

# UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Diseño del sistema de aire comprimido en una industria  
farmacéutica que cumpla con las Buenas Prácticas de  
Manufactura Norma 92

Trabajo de graduación presentado por

**Marisol Pereira Cabrera**

para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería Química

Guatemala

2009



Diseño del sistema de aire comprimido en una industria  
farmacéutica que cumpla con las Buenas Prácticas de  
Manufactura Norma 92

# UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Diseño del sistema de aire comprimido en una industria  
farmacéutica que cumpla con las Buenas Prácticas de  
Manufactura Norma 92

Trabajo de graduación presentado por

**Marisol Pereira Cabrera**

para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería Química


Guatemala


2009

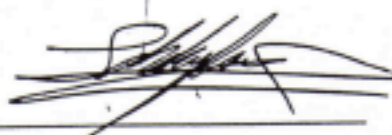
Vo.Bo:

(f)   
Ing. Jaime Rosales

Tribunal Examinador

(f)   
Ing. Jaime Rosales

(f)   
Ing. Gamaliel Zambrano

(f)   
Ing. Alejandro Leonardo

Fecha de aprobación: Guatemala, 22 de enero de 2009

## PREFACIO

La finalidad principal de este trabajo de graduación es poner a disposición las bases para la realización de un diseño de un sistema de aire comprimido, ayudando al lector a tener una visión general de cómo realizar un diseño, la selección de equipo y las líneas de distribución. Está dirigido a todos aquellos estudiantes y profesionales que desean realizar algún diseño sobre un sistema de aire comprimido y que necesiten aspectos básicos sobre este tema.

En agradecimiento principal a DIOS, a mis padres, hermanas y hermano por apoyarme y darme la oportunidad de tener estudios profesionales y lograr enseñar a otros lo que he aprendido en la carrera universitaria, a la empresa Laboratorios Formulas Farmacéuticas por su apoyo en la realización de este trabajo y lograr cambios para un mejor desempeño en los procesos de producción, en especial al Sr. Estuardo Vásquez por su apoyo incondicional y asesoramiento en la transición de este proyecto que se ha llevado a cabo, a mi asesor de tesis Ing. Jaime Rosales por su enseñanza a lo largo de mi carrera, así como a Ing. Jorge Luis Muñoz e Ing. Carmen Ortiz; por último en agradecimiento a la empresa KAESER Compresores, en especial al Ing. Néstor Carballo por su asesoría en el estudio llevado a cabo para la realización del proyecto e instalación del equipo.

*« Nunca consideres el estudio como una obligación sino como una oportunidad para penetrar en el bello y maravilloso mundo del saber »*

*Albert Einstein*

# CONTENIDO

Página

PREFACIO .....	vi
LISTA DE CUADROS.....	x
LISTA DE FIGURAS .....	xii
LISTA DE GRÁFICAS .....	xiii
ABREVIATURAS .....	xiv
RESUMEN.....	xv

## Contenido

I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. ANTECEDENTES.....	2
A. GENERALIDADES DEL AIRE .....	2
1. <i>Propiedades del aire</i> .....	2
B. AIRE COMPRIMIDO .....	2
1. <i>Bases del aire comprimido</i> .....	2
2. <i>Usos de aire comprimido</i> .....	3
3. <i>Importancia de la calidad de aire comprimido</i> .....	3
C. SISTEMAS NEUMÁTICOS PARA PRODUCCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO .....	7
1. <i>Compresor</i> .....	7
2. <i>Tipos de compresores</i> .....	7
3. <i>Funcionamiento de cada compresor</i> .....	7
4. <i>Sistemas auxiliares</i> .....	12
5. <i>Regulación de compresores</i> .....	13
6. <i>Tubería</i> .....	14
III. JUSTIFICACIÓN.....	15
IV. OBJETIVOS .....	16
A. GENERALES .....	17
B. ESPECÍFICOS.....	17
V. PROBLEMA A RESOLVER.....	17
VI. METODOLOGÍA .....	18
VII. BASES DE DISEÑO .....	19

A. ALCANCE DEL TRABAJO: .....	20
B. PRODUCTO Y PROCESO .....	20
1. <i>Especificaciones del producto</i> .....	20
2. <i>Disponibilidad de materia prima</i> .....	20
3. <i>Equipo principal</i> .....	20
4. <i>Equipo auxiliar</i> .....	21
5. <i>Sistemas de medición y control</i> .....	21
C. MEDIO AMBIENTE, SEGURIDAD Y ESTÁNDARES DE CALIDAD DE PRODUCTO.....	21
1. <i>Normas de utilización del aire comprimido</i> .....	21
2. <i>Estándares para producción de aire</i> .....	21
3. <i>Estándares para uso de aire comprimido en la industria farmacéutica</i> .....	22
D. FACTORES ECONÓMICOS .....	24
E. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO .....	24
VIII. RESULTADOS .....	25
A. DIAGRAMA DE FLUJO.....	25
B. SELECCIÓN DEL EQUIPO.....	26
1. <i>Compresor</i> .....	26
2. <i>Secador</i> .....	26
3. <i>Depósito de aire comprimido</i> .....	27
4. <i>Filtros</i> .....	27
5. <i>Tubería</i> .....	29
C. ANÁLISIS ECONÓMICO.....	31
D. FOTOS DE EQUIPO NUEVO .....	31
1. <i>Fotos de compresor</i> .....	31
2. <i>Fotos de instalación de tubería equipo nuevo</i> .....	32
E. PLANOS DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO .....	34
IX. DISCUSIÓN .....	37
X. CONCLUSIONES .....	45
XI. RECOMENDACIONES.....	46
XII. BIBLIOGRAFÍA.....	47
XIII. APÉNDICE.....	49
A. APÉNDICE 1.....	49
1. <i>Fotos de equipo actual</i> .....	49
2. <i>Fotos de línea de distribución actual</i> .....	51
3. <i>Diagrama de bloques</i> .....	52

