterias.	24
3.1.2.6 Filtro de capas.	25
3.1.2.7 Filtro ultravioleta	26

3.1.3	Válvulas de drenaje automático	27
3.1.4	Post Enfriadores.	28
3.1.5	Secadores de aire comprimido	29
3.1.5.1	Secadores refrigerados.	29
3.1.5.2	Secadores regenerativos.	32
3.1.6	Tanques de almacenamiento.	33
3.1.7	Tubería principal	36
3.1.8	Tubería secundaria.	36
3.1.9	Tuberías de servicio.	36
3.1.10	Tipos de tubería para uso en la industria alimenticia	36
3.1.11	Considerando la corrosión y la erosión	37
3.1.12	El proceso de soldadura TIG.	39
3.1.13	Pasivado de la tubería de acero inoxidable	44
3.2	Selección del equipo para producir aire comprimido estéril	45
3.2.1	Cálculo del caudal requerido.	46
3.2.2	Cálculo del diámetro de tubería	47
3.2.3	cálculo de soportaría	54
3.2.4	Selección del tipo de tubería y accesorios	55
3.2.5	Selección del compresor de aire.	56
3.2.6	Selección del secador de aire comprimido	60
3.2.7	Selección del sistema de filtros.	62
3.2.8	Selección del depósito para aire comprimido.	66

4	ANÁLISIS DE COSTOS	
4.1	Costos individuales de la instalación	67
4.2	Costo anual de mantenimiento del sistema.	69
4.3	Costo del sistema que se utiliza actualmente CO ₂	71
5.	FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA	
5.1	Condiciones de funcionamiento del sistema.	75
5.2	Instalación.	76
6.	MEJORA CONTINUA DEL SISTEMA	
6.1	Control de calidad del aire comprimido estéril.	79
6.2	Mantenimiento preventivo de los equipos	80
6.2.1	Mantenimiento preventivo diario.	81
6.2.2	Mantenimiento preventivo semanal.	82
6.2.3	Mantenimiento preventivo mensual.	82
6.2.4	Mantenimiento preventivo de 1000 horas.	82
6.2.5	Mantenimiento preventivo trimestral.	83
6.2.6	Mantenimiento preventivo semestral.	83
	CONCLUSIONES	85
	RECOMENDACIONES	87
	BIBLIOGRAFÍA	89

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Maquina llenadora de producto.	9
2. Diagrama indicador de la compresión típica de un gas.	16
3. Compresor de aire tipo tornillo	18
4. Filtros de línea.	21
5. Elementos de filtros.	22
6. Filtro completo	23
7. Filtro para atrapar bacterias.	25
8. Filtro ultravioleta	27
9. Drenador automático de condensado.	28
10. Diagrama de flujo del secador tipo refrigerado	32
11. Tanque de aire comprimido	34
12. Tubería de servicio.	36
13. Tubería de acero inoxidable 304L	38
14. Representación esquemática del proceso TIG	39
15 Unidad de tornillo tipo libre de aceite de dos etapas	58
16. Flujo del aire comprimido en un compresor tipo libre de aceite de dos etapas.	59
17. Compresor libre de aceite de dos etapas	60
18. Secador de aire comprimido tipo refrigerado.	62
19. Corte del medio filtrante de un elemento de filtro de bacterias.	63

TABLAS

I	Longitud de tubería.	47
II	Accesorios de tubería.	48
III	Flujo en tuberías por la formula de Babcock.	49
IV	Datos de diseño.	50
V	Especificaciones del compresor de aire.	57
VI	Especificaciones del secador de aire	61
VII	Datos de filtros para aire comprimido	64
VIII	Costos individuales del equipo e instalación.	68
IX	Costo anual de mantenimiento del compresor de aire.	70
X	Costo anual de mantenimiento del secador de aire	70
XI	Costo anual de mantenimiento de filtros.	70
XII	Costo anual de mantenimiento del filtro ultravioleta.	71
XIII	Costo anual de mantenimiento y gasto de electricidad	71
XIII	Costos de consumo de CO ₂	72

LISTA DE SÍMBOLOS

bar	Dimensional de presión equivalente a kg/cm^2 .
CO₂	Bióxido de carbono.
°C	Grados centígrados.
cfm	$\text{pie}^3/\text{minuto}$.
dB	Decibeles.
E	Modulo de elasticidad.
°F	Grados Fahrenheit.
hp.	Caballos de fuerza.
I	Modulo de inercia.
Kg/cm²	Kilogramos por centímetro cuadrado.
φ	Humedad relativa.
m³/h	Metros cúbicos por hora.
m	metros.
min	minutos.
Ns	Velocidad específica
psi	Libras por pulgada cuadrada.
PPM	Partes por millón
Q	Caudal.
S	Segundos.
T	Temperatura.

GLOSARIO

Adsorción	Proceso que tiene lugar por la acción de fuerzas físico químicas y se basa en la retención en la superficie de un sólido, Carbón activo, de las moléculas que hay en disolución fluido.
Absorción	Proceso mediante el cual las moléculas que hay en un fluido son retenidas dentro de un sólido.
Caída de presión	La diferencia de presión existente entre dos Puntos de una tubería de aire comprimido.
Capacidad	Es la cantidad de aire libre, realmente, aspirado por un compresor.
Caudal	Medida de un volumen medido en un tiempo dado.
Condensado	Agua en estado líquido separada del aire Comprimido como producto de un descenso Significativo de temperatura del mismo.
Desplazamiento	Es el volumen obtenido multiplicando la Superficie del embolo por la carrera del mismo.

Dureza del agua	Cantidad de minerales presente en el agua.
Esterilizar	Destruir los gérmenes patógenos contenidos en un cuerpo o sustancia .
Filtro	Elemento que sirve para remover distintos tipos de sustancias del aire.
Hidrofobico	Que rechaza el agua.
Humedad	Presencia de agua.
Punto de rocío	Temperatura a la cual el vapor (100% humedad) comienza a condensarse y depositarse como un liquido.
Temperatura	Grado de calor o frío medido por un termómetro.

RESUMEN

Para diseñar el sistema de aire comprimido estéril para ser utilizado en área de contrapresión de llenadoras de producto, es necesario efectuar un análisis respecto de las condiciones que debe cumplir este para garantizar que la calidad del producto no varía, ya que, se deben cumplir ciertas normas y regulaciones. Impuestas por la empresa y normas alimenticias que debe cumplir esta. De tal forma que, al revisar este informe, se encontrará una serie de conceptos básicos de filtración de diseño de redes de aire comprimido, de control de calidad y materiales los cuales permitirán tener una base para efectuar correctamente el diseño del sistema.

Asimismo, se consideran aspectos de costos, los cuales corroboraran la viabilidad de efectuar el trabajo de construcción del sistema tanto por costo como por conveniencia ambiental.

Se considerará, también, aspectos generales acerca del mantenimiento del equipo, el cual permitirá que este opere, confiablemente, ya que, en cualquier sistema o máquina se necesita contar con un plan de mantenimiento preventivo, el cual permitirá prolongar la vida útil de los equipo y economizar energía en la utilización de los mismos.

Por último, se presentan los criterios y datos que serán utilizados para determinar el equipo que será necesario usar, a fin de cumplir en un porcentaje aceptable con los requerimientos del sistema.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, en Empresa de Bebidas Carbonatadas, como en la mayoría de empresas, se está poniendo mucho énfasis en la optimización de los gastos y control estricto de la calidad de los productos, lo cual requiere de inversión. Esta inversión debe generar ganancias a un mediano plazo para contribuir a que la empresa pueda ofrecer un buen producto a un precio razonable.

El propósito de este trabajo es diseñar el sistema de aire comprimido estéril para el área de contrapresión en llenadoras, el cual proveerá un medio más económico para efectuar un trabajo que actualmente lo efectúa un producto que cada vez es más caro, sin afectar la calidad del producto final.

Para llevar a cabo el diseño, se consideraron los aspectos que intervienen en la calidad del aire que se va a utilizar como sistema de generación, sistema de filtrado, sistema de esterilización del aire comprimido, así como los materiales que se deben utilizar para cumplir con las normas de la industria alimenticia.

El trabajo ha sido estructurado de tal manera que se inicia con información general respecto de la Empresa de Bebidas Carbonatadas, luego se presenta un análisis de la situación actual, la base teórica y el diseño del sistema de aire comprimido estéril y, al final, los aspectos para una mejora continua del sistema.

OBJETIVOS

GENERAL

Diseñar el sistema de aire comprimido estéril para el área de contrapresión en llenadoras que cumpla con los estándares de calidad requeridos para empresas que envasan productos alimenticios.

ESPECÍFICOS

1. Reducir costos de operación al utilizar el aire comprimido estéril en lugar De CO₂.
2. Evitar la liberación de CO₂ al ambiente.
3. Diseñar el sistema de aire comprimido estéril, aplicando procedimientos de cálculo, adquiridos a través de los cursos de la carrera. Que cumplirá con los requerimientos de calidad que se exigen en empresas Que producen alimentos.
4. Que el trabajo sirva de referencia a profesionales o estudiantes para estudios superiores acerca de aire comprimido que debe estar en contacto con alimentos.

1. GENERALIDADES

DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN

Una empresa de bebidas carbonatadas consta de varios departamentos entre los cuales se encuentra la planta de producción, así como el departamento de operaciones, contabilidad, finanzas, gerencia general, etc. el presente estudio se va a realizar en el departamento de producción por lo que se va a dar una descripción de las áreas principales que componen dicho departamento.

1.1 Gerencia de producción

Se encuentran las oficinas de gerente de producción, planeamiento, y mantenimiento

1.2 Área de envase sucio y clasificación

En esta área se almacena, clasifica y revisa que el envase no contenga desechos sólidos como pajillas, servilletas, etc.

En el caso del envase plástico retornable se revisa adicionalmente a través de un aparato detector de olores si este fue contaminado con combustibles, amoniaco (NH_3), solventes u otro contaminante, en caso de lo cual se retira y destruye.

1.3 Área de lavado de envase

El envase ya clasificado y limpio de desechos sólidos, pasa al área de lavado en la cual dependiendo del tipo de lavadora el envase es sumergido en dos o tres tanques de soda cáustica caliente, luego pasa a un área de soda cáustica por chorro a presión para luego pasar a ser sumergido en tanques de agua limpia y luego sale de la lavadora ya esterilizado. Luego del lavado pasa a una visual ya a una inspección a través de ojo electrónico para retirar envases que presenten contaminación o roturas, el primer caso regresa al área de lavado y en segundo caso se destruye y recicla. La soda cáustica actúa químicamente (por inmersión) y mecánicamente (por chorro) en la limpieza del envase.

1.4 Área de tratamiento de agua

El proceso de tratar el agua comienza al ser extraída de pozos la cual es llevada a un tanque de almacenamiento en el cual es clorada (entre una y tres PPM) luego es bombeada a los tanques de filtros de arena pasando antes por una adición de un floculante que hace que las partículas se aglutinen en partículas más grandes las cuales son tamizadas en los filtros de arena. Estos filtros tienen una capacidad de filtrar el caudal necesario para el proceso y eliminan del agua los sólidos en suspensión.

Luego el agua pasa a través de filtros a base de sílica que suavizan el agua y la dejan con una dureza de cero PPM. Pero debido a que no se necesita agua con dureza cero se agrega agua dura hasta alcanzar la dureza necesaria para el proceso de llenado de bebida carbonatada.

Luego el agua ya con la dureza deseada pasa a un filtro desgasificador, luego a un filtro de carbón activado para eliminar olores, sabores y cloro para luego pasar a un ultimo filtro pulidor que elimina partículas de carbón que se soltaron del filtro anterior. Por ultimo el agua pasa a tanques de almacenamiento para ser preparada para la bebida.

1.5 Área de preparación de producto

El agua ya preparada se traslada a depósitos en los cuales se mezcla con azúcar hasta alcanzar la proporción deseada este proceso se realiza a mas de 75 °C, luego se pasa a un filtro de precapa y luego a un filtro de prensa para eliminar impurezas que se agregaron con el azúcar, Seguidamente se enfría la mezcla a una temperatura menor de 25°C y se lleva a un tanque de almacenamiento.

De este tanque de almacenamiento la mezcla azucarada pasa por un filtro ultra violeta que elimina bacterias y esta lista para agregar el jarabe.

El jarabe, que es la esencia de cada sabor de bebida se agrega en proporciones las cuales dependen de cada producto. Después de esto la bebida esta lista para el ultimo proceso antes del llenado como es el carbonatado.

1.6 Área de carbonatado

En esta parte del proceso llega la bebida preparada a un depósito y en otro depósito se tiene agua tratada. De estos dos depósitos se efectúa una mezcla de cinco partes de agua por una de bebida, y esta nueva mezcla es enfriada a una temperatura de 1 °C. la cual es la temperatura ideal para el proceso de carbonatado.

La bebida preparada y enfriada a 1 °C se envía a un depósito que contiene CO₂ en el cual esta entra en forma de chorros finos para efectuar una buena mezcla de bebida y CO₂. En este depósito se tiene la mezcla ya preparada según las normas establecidas por la empresa.

1.7 Área de llenado de producto

Es el punto en el cual llega el envase a la llenadora del producto este se encuentra en un contenedor desde el cual el mismo baja al envase. Es en este punto en cual se utilizara el aire esterilizado para contrapresión que se está proponiendo en esta investigación y será tratado con más amplitud mas adelante.

1.8 Área de codificado e inspección

El envase ya lleno y sellado pasa al área de codificación la cual le imprime datos de fecha línea en la cual fue llenado, hora y embotellador que lo produjo. El producto no puede ser vendido si no lleva este tipo de control.

Este producto pasa finalmente a una inspección visual que verifica nivel y limpieza del envase.

1.9 Área de empaque

Dependiendo de la línea de llenado y material del envase el producto pasa a ser ordenado en cajilla plástica, para luego ser estibado en tarimas

1.10 Área de almacenamiento de producto terminado

Luego de que el producto es colocado en tarimas es llevado por montacargas a la bodega de producto terminado desde la cual el producto es cargado en los camiones que se encargan de distribuirlo a los clientes.

1.11 Área de taller de producción

El taller de producción es el encargado de darle mantenimiento al equipo de producción (Llenadoras, área de preparación de producto, área de empaque de producto, área de carbonatado del producto, área de lavado del producto, área de tratamiento de agua). El personal de taller de producción debe ser entrenado en el uso y mantenimiento del sistema que se está diseñando en esta investigación.

1.12 Área de equipos auxiliares

Esta área comprende los siguientes equipos:

- Compresores de aire
- Compresores de amoniaco.
- Deposito de CO₂.
- Generadores de energía de emergencia.
- Calderas.

El área de compresores de aire va a ser tratada mas adelante debido a que forma parte del proyecto que se esta diseñando en esta investigación.

1.13 Descripción del proceso

El producto ya preparado en el área de jarabes y carbonatado llega al depósito en la llenadora listo para ser trasladado al envase respectivo. En el depósito se encuentra el producto el cual mantiene una altura determinada dentro del mismo y el resto es CO₂ a una presión de 4 bar aproximadamente.

En el momento que el envase limpio llega a la llenadora de producto se introduce dentro del mismo una cánula graduada hasta cierta altura. De esta altura va a depender el nivel al que va a llegar el producto dentro de mismo

Al abrir la válvula de paso el producto empieza a caer al envase, este está a la misma presión que el depósito o sea 4 bar por lo que el producto cae por gravedad hasta llegar a la altura de la cánula graduada la cual es el límite de altura del producto.

El mecanismo de apertura y cierre trabaja por medio de levas o presión dependiendo del punto de llenado en el cual se encuentre.

Para la contrapresión se utiliza CO₂ ya que este al estar en contacto con el producto no lo contamina.

Una vez llenado el envase este pasa a ser coronado o roscado con la tapa pero en este paso del proceso se pierde una cantidad considerable de CO₂ lo cual representa un gasto grande de dinero. Esta contrapresión se puede hacer con aire comprimido pero este por estar en contacto con el producto debe cumplir con las normas que regulan productos que están en contacto con alimentos. En la figura 1. se muestra un maquina llenadora de producto.

2. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

2.1 Situación actual del sistema de contrapresión en llenadoras

En Empresa de Bebidas Carbonatadas Actualmente se usa CO₂ para efectuar la contrapresión en llenadoras. Esto tiene un costo bastante alto por lo que se está efectuando el presente estudio para poder tener una alternativa más económica que permita a la empresa no depender del proceso usado actualmente.

Figura 1. Máquina llenadora de producto



2.2 Localización del área para diseño

Para localizar el área ideal para instalar los equipos para aire comprimido que se están diseñando se deben tomar en cuenta varios factores:

- Seguridad del equipo.
- Grado de contaminación del área
- Facilidad de acceso.
- Cercanía con los equipos donde va a ser utilizado.

Se tienen 2 áreas principales las cuales cumplen con los requerimientos arriba mencionados:

- Área de líneas de llenado.
- Área de depósitos y tratamiento de aguas.

El área de líneas de llenado es el área mas limpia con que cuenta la planta, también mantiene una supervisión constante. Sin embargo las 5 líneas de llenado se encuentran saturadas de equipo.

El área de depósitos y tratamiento de agua es un área que se encuentra cerca del área de llenadoras, mantiene personal de supervisión, es un área cerrada con acceso restringido por seguridad, adicionalmente están los compresores de aire por lo que lo recomendable es escoger este sitio ya que adicionalmente cuenta con un espacio suficientemente grande para acondicionar el equipo indicado y esta cercano a las líneas de producción por lo que se obtiene una economía en el costo de la tubería necesaria para trasladar el aire comprimido a los distintos puntos de uso.

2.3 Variables de diseño del sistema de aire comprimido estéril

Los factores que intervendrán en el diseño correcto del sistema son: Caudal requerido, temperatura, presión, diámetro y tipo de tubería. Esta decisión se tomará en base a la calidad de aire comprimido que se necesita.

3 DISEÑO DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO ESTERIL

3.1 Teoría sobre aire comprimido

El aire comprimido es una de las formas de energía más antiguas que conoce el hombre y aprovecha para reforzar sus recursos físicos.

El descubrimiento consciente del aire como medio que nos rodea se remonta a muchos siglos, lo mismo que un trabajo consciente con dicho medio.

Aunque los rasgos básicos de la neumática se cuentan entre los más antiguos conocimientos de la humanidad, no fue sino hasta el siglo pasado cuando empezaron a investigarse sistemáticamente su comportamiento y reglas.

Solo desde aproximadamente 1950 se puede hablar de una verdadera aplicación industrial de la neumática en los procesos de fabricación.

A pesar de que esta técnica fue rechazada en un inicio, debido en la mayoría de los casos a falta de conocimiento y de formación. Fueron ampliándose los diversos sectores de aplicación.

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

El diseño y mantenimiento adecuado de redes de aire comprimido y sus respectivos accesorios, juega papel decisivo en los procesos productivos involucrados cuya energía utilizada es el aire.

El aire comprimido tiene infinidad de aplicaciones entre las más importantes están: Accionamiento de herramientas, movimientos a través de pistones neumáticos, transporte de producto, así como producción de aire comprimido el cual tiene que estar en contacto con productos para consumo humano, caso en el cual tiene que cumplir con normas establecidas que fijan los límites permisibles de contaminantes que puede contener el aire comprimido para poder ser calificado como respirable. La norma ANSI/ CGA G.7.1 establece los siguientes límites para los principales contaminantes que tiene el aire comprimido:

Nitrógeno.	79 %
Oxígeno.	De 19.5% a 23%
CO ₂ .	1000 ppm.
CO.	20 ppm.
Vapores de aceite e hidrocarburos.	5 ppm.
Vapor de agua.	PDP menor de 5 ° C
Partículas sólidas.	1 mg / m ³
Olores y sabores.	Libre de olores y sabores.
Bacterias	Libre de bacterias.

Habiendo definido anteriormente los componentes que se desean eliminar del aire, se tiene que definir los componentes que debe llevar el sistema para obtener aire comprimido estéril. Estos componentes son:

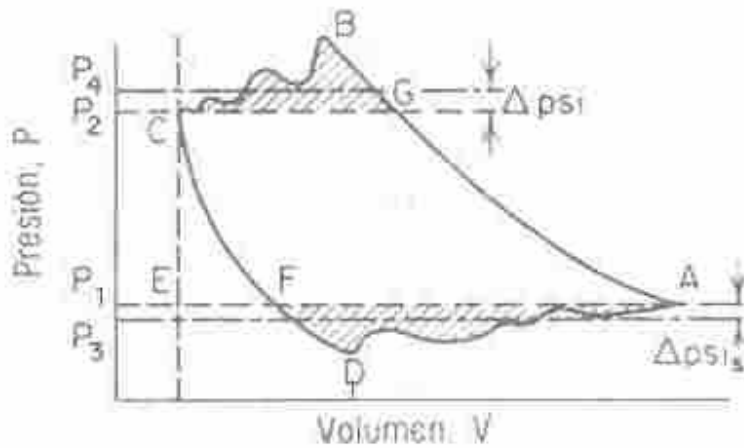
- Compresor de aire.
- Secador de aire comprimido.
- Depósitos de aire comprimido.
- Sistema de filtros.
- Tubería de conducción del aire y accesorios.

3.1.1 Métodos de compresión:

Los Compresores se agrupan en dos grandes ramas: Maquinas de desplazamiento positivo y maquinas dinámicas. En la primera predominan los de tipo de embolo de movimiento alternativo, diseñados para capacidades desde 1 a 50,000 pie³ /min. (1.6 a 25 m³/hora) y presiones de hasta 50,000 psi (3,500 Kg. / cm²). En la figura 2. se ilustra un ciclo de trabajo.

El ciclo de compresión comprende cuatro fases las cuales están indicadas en la figura 2. estas son: La admisión del gas a la cámara del punto D al A, la compresión del mismo, del punto A al B, la descarga del B al C; y por ultimo, la expansión del gas atrapado en el claro o volumen de compresión del C al D.

Figura 2. Diagrama indicador de la compresión típica de un gas



3.1.1.1 Compresores de desplazamiento positivo

La clasificación de compresores de desplazamiento positivo incluye varios tipos de compresores rotatorios tales como el de lóbulos múltiples, el de paletas deslizantes y el de anillos de cierre o sellado líquido. En general este tipo de compresores puede describirse como sigue: el gas o fluido entra al compresor a través de una lumbrera, el rotor en su movimiento cierra la admisión de gases y por su propio movimiento, comprime el gas; se construyen en varios tamaños y para varios usos, su capacidad puede variar de 40 a 20,000 pies³/ min (70 a 34,000 m³/ hora) y se utilizan en forma general para servicios de baja presión o para vacío.

Los compresores rotatorios del tipo tornillo, se construyen en tamaños cuya capacidad es de 20 a 13,000 pies³/min (35 a 22,000 m³/ hora) y por lo general se clasifican en serie que normalmente se limita a 250 lb/ pulg² (18kg/cm²), y a una temperatura de 450 ° F (232 °C).

La capacidad de las maquinas roto dinámicas depende de la velocidad de su impulsor 1,000 pies/s (305 m/s) el cual desarrolla el momento necesario para que se efectúe el aumento de presión del gas. En esta categoría el compresor centrífugo sobresale, construidos en varios tamaños desde 100 Hp (75 Kw.). para unidades de refrigeración, hasta 20,000 Hp (15,000 Kw.). Para unidades pesadas que manejan productos químicos con volúmenes reales de hasta 200,000 pies³/min (340,000 m³/hora).