4. Diagrama de funciones .....	52
5. Datos originales.....	54
6. Cálculos de muestra.....	84
7. Datos calculados.....	94
B. APÉNDICE 2.....	117
1. Tabla de conversiones .....	117
2. Tabla de densidades para aire comprimido.....	118
3. Tabla de Viscosidades de gases.....	119
4. Tabla termodinámica de propiedades de especies puras.....	121
5. Tasas de recuperación aplicadas al costo inicial mediante el método SMARC,.....	122
6. Simbología de sistemas neumáticos según norma ISO 1219.....	123
7. Diámetros mínimos de tubería de aire comprimido .....	124
8. Reglamento Buenas Prácticas de Manufactura, Anexo 3 de la resolución No. 93-2002 (COMIECO_XXIV) .....	125
9. Serie de Informes Técnicos de la OMS, Comité de expertos de la OMS en especificaciones para las preparaciones farmacéuticas Informe 32 .....	125
10. Catálogo compresor (AIRTOWER SXC).....	127
11. Catálogo filtros.....	132
12. Especificaciones técnicas de aceite refrigerante R134-A.....	140
C. APÉNDICE 3 .....	142
1. Manual de operación y mantenimiento de compresor AIRTOWE 5C.....	143
2. Manual de análisis del aire comprimido .....	167

## LISTA DE CUADROS

Cuadro	Página
CUADRO 1: CALIDAD DEL AIRE COMPRIMIDO EN EL ASPECTO DE PARTÍCULAS SÓLIDAS SEGÚN NORMA ISO 573.1 .....	4
CUADRO 2: CALIDAD DEL AIRE COMPRIMIDO EN EL ASPECTO DE AGUA SEGÚN NORMA ISO 8573.1 .....	5
CUADRO 3: CALIDAD DEL AIRE COMPRIMIDO EN EL ASPECTO DE ACEITE SEGÚN NORMA ISO 8573.1 .....	7
CUADRO 4: ESPECIFICACIONES DEL COMPRESOR DE TORNILLO .....	26
CUADRO 5: ESPECIFICACIONES DEL SECADOR.....	26
CUADRO 6: ESPECIFICACIONES DEPÓSITO DE AIRE COMPRIMIDO.....	27
CUADRO 7: ESPECIFICACIONES DE FILTRO PARA REMOCIÓN DE ACEITE (FILTRO PARA AEROSOLES EXTRAFINOS) .....	27
CUADRO 8: ESPECIFICACIONES PARA FILTRO PARA ABSORCIÓN DE VAPORES DE ACEITES.....	28
CUADRO 9: ESPECIFICACIONES TUBO DE ALUMINIO .....	29
CUADRO 10: ESPECIFICACIONES PARA ACCESORIO DE TUBERÍA CONECTOR PARA TUBO MACHO NPT .....	29
CUADRO 11: ESPECIFICACIONES PARA ACCESORIO DE TUBERÍA CODO 90º .....	29
CUADRO 12: ESPECIFICACIONES PARA ACCESORIO DE TUBERÍA UNIÓN DOBLE IGUAL .....	29
CUADRO 13: ESPECIFICACIONES PARA TUBERÍA FLEXIBLE PARA REDES DE AIRE COMPRIMIDO .....	30
CUADRO 14: ESPECIFICACIONES PARA ACCESORIO DE TUBERÍA CLIP DE FIJACIÓN PARA TUBERÍA DE ALUMINIO.....	30
CUADRO 15: ESPECIFICACIONES PARA ACCESORIO DE TUBERÍA COPLE TÉ IGUAL .....	30
CUADRO 16: ESPECIFICACIONES PARA ACCESORIO DE TUBERÍA VÁLVULA DOBLE IGUAL CON PURGA .....	30
CUADRO 17: ANÁLISIS ECONÓMICO DE RENTABILIDAD DEL EQUIPO NUEVO .....	31
CUADRO 18: IDENTIFICACIÓN DE CADA EQUIPO .....	53
CUADRO 19: MEDICIÓN POR 5 DÍAS DEL FLUJO VOLUMÉTRICO EN PIES CÚBICOS POR MINUTO (CFM) DURANTE EL MES DE SEPTIEMBRE DE 2008.....	54
CUADRO 20: MEDICIÓN POR 5 DÍAS DE LA PRESIÓN EN LIBRAS POR PIE CÚBICO (PSI) DURANTE EL MES DE SEPTIEMBRE DE 2008.....	63
CUADRO 21: MEDICIÓN POR 5 DÍAS DEL GASTO ENERGÉTICO EN kW DURANTE EL MES DE SEPTIEMBRE DE 2008 .....	72
CUADRO 22: DATOS DE TUBERÍA DE ALUMINIO .....	81
CUADRO 23: COMPOSICIÓN DEL AIRE COMPRIMIDO A 20°C.....	81
CUADRO 24: CAÍDA DE PRESIÓN EN EQUIPO AUXILIAR .....	81
CUADRO 25: VALORES PREDETERMINADOS.....	82
CUADRO 26: COSTOS DE INVERSIÓN DEL COMPRESOR (AIRTOWER 5C 125 PSI) EQUIPO NUEVO.....	82
CUADRO 27: COSTOS EXTRAS DE INVERSIÓN PARA LA INSTALACIÓN DEL EQUIPO NUEVO .....	82
CUADRO 28: TIEMPO DE TRABAJO DE COMPRESOR ACTUAL Y NUEVO .....	83
CUADRO 29: POTENCIA Y COSTO ENERGÉTICO UNITARIO DE TRABAJO DE COMPRESOR ACTUAL Y NUEVO .....	83
CUADRO 30: UNIDADES PRODUCIDAS ANUALES PARA EL EQUIPO ACTUAL Y NUEVO.....	83
CUADRO 31: COSTOS Y PRECIOS DE UNIDAD PRODUCIDA DEL EQUIPO ACTUAL Y NUEVO .....	83