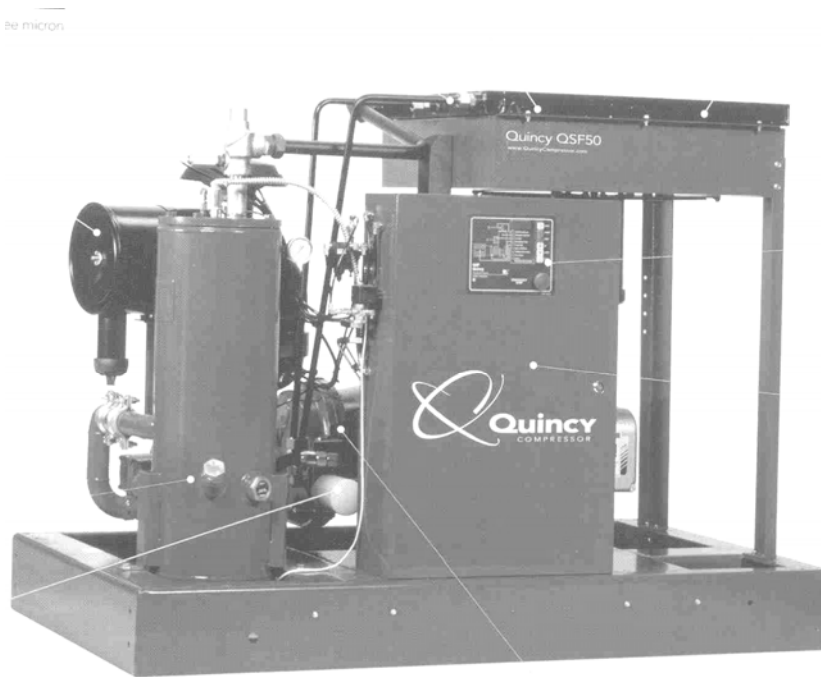
3.1.1.2 Compresores de tornillo helicoidal

Este tipo de compresor tiene relativamente un alto rendimiento cuando se opera abajo N_s , experimentado a bajas capacidades y altas cargas. Estos compresores complementan a la maquinaria de embolo, sin los problemas de lubricación, de espacio ni de vibración. Y suplen a los compresores centrífugos de bajo N_s con un rendimiento más ventajoso. Svenska Rotor Maskiner (SRM) diseño la forma de espacio de compresión en la misma estructura para el compresor Lysholm en la cual la fase de compresión de la carrera axial toma alrededor de 300° de la rotación. Los 60° restantes se usan para regular el cierre de las lumbreras de admisión y descarga. El gas retenido por el rotor en el espacio de compresión cuando la lumbrera de descarga está cerrada, es enviado al espacio libre de la rotura.

Los tamaños industriales tienen rotores que varían de 4 a 25 pulgadas (100 a 630 mm), con una operación de entre 2,000 y 12,000 rpm y con capacidades hasta de 20,000 cfm (34,013 m³/hr).

Estos últimos son los utilizados por Empresa de Bebidas Carbonatadas por lo que serán descritos con mayor detalle. La figura 3. muestra un compresor de tornillo helicoidal o rotativo.

Figura 3. Compresor de aire tipo tornillo.



3.1.1.3 Compresores de aire tipo tornillo rotativo

Este tipo de compresor es una unidad rotativa de desplazamiento positivo con dos rotores helicoidales (o tornillos rotativos) que comprimen el gas en las cámaras que se forman entre las caras de los lóbulos helicoidales encajados y la carcasa.

El elemento básico es la carcasa con su ensamble de rotores. Los lóbulos en los rotores no son idénticos. El rotor macho o guía (rotor principal) tiene una forma que coincide en la cavidad del rotor hembra o guiado.

Aproximadamente el ochenta y cinco por ciento de la potencia es utilizada por el rotor principal, y el rotor guiado requiere aproximadamente un diez por ciento de la misma.

Hay dos tipos de mecanismo de tornillo rotativo: uno utiliza piñones acoplados para mantener los rotores en fase todo el tiempo; esta clase no requiere lubricación y el sello se consigue mediante tolerancias ajustadas y elevada velocidad de rotación. El segundo tipo usa un baño de aceite a lo largo de la maquina para lubricar, sellar y refrigerar el gas comprimido; en este tipo de mecanismo los piñones acoplados generalmente son omitidos.

Estas unidades tienen compresión interna. La relación de compresión esta determinada por la localización de los bordes de las entrantes, la abertura de descarga y el ángulo de enrollamiento de los lóbulos.

3.1.1.4 Compresores dinámicos (Flujo continuo)

Comprimen el gas por la acción mecánica de un impulsor o rotor con paletas en rápida rotación, el cual imparte velocidad y presión al gas que esta fluyendo. La velocidad se convierte en presión en difusores estacionarios o paletas.

3.1.1.5 Eyectores

Utilizan un chorro de gas o vapor que arrastre el gas a comprimir para luego convertir la velocidad de la mezcla en presión en un difusor localizado corriente abajo. Los eyectores normalmente operan con una presión de admisión inferior a la atmosférica.

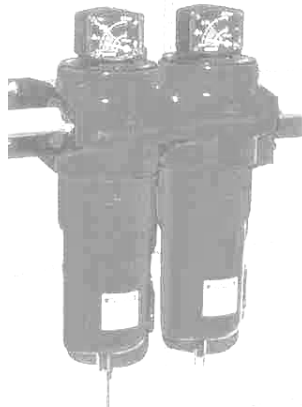
3.1.2 Filtros

El propósito de los filtros de aire comprimido es suministrar aire libre de contaminantes a los diferentes puntos de aplicación. Contaminantes tales como agua, aceite, polvo, partículas sólidas, neblinas, olores, sabores y vapores, pueden atacar su sistema.

Mantenimiento para los filtros

A continuación se ilustran los pasos que deben realizarse cada 6 meses a un filtro. Primero, purgar los sedimentos y condensados abriendo convenientemente el grifo de la parte inferior del depósito y luego eliminar la presión de aire en la instalación. Desmóntese después el depósito y el elemento filtrante. Límpiase el elemento filtrante con agua jabonosa si es de nylon, tela o bronce sinterizado. Límpiase el vaso de depósito y los conductos del cuerpo con parafina o con soluciones poco concentradas de disolvente. Se deben inspeccionar las juntas y remplazarse por otras nuevas en caso de que estén malas. La figura 4. muestra un sistema de aire comprimido compuesto por varios tipos de filtros.

Figura 4. Filtros de línea



3.1.2.1 Filtros para atrapar partículas

Estos filtros están diseñados para retener partículas sólidas, interceptando las mismas mediante un elemento filtrante que puede ser de diversos materiales: papel, rejillas metálicas, mallas de nylon, espumas, etc. La figura 5. muestra los distintos tipos de elementos que existen para los filtros de aire comprimido

Dichos elementos son recambiables y deben ser remplazados periódicamente puesto que se van saturando y ocasionan altas pérdidas de presión.

Figura 5. Elementos de filtros



Filtro de Partículas



Filtros Coalescentes



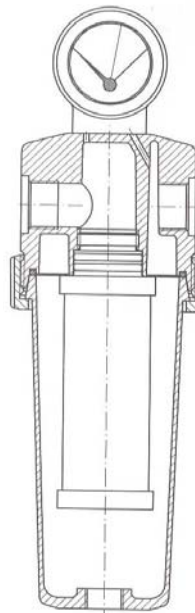
Filtros de Carbón
Activado

3.1.2.2 Filtros coalescentes para atrapar aceite

El propósito de estos retener lubricantes, emulsiones y neblinas, mediante el principio de coalescencia, el cual consiste básicamente en tener una red aleatoria de fibras, la cual ante el paso de aire, produce formación de gotas alrededor de las fibras, cayendo luego estas a un recipiente de acumulación por efecto de gravedad. Como consecuencia del diseño del filtro puede retenerse partículas sólidas incluso de menor tamaño que las retenidas por un filtro de partículas, por esto se recomienda instalar primero un filtro de partículas antes que uno coalescente y así evitar que este se sature.

La figura 6. muestra un corte esquemático de un filtro para aire comprimido.

Figura 6. Filtro completo



Mantenimiento

Dichos elementos son recambiables y deben ser remplazados periódicamente puesto que se van saturando y ocasionan altas pérdidas de presión.

3.1.2.3 Filtros para atrapar vapores

Son filtros diseñados para remover olores sabores y vapores orgánicos. Su principio de funcionamiento consiste en lechos de carbón activado que mediante adsorción remueven dichos contaminantes.

Mantenimiento

Dichos elementos son recambiables y deben ser remplazados periódicamente puesto que se van saturando y ocasionan altas pérdidas de presión.

3.1.2.4 Filtros para atrapar bacterias

El aire comprimido es aspirado del ambiente que lo rodea y así como trae partículas de polvo puede traer organismos vivos y los más comunes son las bacterias. Para atrapar o eliminar este tipo de organismos se tienen varios tipos de filtros.

3.1.2.5 Filtros de Capas.

Este tipo de filtros utilizan capas de diferentes materiales como boro silicato como medio filtrante el cual es biológica y químicamente inerte por lo cual no provoca el crecimiento de microorganismos. El cuerpo del elemento esta compuesto por acero inoxidable, juntas de silicón, buna, el medio filtrante que se utiliza, en este caso el boro silicato es inherentemente hidrofobico. En resumen este tipo de filtro retiene la bacteria viva y no la deja pasar por lo que cada cierto tiempo debe ser esterilizado en autoclave.

El cuerpo de estos filtros debe ser de acero inoxidable pulido para evitar corrosión y adherencia de microorganismos. La figura 7. muestra un filtro para atrapar bacterias con cuerpo de acero inoxidable.

Figura 7. Filtro para atrapar bacterias



3.1.2.6 Filtros ultra violeta

Este tipo de filtros esteriliza a los organismos vivos que pasan por el mismo por ejemplo bacterias, virus, esporas y otros.

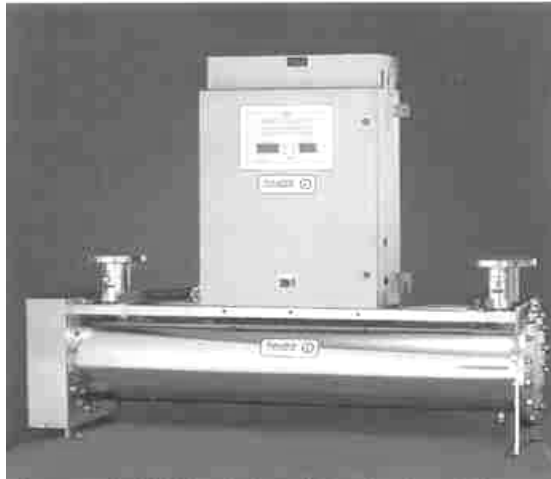
La luz es radiación electromagnética o energía radiante que viaja en forma de ondas. La luz ultravioleta se encuentra en el espectro electromagnético entre la luz visible y los rayos X y puede describirse mejor como radiación invisible la energía empleada por ejemplo en tratamiento de agua esta medida en dos longitudes de onda primarias que son 254 nm y 185 nm donde 1 nm es igual a 1/1000 micrón.

Todos los seres vivos contienen ADN. El ADN contiene la información o los mecanismos necesarios para sostener la vida. En el caso de los filtros ultravioleta al emitir la radiación, generalmente en la longitud de onda de 254 nm esta penetra la membrana celular alcanza el ADN y altera el material genético, por lo que el microorganismo es esterilizado, inhabilitándolo para reproducirse.

Dependiendo del tipo de microorganismo se aplican diferentes intensidades de luz ultravioleta en un área determinada.

Los filtros ultravioleta se seleccionan dependiendo de la cantidad de masa de fluido o caudal que va a circular a través de ellos. La figura 8. muestra un equipo de filtrado ultra violeta para esterilizar bacterias.

Figura 8. Filtro Ultravioleta



3.1.3 Válvulas de drenaje automático

Las válvulas de drenaje automático deben ir en sitios donde exista la necesidad de desalojar condensados, por ejemplo filtros, separadores centrífugos, tuberías de drenaje, tanques etc. La función de estas consiste en abrirse cada cierto tiempo para comunicar el sitio donde existe el condensado con el exterior, permitiendo que este sea desalojado. La figura 9. muestra un drenador de condensado tipo eléctrico.

Figura 9. Drenador automático de condensado



3.1.4 Post enfriadores

El objetivo de este accesorio es disminuir la temperatura del aire luego de la compresión, ya que el aire luego de ser comprimido queda 100% saturado, al tener lugar una disminución brusca de temperatura se presentaran condensados, por lo cual podemos decir que este equipo sirve también para disminuir la cantidad de agua contenida en el aire; esto implica que siempre que se utilice un post enfriador es necesario instalar algún medio para retirar los condensados que este genera, tales como separadores centrífugos (separadores de mezcla).

Esencialmente un post enfriador es un intercambiador de calor en el cual el elemento que pierde calor es el aire comprimido, mientras que el medio que lo gana es algún refrigerante, usualmente aire o agua.

Existen muchas formas posibles para un post enfriador, las más comunes

Son concha y tubo y radiadores.

3.1.5 Secadores de aire comprimido

A causa del calor generado durante el proceso de compresión, el aire comprimido sale con un grado de saturación del 100% en la mayoría de los casos; al ir disminuyendo la temperatura del aire comprimido durante su permanencia en el tanque y su paso por los diferentes accesorios y tuberías, pierde capacidad de retener vapor de agua, lo cual genera inevitablemente condensados, (agua líquida).

La presencia de condensados en el aire produce diversos problemas tales como corrosión, mal funcionamiento de herramientas neumáticas etc.

La solución a este problema son los secadores de los cuales hay de dos clases:

3.1.5.1 Secadores refrigerados

Consisten en una máquina con un circuito de refrigeración típico el cual se encarga de enfriar aire por debajo de la temperatura mínima histórica en la red produciéndose intencionalmente condensados que son retirados por medio de un separador centrífugo.

Solo pueden ser utilizados en sitios donde el punto de rocío sea mayor o igual a 0 °C ya que de lo contrario el agua se congela y obstruye la tubería.

Circuito de Aire:

El aire entra al secador, en caso de existir un pre enfriador y un post calentador, sufre preenfriamiento, luego pasa al evaporador, donde es retirado una gran cantidad de calor a consecuencia de lo cual sufre un brusco enfriamiento, generándose una gran cantidad de condensado, posteriormente pasa a través del separador donde se retira el agua líquida. Finalmente si hay un pre enfriador – post calentador, pasa por el lado contrario de este, ganando temperatura, para así salir del equipo con una temperatura cercana a la del ambiente.

Circuito de refrigerante:

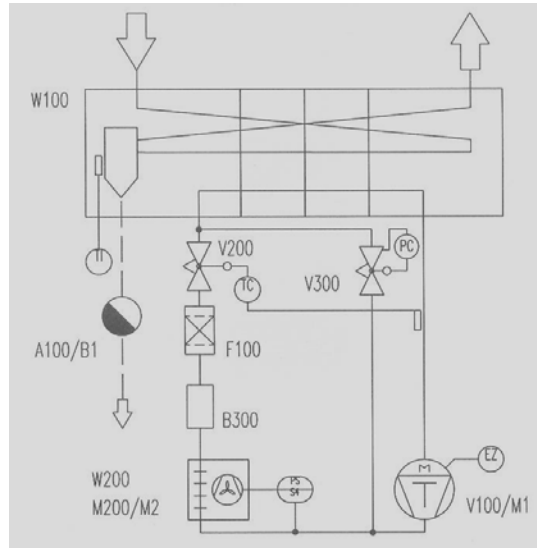
El refrigerante sale del compresor como un gas a alta presión y alta temperatura, luego pasa al condensador donde es enfriado lo suficiente para que cambie a estado líquido, posteriormente pasa por la válvula de expansión donde disminuye radicalmente su presión, perdiendo temperatura, dicho líquido va entonces al evaporador, donde hay un intercambio de calor con el aire, retirándose una gran cantidad de calor de este, el cual es ganado por el refrigerante produciéndose un cambio de estado de líquido a vapor. Finalmente regresa al compresor dando inicio de nuevo al ciclo.

Componentes:

- Refrigerante.
- Compresor de refrigeración.
- Condensador.
- Válvula de expansión.
- Evaporador.
- Separador Centrífugo.
- Preenfriador y postcalentador de aire.
- Válvula de expansión termostática.
- Válvula Bypass de gases calientes.
- Válvula súper calentadora.
- Sub. enfriador de líquido.

En la figura 10. se muestra un diagrama de flujo de un secador tipo refrigerado.

Figura 10. Diagrama de flujo de secador tipo refrigerado



3.1.5.2 Secadores regenerativos

Funcionan bajo un principio diferente que permite que alcancen puntos de rocío por debajo de 0°C . Trabajan utilizando materiales desecantes, que son aquellos que tienen, la propiedad de absorber agua, capacidad que se va perdiendo al irse saturando de esta, pero la cual pueden recuperar regenerándose, mediante diversos métodos, los cuales dependen del material desecante empleado, los principales métodos de regeneración son:

Sin Calor

- Atmosférico
- Vacío
- Soplado

Con Calor

- Calentadores internos
- Calentadores Externos
- Calor de compresión

Mantenimiento

Requieren un mantenimiento frecuente y los materiales desecantes se van deteriorando, por diversas causas tales como la contaminación del aceite, corrosión química, erosión ante el paso de aire, regeneración incompleta etc.

3.1.6 Tanques de almacenamiento de aire comprimido

Permite absorber las pulsaciones inherentes al sistema de compresión reciprocante, a la vez que suministra una superficie grande de intercambio de calor que permite disminuir parcialmente la alta temperatura del aire luego de la compresión. También absorbe sobre picos de consumo alto y de corta duración ocasionados por aplicaciones que requieren grandes cantidades de aire en lapsos cortos de tiempo; permitiendo de esta manera tener no tener un compresor sobredimensionado para satisfacer las demandas.

En la figura 11. se muestra un tanque para almacenamiento de aire comprimido tipo vertical.

Figura 11. Tanque de aire comprimido



3.1.7 Tubería principal

Es la línea que sale del conjunto de compresores y conduce todo el aire que consume la planta. Debe tener la mayor sección posible para evitar pérdidas de presión y prever futuras ampliaciones de la red con su consecuente aumento de caudal. La velocidad máxima del aire en la tubería principal es de 15 m/s.

3.1.8 Tuberías secundarias

Se derivan de la tubería principal para conectarse con las tuberías de servicio. El caudal que por allí circula es el asociado a los equipos alimentados exclusivamente por esta tubería. También en su diseño se debe prever posibles ampliaciones en el futuro. La velocidad del aire en ellas no debe superar 15 m/s.

3.1.9 Tuberías de servicio

Son las que surten en sí los equipos neumáticos. En sus extremos tienen conectores rápidos y sobre ellas se ubican las unidades de mantenimiento. Debe procurarse no sobre pasar de tres el número de equipos alimentados por una tubería de servicio. Con el fin de evitar obstrucciones se recomiendan diámetros mayores de 1/2" en la tubería. Puesto que generalmente son segmentos cortos las pérdidas son bajas y por tanto la velocidad del aire en las tuberías de servicio puede llegar hasta 15 m/seg.

En la figura 12. se muestra un tramo de tubería de servicio.

Figura 12. Tubería de servicio



3.1.10 Tipos de tuberías para uso en la industria alimenticia

En el proceso de selección de la tubería adecuada para un proceso alimenticio se tienen que tomar en consideración los siguientes parámetros:

- Tipo de producto que se va a hacer circular por el tubo.
- Temperatura del fluido.
- Presión del fluido.

3.1.11 Considerando la corrosión y la erosión

La corrosión y la erosión son factores críticos, materiales como el carbón, el acero, hierro colado o cobre se deterioran con el tiempo y consecuentemente aumenta la pérdida de fricción.

Los aceros inoxidable, las aleaciones resistentes a la corrosión de níquel y titanio no se degradan apreciablemente con el tiempo y por lo tanto mantienen una justa y constante pérdida de dirección por el tiempo de vida del sistema.

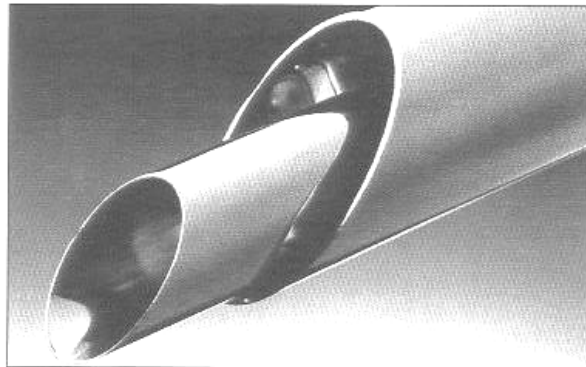
El acero inoxidable es normalmente usado para los sistemas de tuberías que requieren un proceso extremo de limpieza. La industria farmacéutica, típicamente usa el tipo 316L. La industria alimenticia normalmente utiliza el acero inoxidable 304L. La composición química del acero inoxidable 304L y sus accesorios es:

Elementos	304L (% de peso)
Carbón, máximo.	0.035
Manganeso, máximo.	2.0
Fósforo, máximo.	0.040

Sulfuro, máximo	0.030
Silicón, máximo	0.75
Níquel,	entre 8.0 y 13.0
Cromo,	entre 18.0 y 20.0
Molibdeno,	entre 2.0 y 3.0
Espesor nominal de pared	0.065"
Pulido mecánico interno	180 grit interno
Pulido mecánico externo	220 grit interno

La figura 13. muestra 2 tubos de acero inoxidable de diferente diámetro.

Figura 13. Tubería de acero inoxidable 304L

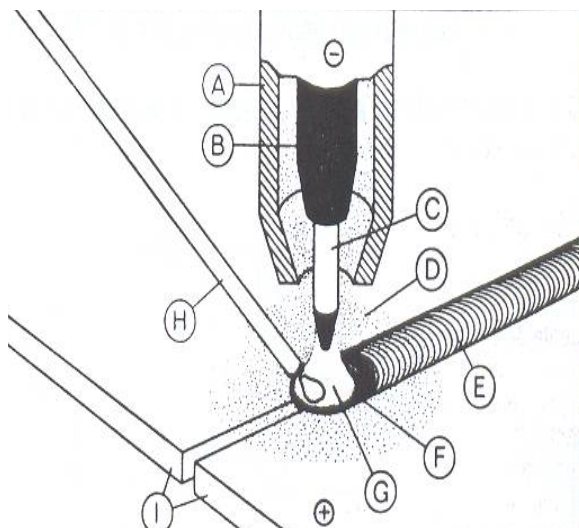


3.1.12 El proceso de soldadura tipo TIG

Descripción: El proceso de soldadura TIG (Tungsten Inert Gas) también conocido como Tungsteno y gas inerte, fue inicialmente desarrollado para la soldadura de aceros inoxidables y de difícil soldabilidad. Después de unos años, su uso se ha ampliado a la soldadura de la mayor parte de los metales comerciales.

La figura 14. muestra una representación esquemática del proceso de soldadura TIG.

Figura 14. Representación esquemática del proceso de soldadura tipo TIG.



- A. Antorcha.
- B. Porta electrodo.
- C. Electrodo de tungsteno.
- D. Atmósfera de protección de gas inerte.
- E. Metal de soldadura solidificado.
- F. Metal de soldadura fundido.
- G. Arco.
- H. Material de aporte.
- I. Metal base.

El proceso de soldadura TIG es un proceso de soldadura con arco eléctrico en el que se emplea un gas inerte para proteger la zona de unión de la atmósfera. El calor necesario para soldar es proporcionado por un arco eléctrico que se forma entre un electrodo de tungsteno, que no se consume, y la pieza de metal a soldar.

El proceso TIG difiere de la soldadura MIG en que el electrodo no se funde ni es utilizado como de aporte. En las uniones donde se necesite metal de aporte, este se alimenta a la zona de fusión en forma de varilla que se funde con el metal base, del mismo modo cuando se emplea la soldadura de oxiacetileno.