CUADRO 32: PORCENTAJE DE COSTOS EXTRA DE PRODUCCIÓN EN EQUIPO ACTUAL Y NUEVO.....	83
CUADRO 33: DENSIDAD DEL AIRE PARA LOS DATOS PROMEDIO .....	85
CUADRO 34: ANUALIDADES PARA EL VALOR ACTUAL (VA).....	92
CUADRO 35: DATOS PROMEDIOS PARA VALORES OBTENIDOS DE MEDICIONES.....	94
CUADRO 36: DATOS DE DENSIDAD Y VISCOSIDAD PARA EL AIRE COMPRIMIDO A 20°C Y ÁREA DE TUBERÍA.....	94
CUADRO 37: CONVERSIÓN DE MEDICIONES DE PRESIÓN, CAUDAL, TEMPERATURA Y DENSIDAD DEL AIRE .....	94
CUADRO 38: CONVERSIÓN DE MEDICIONES DE DIÁMETRO INTERNO, LONGITUD, ÁREA DE TUBERÍA Y VISCOSIDAD DEL AIRE .....	94
CUADRO 39: INTERPOLACIÓN DOBLE PARA LA DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DEL AIRE PARA VALORES PROMEDIO.....	95
CUADRO 40: INTERPOLACIÓN DOBLE PARA LA DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DEL AIRE PARA VALORES MÁXIMOS	95
CUADRO 41: INTERPOLACIÓN DOBLE PARA LA DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DEL AIRE PARA VALORES MÍNIMOS.	95
CUADRO 42: VELOCIDAD LINEAL DEL AIRE COMPRIMIDO .....	95
CUADRO 43: HORAS DE TRABAJO PARA EQUIPO ACTUAL Y EQUIPO NUEVO .....	108
CUADRO 44: ENERGÍA DE TRABAJO PARA EQUIPO ACTUAL Y EQUIPO NUEVO.....	108
CUADRO 45: COSTO ENERGÉTICO DE TRABAJO PARA EQUIPO ACTUAL Y NUEVO.....	108
CUADRO 46: INGRESOS DE PRECIOS DE VENTAS RESPECTO UNIDADES PRODUCIDAS PARA EL EQUIPO ACTUAL Y NUEVO .....	108
CUADRO 47: COSTOS RESPECTO UNIDADES PRODUCIDAS PARA EL EQUIPO ACTUAL Y NUEVO .....	108
CUADRO 48: COSTOS VARIABLES Y FIJOS RESPECTO PRECIO DE VENTA DE EQUIPO ACTUAL .....	109
CUADRO 49: COSTOS VARIABLES Y FIJOS RESPECTO PRECIO DE VENTA DE EQUIPO NUEVO .....	109
CUADRO 50: COSTOS EXTRAS QUE AFECTAN AL PRODUCTO CON EL EQUIPO ACTUAL Y NUEVO.....	109
CUADRO 51: DEPRECIACIÓN DEL EQUIPO NUEVO EN DÓLARES.....	110
CUADRO 52: DEPRECIACIÓN DEL EQUIPO NUEVO EN QUETZALES.....	110
CUADRO 53: FLUJO DE CAJA EQUIPO ACTUAL.....	111
CUADRO 54: FLUJO DE CAJA EQUIPO NUEVO .....	112
CUADRO 55: VALOR ACTUAL (VA) Y VALOR ACTUAL NETO (VAN) DEL EQUIPO ACTUAL Y NUEVO .....	113
CUADRO 56: CUADRO DE ANUALIDADES PARA OBTENER EL VALOR ACTUAL (VA) DEL EQUIPO ACTUAL .....	113
CUADRO 57: CUADRO DE ANUALIDADES PARA OBTENER EL VALOR ACTUAL (VA) DEL EQUIPO NUEVO.....	113
CUADRO 58: PUNTO DE EQUILIBRIO EQUIPO ACTUAL Y NUEVO .....	114
CUADRO 59: DATOS PARA LA OBTENCIÓN DEL PUNTO DE EQUILIBRIO EN FORMA GRÁFICA PARA EQUIPO ACTUAL.....	114
CUADRO 60: DATOS PARA LA OBTENCIÓN DEL PUNTO DE EQUILIBRIO EN FORMA GRÁFICA PARA EQUIPO NUEVO.....	114