La mejor soldadura posible es, en cualquier caso la que posee, al menos las mismas propiedades químicas, metalúrgicas y físicas que las del propio metal base. Para conseguir dichas características, el charco de fusión ha de estar protegido del medio ambiente durante el proceso de soldadura, de no hacerlo así el oxígeno y el nitrógeno de la atmósfera se combinarían fácilmente con el metal fundido, y este resultaría con poros. Con el proceso TIG, la Zona de soldadura queda protegida del medio ambiente por un gas inerte que se alimenta a través del soplete. Se utiliza argón o mezclas en que este gas esta en gran proporción.

Ventajas

La Soldadura TIG tiene las características siguientes:

- Calidad de soldadura, superior a otros procesos ordinarios de soldadura.
- No precisa fundente, siendo por lo tanto aplicable a una mayor variedad de tipos de unión.
- No se presentan inclusiones de fundente.
- Las operaciones de limpieza después de la soldadura son mínimas.
- La soldadura se produce sin salpicaduras.
- pueden soldarse casi todos los metales empleados industrialmente fundamentalmente todos los tipos de aceros inoxidables.

Soldadura TIG en tubería de acero inoxidable

La tubería de acero inoxidable, tiene una especial aplicación en la industria de alimentos, química y farmacéutica.

Existen aplicaciones donde la calidad del acabado superficial interior del tubo es imprescindible y donde cualquier defecto en la soldadura puede originar con el transcurso del tiempo una contaminación en el fluido que conduce.

Ventaja del uso de la soldadura tipo TIG en tuberías de acero inoxidable

- Buen control de la penetración
- Se obtienen mejores propiedades mecánicas y resistencia a la corrosión.
- La forma que toma el charco de fusión proporciona una idea de la penetración alcanzada. Esto es fundamental para dar una correcta manipulación del soplete.
- Por la ausencia de humos, la visión de la unión para el soldador es nítida.
- No habrá posibilidad de atrapamientos de escorias por no haber fundentes.
- En muchas ocasiones se puede soldar tubería sin material de aporte.
- Puede emplearse un gas de respaldo por el interior de la tubería para prevenir la oxidación del respaldo de la unión.
- Permite la soldadura en todas las posiciones en una gran variedad de diseños de uniones.
- Durante la fabricación del tubo se pueden establecer con mayor facilidad los controles de calidad necesarios para cumplir la normativa vigente. En la soldadura de unión de tubo a tubo solo se puede garantizar la calidad de la unión mediante:
 - Empleo de soldadores TIG especializados en la soldadura de tubería,
 - Establecer un control necesario y reparar los defectos encontrados.

- Utilización de soldadura TIG orbital automática. Esta puede necesitar una inversión mayor en equipo que será en general fácilmente amortizada por la reducción del costo de soldadura, reducción / eliminación del costo de reparaciones y sobretodo la obtención de una mayor calidad.

La penetración es uno de los factores más críticos a la hora de evaluar la calidad de una soldadura de tubería de acero inoxidable. Esta debe tener dos características:

-Uniforme en todos los sectores de la unión tubo-tubo sin que afecte la posición en que haya sido realizada la soldadura, ya sea horizontal, vertical o techo.

-Repetitiva, es decir, que para una determinada unión (diámetro de tubo, espesor, preparación de bordes, etc.) se logra siempre una penetración adecuada. Esto es más difícil de conseguir con soldadura manual que con automática.

Con el empleo de la soldadura TIG orbital automática se consiguen con mayor facilidad ambas características ya que los parámetros aceptados y fijados en los ensayos previos son memorizados y repetidos posteriormente a lo largo de toda la conducción. Para poder obtener todas las ventajas de este procedimiento es imprescindible que la calidad del tubo, el corte y preparación de bordes del tubo sean perfectos. Para el corte y preparación de bordes (en caso de ser necesaria dependiendo del espesor) existen equipos perfectamente definidos que garantizan una adecuada preparación de la unión.

3.1.13 Pasivado de la tubería de acero inoxidable

El tipo 304L de acero inoxidable es el material de opción para la mayoría de los sistemas que se utilizan en la industria alimenticia. Se usan dos sistemas de acabado de superficie para estos sistemas: electro pulido y pulido mecánicamente. La tubería es ordenada usualmente con la especificación ASTM A 270 en la cual, en este formato presente, requiere un pulido mecánico con respecto a la suavidad de la superficie existente. Esta técnica remueve una cantidad cuantificable de material, de 0.00006 a 0.0008 pulgadas (0001 a .0002 mm.) y es un precursor del electro pulido.

Ocasionalmente la decoloración de la superficie metálicamente pulida se puede observar, especialmente durante el clima húmedo o cálido. Esto es visto en tubería pulida mecánicamente.

Asímismo durante el proceso de soldadura, aun cuando se efectúa con soldadura tipo TIG con atmósfera de Argón, la química de las soldaduras tiene un radio Cr/Fe de 0.11:1 y manganeso alto. Es necesario pasivar para remover el manganeso y para cambiar el radio Cr/Fe a uno mejor que 1:1. Hasta que esto este hecho, habrá un área en donde la corrosión acelerada ocurrirá y en dichos ambientes que contienen electrolitos, la corrosión galvanica puede tener lugar.

Los cambios bastante dramáticos ocurren en la química de la superficie de tipo 304L mecánicamente pulido durante la pasivacion. El hierro disminuye como lo hacen el silicón, el níquel y el molibdeno. El oxígeno y el cromo aumenta. El radio Cr/Fe aumenta con el tiempo de pasivacion.

Entre los productos que se utilizan están el ácido nítrico y el ácido cítrico los cuales se utilizan disueltos en agua a un porcentaje específico. Y a una temperatura específica por un tiempo dado después del cual se bombea agua en la tubería hasta obtener un PH neutro.

3.2 Selección del equipo para producir aire comprimido estéril

Para el diseño del sistema se van a seguir los siguientes pasos:

3.2.1 Calculo del caudal requerido.

3.2.2 Calculo del diámetro de tubería requerido

3.2.3 Selección del tipo de tubería, accesorios y soldadura.

3.2.4 Selección del compresor de aire.

3.2.5 Selección del secador de aire comprimido.

3.2.6 Selección del sistema de filtros de filtrado del aire comprimido.

3.2.1 Cálculo del Caudal Requerido

El caudal requerido para mantener el sistema de contra presión es variable, sin embargo se puede tomar como base el volumen de los envases a los cuales se les esta aplicando presión. Tomando como base el envase de 320 ml. Y como velocidad promedio de las llenadoras, 300 envases por minuto, tendríamos lo siguiente:

-Volumen del envase: 320 ml. ó cc.

-No. De envases por minuto (promedio): 300

-No. De líneas de llenado: 5

$$Q_{\text{litros/minuto}} = 320 \times 300 \times 5 / 1000 = 480 \text{ Litros/ minuto}$$

Aplicando el factor de corrección por disminución del volumen (F):

$$F = (P_{\text{trabajo}} + P_{\text{atmosférica}}) / P_{\text{atmosferica}}$$

$$F = (100 + 14.7) / 14.7 = 7.80$$

$$Q_{\text{requerido}} = Q_{\text{litros/ minuto}} \times F$$

$$Q_{\text{Requerido}} = 480 \text{ litros /minuto} \times 7.80 = 3744 \text{ litros/ minuto} = 3.744 \text{ m}^3/\text{ minuto}$$

$$Q_{\text{cfm}} = 3.744 \text{ m}^3/\text{min} \times 35.28 \text{ p}^3/\text{m}^3 = 132.08 \text{ p}^3/\text{minuto} \text{ ó cfm} (224.64 \text{ m}^3/\text{hr.})$$

3.2.2 Cálculo del diámetro de tubería y accesorios

Ya seleccionado el tipo de tubería más adecuado para el proceso que se está diseñando se tiene que hacer el cálculo de diámetro de la misma tomando en cuenta lo siguiente:

- Longitud de la tubería tanto ramal principal como ramales auxiliares.
- Flujo de aire comprimido que va pasar por la tubería.
- Caída de presión máxima que se desea tener en el sistema.
- Presión de trabajo del sistema.

Las tablas I y II. muestran las diferentes distancias de cada ramal y las longitudes equivalentes de los diferentes accesorios de tubería.

Tabla I. Longitud de la tubería

Ramal principal	301.29	pies.	(91.85 m.)
Ramales línea 1	62.7	pies.	(19.12 m.)
Ramales línea 2	29.7	pies.	(9.05 m.)
Ramales línea 3	19.8	pies.	(.03 m.)
Ramales línea 4	62.7	pies.	(6.03 m.)
Ramales línea 5	70.0	pies	(21.34 m.)
Longitud total de tubería	546.19	pies	(166.52 m.)

Tabla II. Accesorios de tubería

Accesorio	long. equivalente	Cantidad	Total por accesorio
Codo 90° Radia amplio	0.5	24	12 pies
Tee 50 %	4	10	40 pies
Válvula de compuerta	0.5	22	11 pies
Total			63 pies

Nota: Las fórmulas que se van a utilizar para el cálculo requieren que el cálculo se realice en pies.

Tomando en cuenta los datos anteriores y los datos de diseño del sistema se va a efectuar el cálculo del diámetro de tubería requerido. Para este cálculo se va a utilizar el método de Babcock para cálculo de tuberías. La tabla III resume las variables utilizadas en dicha fórmula.

Tabla III. Flujo en tuberías por la fórmula de Babcock

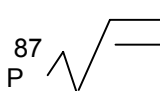
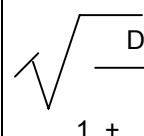

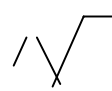
Perdidas de person (on- zas / plg ²)	col. 1  100	Tamaño nominal del tubo (plg)	col. 2  D	presión manométrica del vapor (lb / plg ²)	Col. 3  d	Longitud del tubo (pies)	col. 4  $\frac{100}{L}$
0.25	1.088	1	0.536	-1	0.187	20	2.240
0.50	1.538	1 1/4	1.178	-0.5	0.19	40	1.580
1.00	2.175	1 1/2	1.828	0.0	0.193	60	1.29
2	3.076	2	3.710	1	0.200	80	1.120
3	3.767	2 1/2	6.109	2	0.205	100	1.000
4	4.350	3	11.183	3	0.210	120	0.912
5	4.863	3 1/2	16.705	5	0.221	140	0.841
6	5.328	4	23.631	10	0.246	160	0.793
7	5.755	4 1/2	32.134	15	0.269	180	0.741
8	6.152	5	43.719	20	0.289	200	0.710
10	6.878	6	71.762	30	0.325	250	0.632
12	7.534	7	106.278	40	0.357	300	0.578
14	8.138	8	149.382	50	0.387	350	0.538
16	8.700	9	201.833	60	0.414	400	0.500
20	9.727	10	272.592	75	0.451	450	0.477
24	10.655	12	437.503	100	0.506	500	0.447
28	11.509	14	566.693	125	0.556	600	0.407
32	12.304	16	816.872	150	0.602	700	0.378
40	13.756	..	.....	175	0.644	800	0.354
48	15.069	..	.....	200	0.685	900	0.333
80	19.454	..	.....	....	....	1000	0.316
160	27.512	..	.....	....	....	1200	0.289
320	38.908	..	.....	....	....	1500	0.258
480	47.652	..	.....	....	....	2000	0.224

Tabla IV. Datos de diseño

Presión de operación	125 psi.
perdida de presión permitida	1 psi por cada 100 pies.
Caudal	200 cfm (340.13 m ³ / hr.)

Se desea encontrar el diámetro apropiado de tubería.

Para poder efectuar los cálculos se necesita conocer las libras de aire seco que van circular por la tubería.