## LISTA DE ILUSTRACIONES

Cuadro	Página
FIGURA 1: TIPOS DE FILTROS LA ELIMINACIÓN DE IMPUREZAS SUSPENDIDAS EN EL AIRE COMPRIMIDO.....	6
FIGURA 2 : ASPIRACIÓN Y COMPRESIÓN DE COMPRESORES DE ÉMBOLO .....	9
FIGURA 3 : COMPRESOR ROTATIVO.....	10
FIGURA 4: COMPRESOR ROTATIVO DE PALETAS .....	10
FIGURA 5: COMPRESOR ROTATIVO DE PISTÓN LÍQUIDO .....	11
FIGURA 6: COMPRESOR ROTATIVO DE LÓBULOS.....	11
FIGURA 7: COMPRESOR ROTATIVO DE TORNILLO.....	12
FIGURA 8: DIAGRAMA DE FLUJO.....	25
FIGURA 9: COMPRESOR AIRTOWER 5C.....	32
FIGURA 10: INTERIOR DERECHA DE COMPRESOR.....	31
FIGURA 11: INTERIOR IZQUIERDA DEL COMPRESOR .....	31
FIGURA 12: COMPRESOR DE TORNILLO.....	31
FIGURA 13: MOTOR DE COMPRESOR DE TORNILLO.....	31
FIGURA14: SECADOR FRIGORÍFICO.....	32
FIGURA 15: FILTROS KOR35 Y KVF35 RESPECTIVAMENTE .....	32
FIGURA 16: TUBERÍA DE SALIDA DEL COMPRESOR, MANGUERA FLEXIBLE Y VÁLVULA DE ALIVIO .....	32
FIGURA 17: CONEXIÓN DE TUBERÍA A LA SALIDA DEL COMPRESOR Y UNION CON LOS FILTROS .....	33
FIGURA 18: TUBERÍA A LA SALIDA DEL CUARTO DE MAQUINAS HACIA DISTRIBUCIÓN.....	33
FIGURA 19: TUBERÍA HACIA ÁREA DE USO .....	33
FIGURA 20: COMPRESOR DE PISTÓN.....	49
FIGURA 21: CABEZAL DEL COMPRESOR.....	49
FIGURA 22: CABEZAL DEL COMPRESOR .....	49
FIGURA 23: MOTOR DEL COMPRESOR.....	49
FIGURA 24: VÁLVULA DE SEGURIDAD.....	50
FIGURA 25: MEDICIÓN DE PRESIÓN DEL DEPÓSITO DE AIRE .....	50
FIGURA 26: MANÓMETRO DE MEDICIÓN DE PRESIÓN .....	50
FIGURA 27: CONEXIÓN ELÉCTRICA DE SALIDA DE AIRE.....	50
FIGURA 28: VÁLVULA DE PURGA DEL DEPÓSITO DE AIRE .....	50
FIGURA 29: SALIDA DE AIRE COMPRIMIDO (TUBERÍA AMARILLA), MANCHA DE ACEITE DEL AIRE GENERADO.....	51
FIGURA 30: DISTRIBUCIÓN DE TUBERÍA DENTRO DEL CUARTO DE MÁQUINAS .....	51
FIGURA 31: DISTRIBUCIÓN DE TUBERÍA DENTRO DEL CUARTO DE MÁQUINAS .....	51
FIGURA 32: DISTRIBUCIÓN DE TUBERÍA HACIA PUNTOS DE USO .....	52
FIGURA 33: DIAGRAMA DE BLOQUES .....	52
FIGURA 34: DIAGRAMA DE FUNCIONES.....	52

# LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica	Página
GRÁFICA 1: PORCENTAJE DE HUMEDAD RELATIVA EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA AMBIENTE DEL AIRE SEGÚN NORMA ISO 8573.1.....	5
GRÁFICA 2: REGRESIÓN LINEAL PARA OBTENER LA DENSIDAD DE VALORES PROMEDIO RESPECTO A UNA PRESIÓN CONSTANTE DE 90 PSI.....	96
GRÁFICA 3: REGRESIÓN LINEAL PARA OBTENER LA DENSIDAD DE VALORES PROMEDIO RESPECTO A UNA PRESIÓN CONTANTE DE 100 PSI.....	97
GRÁFICA 4: REGRESIÓN LINEAL PARA OBTENER LA DENSIDAD DE VALORES PROMEDIO RESPECTO A UNA TEMPERATURA CONTANTE DE 60°F.....	98
GRÁFICA 5: REGRESIÓN LINEAL PARA OBTENER LA DENSIDAD DE VALORES PROMEDIO RESPECTO A UNA TEMPERATURA CONTANTE DE 70°F.....	99
GRÁFICA 6: REGRESIÓN LINEAL PARA OBTENER LA DENSIDAD DE VALORES MÁXIMOS RESPECTO A UNA PRESIÓN CONTANTE DE 100 PSI.....	100
GRÁFICA 7: REGRESIÓN LINEAL PARA OBTENER LA DENSIDAD DE VALORES MÁXIMOS RESPECTO A UNA PRESIÓN CONTANTE DE 120 PSI.....	101
GRÁFICA 8: REGRESIÓN LINEAL PARA OBTENER LA DENSIDAD DE VALORES MÁXIMOS RESPECTO A UNA TEMPERATURA CONTANTE DE 60°F.....	102
GRÁFICA 9: REGRESIÓN LINEAL PARA OBTENER LA DENSIDAD DE VALORES MÁXIMOS RESPECTO A UNA TEMPERATURA CONTANTE DE 70°F.....	103
GRÁFICA 10: REGRESIÓN LINEAL PARA OBTENER LA DENSIDAD DE VALORES MÍNIMOS RESPECTO A UNA PRESIÓN CONTANTE DE 5 PSI.....	104
GRÁFICA 11: REGRESIÓN LINEAL PARA OBTENER LA DENSIDAD DE VALORES MÍNIMOS RESPECTO A UNA PRESIÓN CONTANTE DE 10 PSI.....	105
GRÁFICA 12: REGRESIÓN LINEAL PARA OBTENER LA DENSIDAD DE VALORES MÍNIMOS RESPECTO A UNA TEMPERATURA CONTANTE DE 60°F.....	106
GRÁFICA 13: REGRESIÓN LINEAL PARA OBTENER LA DENSIDAD DE VALORES MÍNIMOS RESPECTO A UNA TEMPERATURA CONTANTE DE 70°F.....	107
GRÁFICA 14: PUNTO DE EQUILIBRIO EQUIPO ACTUAL.....	115
GRÁFICA 15: PUNTO DE EQUILIBRIO EQUIPO ACTUAL.....	116

## ABREVIATURAS

Abreviatura	Significado
A	Área
B	Tasa o base total de depreciación
C	Caudal
CD	Costo devolución total
cd	Costo devolución unitario
CF	Costo fijo total
cf	Costo fijo unitario
cfm	pies cúbicos por minuto
CU <sub>i</sub>	Costo unitario producción
CV	Costo variable total
cv	Costo variable unitario
D <sub>n</sub>	Depreciación en <i>n</i> años
F	Flujo de caja anual
i	Tasa de actualización del VAN
L	litros
m	metros
mm	milímetros
n	Número de años
N/A	No aplica
P	Presión
plg.	Pulgadas
PRI	Periodo de Recuperación de la Inversión
psi	libras por pulgada cuadrada
PV	Precio Venta total
pv	Precio venta unitario
q	Cantidad producida
TIR	Tasa Interna de Retorno
Tr	Tiempo de recuperación (meses)
VA	Valor Actual
VAN	Valor Actual Neto
VL <sub>n</sub>	Valor en Libros en <i>n</i> años

## RESUMEN

Aire comprimido, ¿cómo se relaciona esto con la industria farmacéutica?

El objetivo principal de este trabajo de graduación es el diseño de un sistema de aire comprimido para una industria farmacéutica que cumpla con las normas de Buenas Prácticas de Manufactura, este objetivo fue logrado a través de un estudio sobre la demanda de aire en dos áreas de trabajo, la primera un área de agitación por medio de burbujeo y la segunda un área estéril, donde se utilizaba el aire para filtrar los productos.

Para poder solucionar este problema se decidió separar las dos áreas y trabajarlas individualmente, en este trabajo de graduación solo se trabajó con el área estéril, ya que es un área delicada que requiere que todo lo que entre al área este sin contaminación alguna.

Se encontró que el compresor que actualmente funcionaba era muy pequeño, con una potencia de 2.2380 kW (3 hp), para la demanda de aire que se estaba requiriendo, por lo que este se cambio a un compresor mayor con una potencia de 3.7300 kW (5 hp), y por medio de un balance de masa y energía se verificó si el compresor solicitado era el adecuado y cubría la demanda, obteniendo valores de presión mínima de 45,390.7083 Pa (6.5834 psi), y presión máxima de 737,611.5830 Pa (106.9824 psi), teniendo datos técnicos del compresor se logra mantener una presión y un caudal constante ya que el compresor tiene una capacidad de 1,723,675.0000 Pa (250 psi) trabajando a 861,837.5000Pa (125 psi) de presión de carga.

Además se agregó tratamiento al aire, ya que se trabajan con productos estériles, los cuales tienen contacto directo con el aire comprimido producido; este tratamiento, está compuesto de un secador frigorífico que es un intercambiador de calor de placas, un drenador de condensados conectado al secador, depósito de aire comprimido, con el fin que el compresor no esté en su carga todo el tiempo y que la vida útil de él sea menor, por último una serie de filtros; que en este caso se utilizan dos tipos, primero un filtro para remoción de aceite (filtro para aerosoles extrafinos) y el segundo un filtro para la remoción de vapores de aceite; con estos tener la certeza que se tiene un aire limpio y libre de impurezas, como lo son residuos de aceite lubricante, humedad y polvo.

Por último se realizó un análisis económico para saber si el proyecto era rentable, y se encontró que el Valor Actual Neto (VAN) del equipo nuevo, es Q1,361,583.99, además en el equipo nuevo se realizó una inversión de Q61,510.90, la cual se recupera en 2.14 meses; por lo que el proyecto es rentable no solo por la comparación con el Valor Actual Neto, sino que el tiempo de recuperación de la inversión es corto.

En conclusión el equipo sí cumple con las Buenas Prácticas de Manufactura, cumple con que tenga un tratamiento de aire para evitar contaminación hacia los productos; y por otro lado el proyecto es rentable ya que se recupera la inversión a corto plazo.

Se recomienda que todo sistema de aire comprimido sea dimensionado adecuadamente según demanda existente; tomar en cuenta que se necesita tratamiento de aire adecuado para la aplicación, contar con tanques de almacenamiento de aire y que haya una revisión de la tubería para el control de fugas y que se le dé mantenimiento preventivo al sistema de generación de aire comprimido.

# I. INTRODUCCIÓN

En una industria farmacéutica los sistemas de aire son indispensables y además deben contar con las condiciones necesarias para que se tenga un aire limpio. A pesar de todos los avances para conseguir un aire limpio, en muchas industrias, el aire sigue contaminado, ya que muchas impurezas contenidas en ellas, como los aceites y algunos hidrocarburos en forma gaseosa se encuentran suspendidos en el ambiente, originándose en instalaciones de producción, envasado o similares.

Las estaciones de aire comprimido aspiran junto con el aire atmosférico concentraciones importantes de sustancias dañinas. En consecuencia es imposible garantizar unas calidades de aire comprimido determinadas, si no se aplican métodos de tratamiento adecuados, ya que no se conoce exactamente la carga de impurezas que soporta el aire ambiental.

El aire comprimido no tratado para trabajar con productos sensibles, como los productos farmacéuticos, pronto tendrán problemas en la producción y en la calidad; las causas son, por un lado, la poca seguridad sobre la calidad del aire aspirado y otro es la mala distribución del sistema de aire.

En un diseño de sistema de aire comprimido se necesita contar con compresor, motor eléctrico, válvula antiretorno, depósito, manómetros, válvulas de seguridad, secador de aire, filtros y una tubería adecuada para su utilización. En este trabajo se trató la readecuación y diseño de un sistema neumático para abastecer de aire comprimido a los diferentes procesos de manufactura, de una industria farmacéutica.

## II. ANTECEDENTES

### A. Generalidades del aire

Se define aire como la mezcla de gases que envuelven la esfera terrestre formando la atmósfera, este tiene como componentes principales 78% de nitrógeno, 20% de oxígeno, 1.3% de argón, 0.05% de helio, hidrógeno, dióxido de carbono, etc., y cantidades variables de agua y polvo

#### 1. Propiedades del aire:

- Fluidez
- Compresibilidad
- Elasticidad
- Almacenamiento y disponibilidad
- Elección del movimiento
- Velocidad
- Simplicidad de diseño y control
- Economía
- Fiabilidad
- Resistencia al entorno y limpieza del entorno.
- Seguridad.

### B. Aire comprimido

#### 1. Bases del aire comprimido:

a. Caudal. El caudal es la cantidad de aire a presión atmosférica que un compresor es capaz de comprimir en una unidad de tiempo. Para medir el caudal, se procede del modo siguiente: Primero se miden la temperatura, la presión atmosférica y la humedad del aire a la entrada de la salida de aire comprimido se calcula con ayuda de la ecuación de gas y las condiciones de aspiración del aire.

b. **Potencia suministrada por el motor.** Por tal se entiende la potencia que el motor de accionamiento del compresor transmite mecánicamente al árbol de accionamiento. La potencia óptima, con la cual se consigue el mejor rendimiento eléctrico del motor sin sobrecargarlo y con la que se alcanza el factor de rendimiento, se encuentra en el campo de la potencia nominal del motor. Podrá leerla en la placa identificativa del motor eléctrico

c. **Potencia específica.** Entendemos por potencia específica de un compresor la relación entre la potencia eléctrica que consume y el caudal que suministra a una presión de servicio concreta. La potencia eléctrica que consume un compresor es la suma de las potencias consumidas por todos los accionamientos que incluye, como por ejemplo el motor principal, el motor del ventilador, el de las bombas de aceite, la calefacción auxiliar etc. Si se necesita la potencia específica para realizar cálculos sobre economía de servicio, deberá tomarse referida a toda la unidad y a la presión de servicio máxima. Se dividirá el consumo total de electricidad a presión máxima entre el caudal a presión máxima.

**2. Usos de aire comprimido.** El aire comprimido se utiliza en casi todas las instalaciones industriales. Se usa para enfriar los componentes, accionamiento de válvulas y otros componentes mecánicos, alimentación de aire impulsada por herramientas, cajas de purga, limpieza y de purga, y pruebas de presión. Cada uso determina la calidad de filtración necesarios y sequedad del aire de suministro. En general, de aire comprimido pueden clasificarse en términos de la sequedad y limpieza: como la tienda de aire, planta de aire, y el Instrumento de aire, además puede ser utilizado para la solución de refrigeración, limpieza y transporte de problemas.