1 pie³ a las condiciones estándar pesa 0.0763 lb. (0.346 Kg.) Por lo tanto por el sistema que se va diseñar van a circular:

$$200 \times 0.0763 = 15.26 \text{ lbs. De aire / minuto (6.94 Kg / minuto)}$$

Para efectuar los cálculos con la tabla anterior se necesita suponer algunos datos los cuales van a ser corregidos después:

Se va suponer una longitud de tubería en este caso se va a utilizar 600 pies (182.93 m.)

y una caída de presión de 6 psi. (0.408 Kg./cm²)

Teniendo los datos anteriores, estos se van a aplicar en la formula siguiente:

$$w = (\text{dato col 1}) \times (\text{dato col 2}) \times (\text{dato col 3}) \times (\text{dato col 4})$$

Por conveniencia se va a escribir de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \text{Col. 2} &= \frac{W}{\text{Col. 1 X col. 3 X} \\ &\quad \text{col. 4}} \\ &= \frac{3.425}{3.076 \times 0.2 \times 0.5} \\ &= 11.13 \end{aligned}$$

Para encontrar los datos anteriores se utiliza la tabla anterior

Col 1: pérdida 6 libras/pulg² = 96 onzas / pul² (0.408 Kg./cm²)

Interpolando los datos de la tabla para la columna 1 = 21.15

Col 4: longitud 600 pies (182.93 m.)

Leyendo directamente los datos en la tabla para la columna 4 = 0.407

Col 3: presión neta ya descontando las perdidas = 120 – 6 = 114 psi (7.76 Kg./cm²)

Interpolando los datos de la tabla para la columna 3 = 0.534

Aplicando los datos encontrados en la fórmula:

$$\begin{aligned} \text{Col. 2} &= \frac{W}{\text{Col. 1 X col. 3 X col. 4}} \\ &= \frac{15.26}{(21.15) \times (.534) \times (0.407)} \\ &= 3.31 \end{aligned}$$

Volviendo a la tabla III en la columna 2 encontramos que el diámetro de tubo que corresponde es 2".

Con los datos supuestos encontramos la longitud equivalente con la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned} \text{Leq} &= \frac{\text{Leq} \times \text{diámetro} \times 25}{\text{Col. 1 X col. 3 X col. 4}} \\ &= \frac{63 \times 2 \times 25}{12} \\ &= 262.50 \text{ pies (80.03 m)} \end{aligned}$$

$$\text{Longitud total real} = 262.50 + 546.19 = 808.69 \text{ pies. (246.55 m)}$$

Ya teniendo los datos reales procedemos a ingresarlos nuevamente a la tabla:

Col 1: Perdida 1 psi por cada 100 pies o sea 8.08 psi. X 16 onzas = 129.28 onzas /pulg² (0.55 Kg./cm²)

Interpolando los datos de columna 1 = 24.42

Col 4: Longitud total real 808.69 pies. (246.55 m)

Interpolando los datos de la columna 4 = 0.3348

Col 3: Presión neta ya descontando las perdidas: 125 – 8.08 = 116.92 psi (7.95Kg/cm²)

Interpolando los datos de la columna 3 = 0.5398

Ingresando los datos reales nuevamente en la fórmula de col 2:

$$\begin{aligned} \text{Col. 2} &= \frac{w}{\text{Col. 1 X col. 3 X col. 4}} \\ &= \frac{15.26}{(24.42) \times (.5398) \times (0.3548)} \\ &= 3.46 \end{aligned}$$

Ingresando el dato real 3.46 a la columna 2 de la tabla nos confirma el diámetro de 2" para la tubería que se requiere.

3.2.3 Cálculo de soportería

Los datos necesarios para el cálculo de la soportería son:

$$E = 30 \times 10^6$$

$$I = 161$$

Peso por pie del tubo (W): 6 libras /pie (8.9 Kg. /m)

$$W_{\text{tubo}} = 6 \text{ libras /pie}$$

$$W = W_{\text{aire}} + W_{\text{tubo}}$$

$$W_{\text{aire}} = \frac{\pi (d)^2}{4} \times 64.4$$

$$W_{\text{aire}} = \frac{\pi \times (2/12)^2}{4} \times 64.4 = 1.4 \text{ lbs./pie (2.08 Kg/m)}$$

$$W = 6 + 1.4 = 7.4$$

Longitud entre soportes: $L = \sqrt[3]{\frac{0.0213 \times (30 \times 10^6) \times l}{W}}$

$$L = \sqrt[3]{\frac{0.0213 (30 \times 10^6) (161)}{0.61}}$$

Longitud entre soportes $552/12 = 46$ pies (14.02 m)

Esta es la distancia máxima permitida, sin embargo existen otras consideraciones como deflexión del tubo que hacen que la distancia entre soportes deba ser mucho menor. En este caso la recomendada es un máximo de 10 pies (3.04 m) entre soportes.

3.2.4 Selección del tipo de tubería y accesorios

La industria de alimentos se rige bajo normas muy estrictas en cuanto al uso de materiales los cuales van a estar en contacto con los alimentos. Debido a esto en el capítulo anterior se dio información sobre cual es el tipo de tubería mas adecuado para el manejo de el aire comprimido el cual va a estar en contacto directo con la bebida.

En este caso la tubería mas adecuada es la de acero inoxidable tipo 304L que es la que cumple con los requerimientos de grado alimenticio. La soldadura

que se va a utilizar es la tipo TIG debido al tipo de acabado que se obtiene el cual evita la creación de lugares en los cuales se aloje contaminación.

3.2.5 Selección del compresor de aire

El compresor de aire es el componente del equipo que va a aspirar y comprimir el aire hasta la presión deseada por lo que se debe escoger cuidadosamente entre los diversos tipo que se pueden obtener. Los parámetros en que se debe basar la selección son:

- Horas diarias de uso: 24
- Calidad de aire que se desea obtener del compresor: libre de aceite.
- Caudal que se desea que produzca: 200 cfm. (340.13 m³/hr)

Según el cálculo de caudal indica 132 cfm (224 m³/hr) pero tomando en cuenta las perdidas por altura de la capital de Guatemala y prever una ampliación de la planta, se tiene que tener un margen aceptable de capacidad.

Basándose en los parámetros anteriores el compresor más indicado es el llamado tipo tornillo libre de aceite u oil free con motor de 50 Hp. (37.5 kw) que tiene las características siguientes:

Tabla V. Especificaciones del compresor de aire.

Potencia	50 hp (37.5 Kw.)
Tipo	Tornillo rotativo Libre de aceite (oil Free)
Capacidad teórica	200 cfm (340.13 m ³ /hr)
Capacidad real a la altura de Ciudad de Guatemala	178 cfm (302.7 m ³ /hr)
Voltaje	460 voltios
Tipo de arranque	Estrella Delta
Tipo de control	Electrónico

El compresor de aire tipo tornillo rotativo libre de aceite se caracteriza porque en la cámara de compresión que forman los tornillos helicoidales no existe ningún tipo de lubricante. Este tipo de compresor utiliza lubricante únicamente en las cámaras de engranajes que tiene en los extremos para transmitir la potencia de un tornillo helicoidal al otro así como la cámara de engranajes reductores de velocidad.

Para evitar que exista algún posible contacto de aceite de lubricación de los engranajes con la cámara de aire el compresor tiene sellos de 3 etapas en los ejes de los tornillos tipo de laberinto, tipo retenedor y un área que esta en contacto con el exterior.

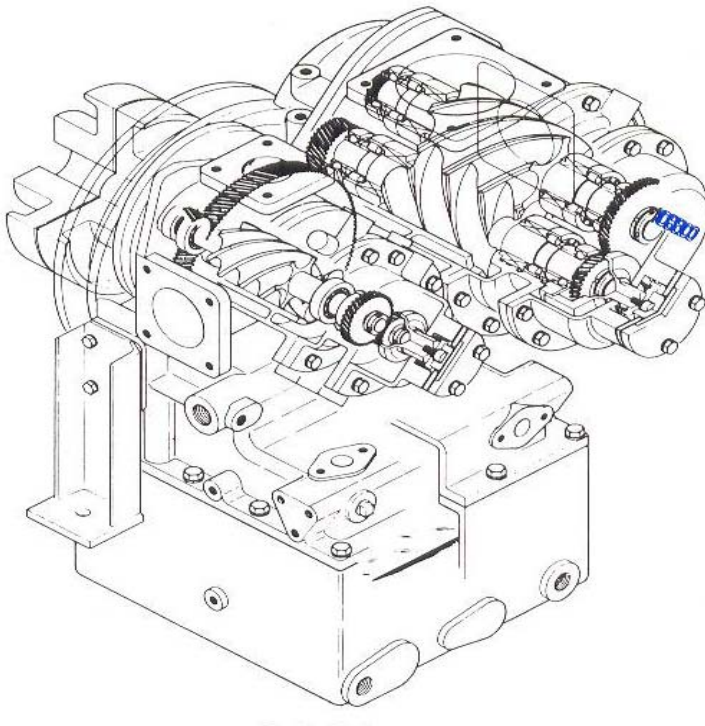
En estos compresores al carecer de las características que poseen los compresores lubricados que utilizan el aceite como sello, lubricante y medio para transmisión del calor producido por la compresión, el sello entre los

tornillos lo proporciona una velocidad de operación mucho mas alta que la que utilizan los compresores lubricados. Asimismo están diseñados para operar 24 horas diarias.

La figura 15. muestra un esquema de las unidades de tornillo de un compresor de 2 etapas tipo tornillo libre de aceite.

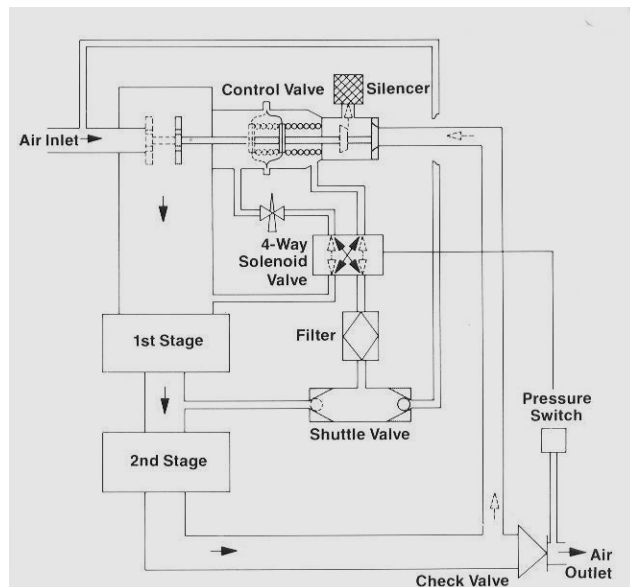
Se requiere que sea enfriado por aire para evitar instalación de sistemas externos de enfriamiento (torres de enfriamiento, bomba de agua, tratamiento del agua de enfriamiento, etc).

Figura 15. Unidad de tornillo tipo libre de aceite de dos etapas



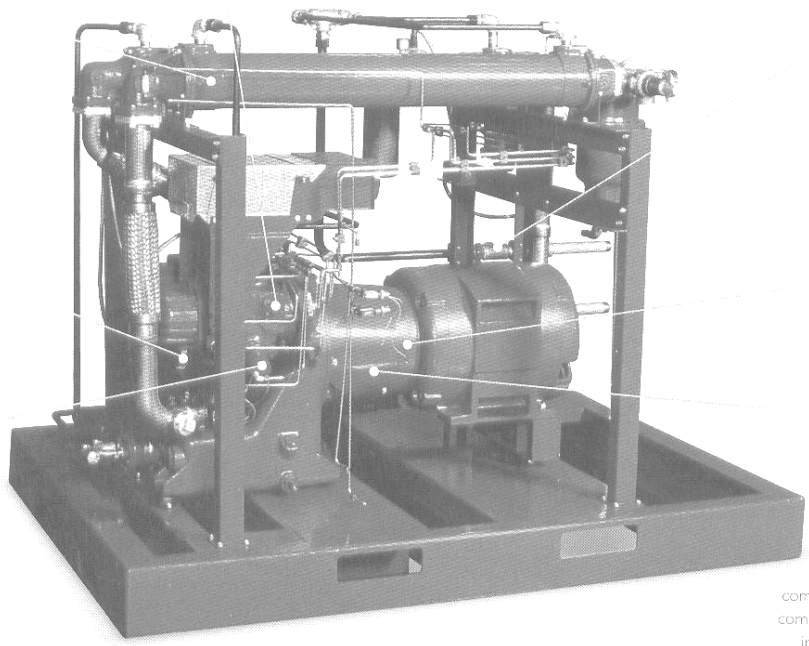
La figura 16. muestra el flujo del aire comprimido en un compresor tipo libre de aceite de 2 etapas.

Figura 16. Flujo del aire comprimido en un compresor tipo libre de aceite de dos etapas.



La figura 17. muestra un compresor de aire tipo libre de aceite de dos etapas.

Figura 17. Compresor de aire tipo tornillo libre de aceite



comp
comp
in

3.2.6 Selección del secador de aire comprimido

Como se indico anteriormente la función del secador es extraer la humedad que lleva el aire comprimido la cual depende la humedad del ambiente el requerimiento de la norma para obtener aire apto para la respiración ANSI/CGA. G.7.1 debe de cumplir con una presión de punto de rocío menor de 5°C

Por lo que basado en lo anterior se tienen 2 opciones:

- Secador tipo refrigerado
- Secador tipo regenerativo

Ambos tipos de secadores cumplen con el requisito que exige la norma anteriormente citada, sin embargo en este caso la selección se basa principalmente en el factor costo ya que el secador regenerativo tiene un costo de aproximadamente el doble que el secador refrigerado y para su proceso consume aproximadamente un 20% del volumen de aire que procesa para regenerarse, lo cual obligaría a adquirir un compresor de mayor tamaño y mayor precio.

El secador tipo refrigerado debe cumplir con las características siguientes:

Tabla VI. Especificaciones del secador de aire comprimido.

Capacidad de procesar	200 cfm (340.13 m ³ /hr)
Voltaje	230 ó 460 voltios 60hz.
Tipo de refrigerante	R-134
Presión de punto de rocío	3° C

La figura 18. muestra un secador de aire comprimido tipo refrigerado.

Figura 18. Secador de aire comprimido tipo refrigerado



QIFD Refrigerated Dryers

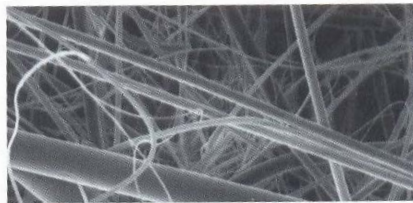
3.2.7 Selección del sistema de filtros para eliminar contaminantes en el aire comprimido

En el aire atmosférico existe una serie de contaminantes los cuales pueden causar daño a la salud si son ingeridos. Los principales son:

Partículas sólidas
Monóxido de carbono
Vapores de hidrocarburos
Vapores de aceite
Bacterias

Debido a esto es necesario instalar un equipo para filtrar el aire antes de este entre en contacto con el producto. La figura 19. muestra un corte del medio filtrante de los elementos de filtro para aire comprimido.

Figura 19. Corte del medio filtrante de un elemento de filtro de bacterias



Habiendo definido cuales son los elementos contaminantes que se desean eliminar del aire comprimido los filtros necesarios deben cumplir las características que se detallan en la tabla VII.

Tabla VII. datos de filtros para aire comprimido

No. FILTRO	A	B	C	D	E	F
1	atrapar partículas	200 CFM	1 1/4 NPT	5 Micrones	-	Automático
2	atrapar aceite	200 CFM	1 1/4 NPT	0.03 Micrones	0.03 PPM	Automático
3	atrapar aceite	200 CFM	1 1/4 NPT	0.01 Micrones	0.01 PPM	Automático
4	retiene olores	200 CFM	1 1/4 NPT	-	0.003 PPM	Automático
5	atrapa partículas	200 CFM	1 1/4 NPT	5 Micrones	-	Automático

$$200 \text{ cfm} = 340.17 \text{ m}^3/\text{hr}$$

- A Aplicación
 B Capacidad de flujo mínima
 C Diámetro de Tubería
 D Capacidad de retención de partículas
 E Contenido residual de aceite
 F Tipo de drenaje

Los filtros no. 6, 7 y 8 tienen cualidades especiales que se detallan a continuación

Sexto filtro (Para atrapar bacterias)

- Capacidad de retención de bacterias: LRV: > 7 cm² para T1 coliphagen.
- Cuerpo del filtro de acero inoxidable.
- Material filtrante inerte libre de asbestos y aditivos químicos.
- Esterilizable con autoclave.
- Biológica y químicamente inerte.
- Capacidad de flujo mínima: 200 CFM (340.13 m³/hr)

Séptimo filtro (Filtro ultravioleta para eliminar bacterias)

- Capacidad de flujo alta.
- Elimina bacterias por medio de radiación ultravioleta esterilizándolas.
- Unión roscada para instalar un toma muestras.
- Empaques y sellos de tapaderas fabricados con materiales inertes.
- Cuerpo de acero inoxidable.

Octavo filtro (tipo mesh)

El objetivo de este filtro es exclusivamente evitar que pasen a la tubería de alimentación restos de vidrio en caso de que una de las lámparas del filtro ultravioleta se rompa. Este filtro tiene un elemento fabricado con mesh de acero inoxidable.

3.2.8 Selección del depósito para aire comprimido

De acuerdo al flujo para el cual se está diseñando el sistema, se recomienda instalar depósitos para aire comprimido con una relación de 4 galones de capacidad del depósito por cada pie cúbico producido por el compresor.

En este caso el tamaño ideal de los depósitos debiera ser de 600 galones (2,268 litros). Sin embargo en Empresa de Bebidas Carbonatadas tienen sin uso 3 depósitos de acero inoxidable que suman en total 450 galones (1,701 litros) los cuales pueden ser utilizados para no efectuar el gasto de la compra.

LISTADO DEL EQUIPO

- 1- Compresor de aire.
- 2- Filtro de partículas.
- 3- Filtro coalescente con capacidad de 0.03 PPM.
- 4- Secador de aire comprimido.
- 5- Filtro coalescente con capacidad de 0.01 PPM.
- 6- Filtro de carbón activado.
- 7- Depósito para aire comprimido.
- 8- Filtro para atrapar bacterias.
- 9- Filtro ultravioleta.
- 10- Filtro de mesh de acero inoxidable.

4. ANÁLISIS DE COSTOS

Habiendo definido cuales son los equipos mas adecuados, la cantidad y la posición de los mismos se debe entrar en la fase de costos la cual es un elemento critico para definir si el proyecto es económicamente rentable a un mediano plazo.

4.1 Costos individuales de la instalación

La tabla VIII. resume el valor de cada equipo así como e costo de mano de obra de la instalación del mismo y de la tubería y accesorios.

Nota: Cuando se realizó el presente estudio el tipo de cambio del Quetzal con respecto del dólar era de Q 7.70 X \$ 1.00

Tabla VIII. Costos individuales de los equipos e instalación.

CANTI- DAD	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO US DOLARES	PRECIO US DOLARES
1	Compresor de aire tipo Oil Free	US\$ 63,780.00	US\$ 63,780.00
1	Secador de aire tipo refrigerado	US\$ 4,310.00	US\$ 4,310.00
2	Filtros de partículas	US\$ 970.00	US\$ 1,940.00
1	Filtro coalescente primera etapa	US\$ 995.00	US\$ 995.00
1	Filtro coalescente segunda etapa	US\$ 995.00	US\$ 995.00
1	Filtro de carbón activado	US\$ 935.00	US\$ 935.00
1	Filtro para atrapar bacterias	US\$ 2,225.00	US\$ 2,225.00
1	Filtro ultravioleta	US\$ 8,500.00	US\$ 8,500.00
1	instalación de tubería de acero inoxidable y accesorios	US\$ 31,500.00	US\$ 31,500.00
1	Pasivado de la tubería	US\$ 2,375.00	US \$ 2,375.00
1	Mano de obra por instalación de compresor, secador y filtros.	US\$ 1,000.00	US\$ 1,000.00
1	Elemento de repuesto filtro de bacterias	US\$ 650.00	US\$ 650.00
	Costo del proyecto		US\$ 119,205.00

4.2 Costo de mantenimiento anual del sistema

La cantidad de dinero invertido anualmente en el equipo representa una suma considerable y podemos dividirla en 2 partes:

- Costo de energía eléctrica.
- Costo de mantenimiento preventivo.

Costo de Energía Eléctrica:

Para calcular el gasto de energía eléctrica del sistema se necesita saber el consumo en Hp del sistema que consta de:

Compresor de aire	50 Hp. X 0.746 =	37.3 kw
Secador de aire	1.5 Hp X 0.746 =	1.19 kw
Filtro Ultravioleta	=	.18 kw
Total	=	38.67 kw

$$\text{Gasto por mes} = \frac{\text{Costo kw/hr X kw X 24 X 30}}{\text{Eficiencia}}$$

$$\text{Gasto por mes} = \frac{0.10 \times 38.67 \times 24 \times 30}{0.93} = \text{U\$ } 2,993.80$$

$$\text{Gasto por año} = \text{U\$ } 2,993.80 \times 12 = \text{U\$ } 35,926.56$$

Las tabla IX a XII muestran el costo de mantenimiento preventivo para cada uno de los equipos y la tabla XIII resume el gasto total anual del sistema de aire comprimido estéril.

Tabla IX. Costo anual de mantenimiento del compresor de aire

cantidad	Descripción	precio US dólares
4	Elementos de filtro de aceite	US\$ 350.00
4	Elementos de filtro de refrigerante	US\$ 480.00
2	Elementos de filtro de aire	US\$ 1,043.20
4	Galones de aceite	US\$ 210.00
2	Filtros de respiradero	US\$ 200.00
2	Kit de reparación de válvulas	US\$ 900.00
4	Mano de obra por servicios	US\$ 580.00
	Total	US\$ 3,763.20

Tabla X. Costo de mantenimiento anual del secador de aire comprimido

1	Carga de gas	US\$ 40.00
4	Mano de obra por servicios	US\$ 156.00
	Total	US\$ 196.00

Tabla XI. Costo de mantenimiento anual de Filtros de Partículas, Coalescentes y de carbón activado

5	Elementos de filtro	US\$ 1,250.00
---	---------------------	---------------

Tabla XII. Costo de mantenimiento anual del filtro ultravioleta

1	4 lámparas de cuarzo	US\$ 800.00
2	Mano de obra	US\$ 200.00
	Total	US\$ 1,000.00

Tabla XIII. Costo anual de mantenimiento y gasto en electricidad del sistema de aire comprimido estéril

1	Compresor de aire	US\$ 3,763.20
2	Secador de aire	US\$ 196.00
3	Filtro Ultravioleta	US\$ 1,000.00
4	5 Elementos de filtros de línea	US\$ 1,250.00
6	Consumo de energía eléctrica	US\$ 35,926.56
	Total de Gasto Anual	US\$ 42,135.76

4.3 Costo del sistema que se utiliza actualmente (CO₂)

El consumo total promedio de CO₂ mensual es de 125,000 kilos de los cuales el setenta y cinco del mismo se utiliza para carbonatación del producto el cual es un costo de producción.

El veinticinco por ciento restantes se utiliza para contrapresión, labores de saneamiento y preparación del producto. Las labores de contrapresión y saneamiento son los gastos de CO₂ que se desea eliminar, usándolo únicamente en casos especiales. Por ejemplo una falla del sistema de aire comprimido estéril.

El precio por kilo de CO₂ es de veinticinco centavos de dólar (\$0.25) lo cual representa un gasto anual por contrapresión que se calcula en la tabla XIV.

Tabla XIV. Costos de consumo de CO₂

Tipo de consumo de CO ₂	Consumo de CO ₂ Mensual (kilogramos)	Precio por kilogramo	Costo mensual	Costo anual
Carbonatado	100,000	US\$ 0.28	US\$ 28,000.00	US\$ 336,00.00
Contrapresión y saneamiento	25,000	US\$ 0.28	US\$ 6,250.00	US\$ 84,000.00
Total	125,000	US\$ 0.28	US\$ 31,250.00	US\$ 420,000.00

En el sistema de CO₂ el mantenimiento corre por cuenta del proveedor del producto por lo que no representa un costo adicional para la empresa.