**3. Importancia de la calidad de aire comprimido.** La suciedad, la humedad y el aceite están en todas partes. Pero no deberían estar en el caudal de aire comprimido, por lo que el polvo, suciedad, polen, microorganismos, humo, emisiones de gases y otras partículas, humedad en forma de vapor de agua, aceite, hidrocarburos no quemados que quedan en el aire y refrigerante del compresor arrastrado a la línea y los gases cáusticos como los óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno y compuestos de cloro, son unos de los contaminantes mas importantes en la calidad del aire.

Los contaminantes pueden destruir un sistema de aire comprimido, si se pone como ejemplo una tormenta de arena en miniatura a 7 bar(g). Las partículas distribuidas casi de forma invisible por todo el aire del entorno se convierten en una fuerza concentrada que provoca daños y destrucción a todas sus herramientas, equipos e instrumentos que utilizan aire comprimido.

Por lo que los resultados de un aire comprimido contaminado, en un sistema puede generar

desde simples contratiempos al caos total en los equipos y en el producto final, como lo son el desgaste prematuro y rayado de superficies, óxido y corrosión en herramientas, tuberías y equipos, instrumentos dañados, superficies de pintura estropeadas, mayor índice de chatarra y un entorno de trabajo inseguro y desagradable, además que se generan compuestos volátiles y peligrosos y la producción se para, por lo tanto la productividad y la calidad descienden.

Para poder evitar esta contaminación hacia los procesos existen técnicas en filtros dobles que eliminan la suciedad y los problemas al eliminar las partículas en el sistema de aire comprimido se eliminan los desgastes prematuros, superficies rayadas, orificios obstruidos, y acabados defectuosos e instrumentos estropeados.

Dependiendo la clase de aire comprimido que se requiera así deberá ser la protección que se debe tener, el mantenimiento de la calidad del aire es tan importante que la International Standards Organisation (ISO) desarrolló seis clases de calidad del aire comprimido que quedaron definidas en la norma ISO.

*Cuadro 1: Calidad del aire comprimido en el aspecto de partículas sólidas según norma ISO 573.1*

<b>Calidad del aire comprimido ISO 8573.1</b>					
Clase	Partículas sólidas: número máximo de partículas por m <sup>3</sup>			Agua: Punto de rocío a presión (°C)	Aceite: (Incl. vapor) mg/m <sup>3</sup>
	0.1-0.5 Micra	0.5-1.0 Micra	1.0-5.0 Micra		
1	100	1	0	-70	0.01
2	10,000	1,000	10	-40	0.1
3	-	10,000	500	-20	1
4	-	-	1,000	3	5
5	-	-	20,000	7	-
6	-	-	-	10	-

Pero en el aire comprimido no solo se tienen partículas sólidas también existe el problema de la humedad, que causan óxido y corrosión en las tuberías del sistema de aire, lubricación inadecuada de las herramientas neumáticas, daños al etiquetado, envasado y productos acabados y pérdidas de productividad en toda la actividad. Para eliminar esta humedad existen los secadores de aire refrigerantes que son capaces de mantener la humedad relativa por debajo del 50% en la mayoría de los entornos de plantas industriales. Los procesos que requieren un aire ultra seco (ISO Clase 1, 2 ó 3) requerirán una solución avanzada empleando tecnología de secadores no refrigerantes.

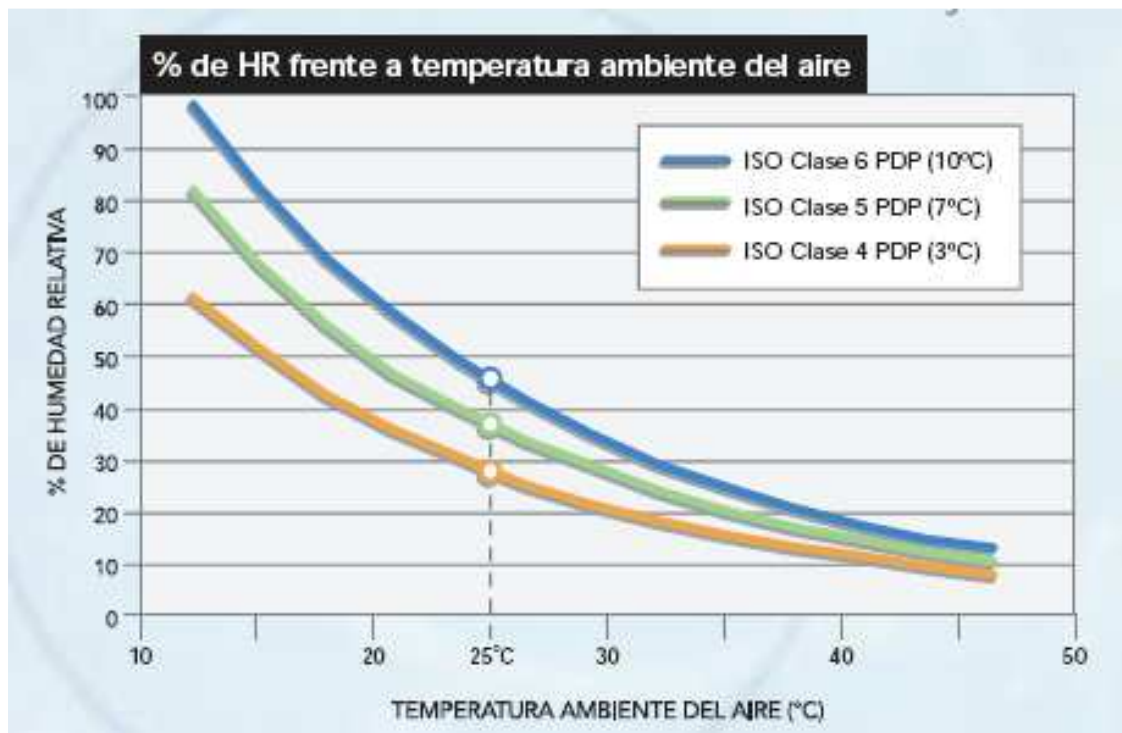
Cuadro 2: Calidad del aire comprimido en el aspecto de agua según norma ISO 8573.1