El objetivo de este proyecto es evitar el gasto por contrapresión que representa \$. 84,000.00.

En el sistema de CO₂ el mantenimiento corre por cuenta del proveedor del producto por lo que no representa un costo adicional para la empresa.

5. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

5.1 Condiciones de funcionamiento del sistema

En todo sistema de aire comprimido existen ciertas características que deben cumplirse para la correcta operación del mismo, En un sistema de aire comprimido estéril estas características tienen cierta variación, basadas en el grado de limpieza que se desea mantener en el sistema debido al uso con alimentos.

Es por esta razón, que se presentan a continuación las condiciones fundamentales para la instalación y operación de un sistema de aire comprimido estéril.

- a) Que el sistema de compresor, secador, filtros y tubería sea totalmente hermético, o sea exento de fugas en uniones, roscas y soldaduras.
- b) Que el mantenimiento sea en los parámetros establecidos para mantener el funcionamiento de los Equipos en óptimas condiciones.

El motivo de estas dos condiciones, debe a la posibilidad de que el sistema reciba del exterior contaminante que puedan entrar al mismo después de haber sido filtrado y esterilizado. Una ventaja que se tiene en el sistema es que opera a una presión positiva de 120 psi (8.16 Kg/cm²), sin embargo hay periodos de tiempo en los cuales el sistema no opera y la presión manométrica es 0 o sea que el sistema esta a presión atmosférica y es vulnerable al ingreso de contaminantes si no esta totalmente hermético.

Asímismo se recomienda que el sistema de tubería de aire estéril y el sistema de tubería de CO₂ estén completamente separados ya que el sistema de CO₂ opera a 250 psi (17 Kg/cm²) y podría dañar los equipos de aire estéril si hay una comunicación accidental entre ambos gases.

En el diseño del recorrido de la tubería se debe tener en cuenta la temperatura ambiente del lugar donde pasa para no tener variaciones bruscas de temperatura las cuales podrían provocar cierta condensación adicional.

5.2 Instalación

Esta debe ser realizada con especial cuidado y principalmente en lo que respecta a la soldadura de la tubería de acero inoxidable. El sistema debe ser enteramente sellado especialmente en el tramo que comprende el filtro ultravioleta hasta cada uno de los puntos de uso.

En cuanto al resto, debe haber una instalación cuidadosamente ejecutada, de este modo se reduce al mínimo la posibilidad de eventuales defectos con la consecuente interrupción del funcionamiento, lo que no es deseable en un sistema de esta naturaleza por los riesgos de contaminación de producto.

La instalación consta de varias etapas:

- Montaje de compresor de aire, secador, filtros de línea en el área seleccionada previamente.

- Instalación eléctrica del compresor, secador, filtro ultravioleta y drenadores de condensado.
- Fabricación y montaje de la soportaría para la tubería de acero inoxidable.
- Montaje de tubería de acero inoxidable 304L.
- Fabricación de tramos de servicio de tubería de acero inoxidable 304L.
- Fabricación de by pass de secador de aire comprimido.
- Pasivado de la tubería de acero inoxidable 304L.

En el proceso de instalación se debe tener especial cuidado con etapas de:

En la etapa de fabricación y montaje de la soportaría para la tubería de acero inoxidable 304L. Se tiene que tener especial cuidado con la contaminación del área de producción con polvo procedente de la perforación de paredes ya que dicha área debe permanecer totalmente limpia por lo que se debe fabricar una cámara aislada con material plástico en el punto en el que se esta trabajando.

En la etapa de montaje de la tubería de acero inoxidable 304L y tramos de servicio, debe de efectuar la mayor parte del trabajo de soldadura en una área ajena al área de producción debido a que la soldadura tipo TIG produce radiación la cual puede alterar el producto. Debido a esto las soldaduras que sea necesario efectuar dentro del área de producción se deben hacer en un horario en el cual no se este produciendo.

En la unión de la tubería de aire comprimido estéril con cada llenadora de producto debe de colocarse una válvula antiretorno para evitar la contaminación de la tubería de aire estéril con producto.

En el proceso de soldadura de la tubería de acero inoxidable 304L deben observarse todas las normas citadas anteriormente (uso de soldadura tipo TIG, uso de un gas inerte en la cámara interior del tubo) para obtener una soldadura limpia y libre de depósitos de escoria en los cuales puede haber corrosión o crecimiento de organismos.

Durante el proceso de pasivación se deben observar normas de seguridad extremas ya que el ácido nítrico que se usa durante la pasivación es sumamente tóxico por lo que se debe efectuar este proceso durante un periodo en el cual el área de producción este totalmente libre de personal, contándose únicamente con el personal especializado que va a efectuar el proceso, con su equipo de seguridad completo que incluya guantes, casco lentes, y zapatos especiales.

6. MEJORA CONTINUA DEL SISTEMA

6.1 Control de calidad del aire comprimido estéril

La calidad del aire comprimido estéril que se esta produciendo con el equipo seleccionado anteriormente debe estar sujeto a revisiones periódicas por parte del laboratorio de control de calidad de la empresa ya que el mismo está en contacto con la bebida por lo que puede ser fuente de contaminación para la misma. Los parámetros que se recomienda medir son:

- Partículas
- Crecimiento de bacterias.
- Crecimiento de levaduras
- Crecimiento de mohos

Para esto el laboratorio de control de calidad cuenta con un aparato especial para tomar una muestra de aire la cual se efectúa de la siguiente manera:

El toma muestra es de acero inoxidable tipo 316L el cual previo a la toma de la muestra debe ser esterilizado en auto clave, luego se le coloca un membrana filtrante de 45 micrones a través de la cual se va a permitir el flujo de aire por espacio de 15 minutos. Luego se retira la membrana en el laboratorio y se procede ha hacer una inspección visual para detectar partículas sólidas en el aire comprimido. Para la prueba de crecimiento de organismos se tiene que tomar nuevamente otra muestra y de la cual se van a detectar crecimiento de bacterias, mohos y levaduras, se toma lectura de crecimiento de organismos a las 48. 72, 96 y 120 horas de tomada la muestra.

Este control de calidad del aire es vital para la modificación en caso necesario de los programas de mantenimiento preventivo para el equipo y el laboratorio de control de calidad puede diseñar pruebas mas especificas para este sistema.

6.2 Mantenimiento preventivo de los equipos

Ningún procedimiento de diseño, tendría éxito sin un seguimiento del funcionamiento para lograr una alta eficiencia de operación del mismo. A continuación se presentan una lista de sugerencias para lograr lo planteado anteriormente.

1. comprobar la presión de trabajo del sistema y efectuar los ajustes necesarios para obtener el funcionamiento optimo del sistema de llenado.
2. efectuar los mantenimientos preventivos a los equipos según el manual de operación de cada uno para mantenerlos en óptimas condiciones de operación y evitar paros innecesarios.
4. Verificar con regularidad el estado de uniones roscadas, uniones soldadas y uniones tipo clamp para evitar puntos de entrada de contaminación al sistema.

Para obtener un nivel alto de eficiencia del sistema se debe implementar un plan de mantenimiento preventivo del mismo el cual debe constar de:

6.2.1 Mantenimiento preventivo diario

Este plan de mantenimiento comprende:

Compresor de aire:

Revisión de temperatura de operación, presión, horas de servicio, ruidos anormales, fugas nivel del aceite de lubricación de engranajes, nivel del líquido refrigerante, presencia de condensado en el sistema.

Secador de aire comprimido:

Revisión de temperatura de operación, presión de succión del refrigerante, Limpieza del condensador.

Filtros de línea:

Revisión del indicador de estado del elemento (debe estar en el área verde).
Verificar que los drenadores de condensado están operando, fugas en roscas de unión.

Filtro ultravioleta:

Estado de las lámparas, voltaje, fugas,

Deposito de aire comprimido:

Lectura de manómetro de presión, funcionamiento del Drenador automático de condensado.

6.2.2 Mantenimiento preventivo semanal

Compresor de aire:

Quitar elemento de filtro de aire, revisarlo y soplearlo a contra flujo.

6.2.3 Mantenimiento preventivo mensual

Compresor de aire:

Desarmar, revisar y lubricar válvula de presión mínima.

Filtros de línea:

Desarmar y sacar el elemento para hacer una comprobación visual del estado del mismo.

Filtro ultravioleta:

Desarmar el área de lámparas para efectuar una limpieza interna del mismo, comprobar estado de las juntas y de las lámparas.

Filtro de bacterias: Cambiar elemento por otro que haya sido esterilizado en autoclave y limpieza interna del cuerpo del mismo.

6.2.4 Mantenimiento de 1000 horas

Compresor de aire:

Cambio de elemento de filtro de aceite de engranajes y cambio de elemento de filtro de refrigerante, lavado de intercambiadores de calor. Limpieza y ajuste del sistema de control.

6.2.5 Mantenimiento preventivo trimestral

Efectuar un saneamiento de la tubería de aire comprimido estéril.

6.2.6 Mantenimiento preventivo semestral

Compresor de aire:

Cambio del aceite de engranajes.

CONCLUSIONES

A través de este análisis de costos podemos concluir que la implementación del sistema de aire comprimido estéril tiene grandes ventajas para la empresa, las cuales son:

1. Después de elaborar el estudio comparativo de costos, el objetivo de reducir el costo que representa el uso de CO₂ en el área de llenadoras sí se cumple ya que el costo de instalación del sistema su mantenimiento y gasto de energía eléctrica, se recupera en aproximadamente dos años, tomando en cuenta el precio actual del CO₂, el cual se han incrementado considerablemente y se tiene previsto que seguirá subiendo.
2. El objetivo de evitar la liberación de CO₂ si se cumple ya que se dejan de utilizar 300,000 Kilogramos de CO₂ anualmente, siendo sustituidos por aire comprimido el cual después de efectuar el trabajo requerido es devuelto a la atmósfera sin causar ningún tipo de contaminación en el ambiente.
3. Se cuenta con una fuente de suministro de contrapresión que se produce en la empresa reduciendo la dependencia de proveedores externos.
4. Un beneficio adicional que se obtiene es que su cuenta con dos fuentes de suministro de presión para el área de llenadotas lo cual reduce perdidas por falta de operación del equipo debido a baja presión en esta área.

RECOMENDACIONES

Jefe de Mantenimiento:

1. Con el objeto de mantener el sistema de aire comprimido estéril se debe elaborar un plan de mantenimiento preventivo para el equipo, el cual debe estar basado en las especificaciones del fabricante, el cual debe contener:
 - Curso de capacitación para el personal que va a operar los equipos.
 - Calendario de revisión de los equipos.
 - Calendario de servicio a los equipos.
 - Elaboración de listado de repuestos que se deben mantener en bodega.

Jefe de control de calidad:

2. Elaboración de un plan de toma de muestras de aire comprimido para detectar y eliminar contaminación que pueda ser transportada por el aire comprimido y ser llevada a los productos que se elaboran.
3. El campo de aplicación y los equipos usados en el filtrado de aire se han expandido dramáticamente, a un nivel que esta fuera del alcance de este trabajo, el cual esta limitado a principios generales en una aplicación específica, por lo que se recomienda, que como parte del proceso de aprendizaje se utilice información específica de equipos, así como información de servicio e instalación.

BIBLIOGRAFÍA

1. Air Control Industries. AIR CONTROL HANDBOOK. Estados Unidos.
s.e 1999.
2. Baumeister, Theodore, et al. MANUAL DEL INGENIERO MECANICO
Markes. 9ª. Edición. México.
Editorial Calypso. 1996.
3. Compair Kellogg. Air Compressors Handbook. Estados Unidos.
s.e 1998.
4. Jennings, Burgues. Et. SI. AIRE ACONDICIONADO Y
REFRIGERACIÓN 18ª. Reimpresión. México.
Editorial CECSA. 1996.
5. Ruiz, Diego. Et. Al Manual de Tratamiento del aire comprimido.
s.e. Costa Rica.
6. Severns. ENERGIA MEDIANTE AIRE VAPOR Y GAS