Clase	Partículas sólidas: número máximo de partículas por m <sup>3</sup>			Agua: Punto de rocío a presión (°C)	Aceite: (Incl. vapor) mg/m <sup>3</sup>
	0.1-0.5 Micra	0.5-1.0 Micra	1.0-5.0 Micra		
1	100	1	0	-70	0.01
2	10,000	1,000	10	-40	0.1
3	-	10,000	500	-20	1
4	-	-	1,000	3	5
5	-	-	20,000	7	-
6	-	-	-	10	-

Es importante tener controles de humedad relativa ya que según ISO se clasifica un punto de rocío a presión constante a una temperatura ambiente del aire específica a 25°C.

Según la Gráfica 1, si el punto de rocío a presión PDP se mantiene constante y cambia la temperatura ambiente del aire, la humedad relativa aumentará o disminuirá y al mantener una humedad relativa (HR) constante, el rendimiento del sistema de aire será consistente y fiable.

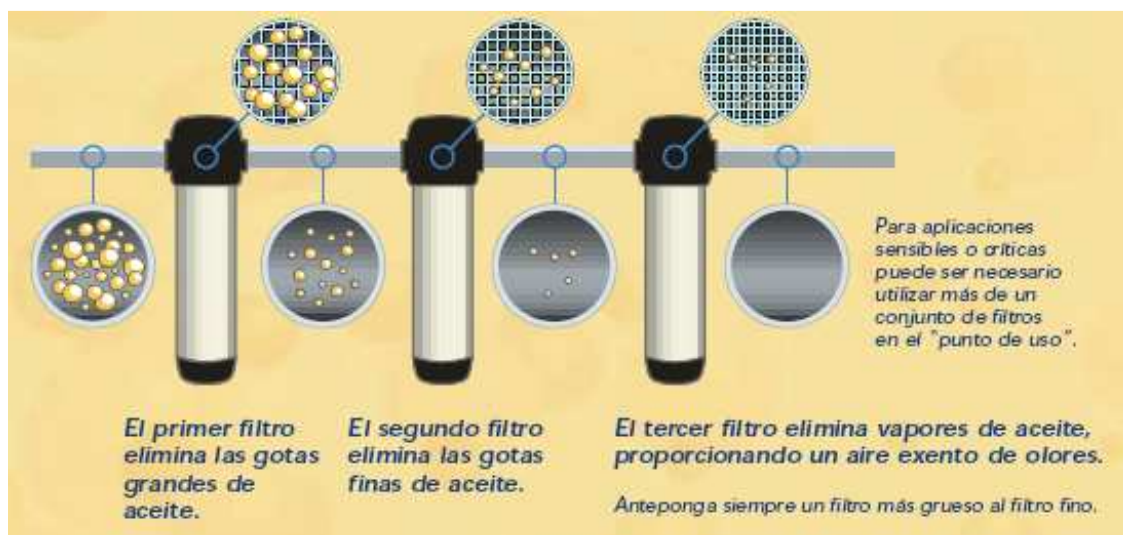
Gráfica 1: Porcentaje de humedad relativa en función de la temperatura ambiente del aire según norma ISO 8573.1



Por último se tiene la eliminación del aceites y grasas. Estos afectan a los productos y al entorno de trabajo; ya que los aceites, hidrocarburos no quemados y el refrigerante de compresores se concentran mucho durante el proceso de compresión.; estos entran en el caudal del aire como gotas arrastradas y a menos que sean eliminados pasan a través del sistema al proceso de producción. Para ello es necesario un separador de aire/aceite, incorporado en todos los compresores de aire para eliminar parte del aceite y así no estropear lotes de productos, reducir la calidad del acabo de las piezas, provocar coloraciones no deseadas en el producto final, crear contaminaciones grandes en el producto y además de crear un ambiente de trabajo desagradable y peligroso.

Esto da la pauta de realizar un filtrado adecuado eliminando el aceite no deseado del caudal del aire, y aportar una prolongada vida útil de las herramientas neumáticas, eliminación de olores no deseados, alta calidad de los productos finales y proporcionar un ambiente agradable y seguro.

*Figura 1: Tipos de filtros la eliminación de impurezas suspendidas en el aire comprimido (según IR)*



Un aire comprimido sin aceite sólo puede conseguirse instalando un compresor de aire exento de aceite. Aún así, seguirá siendo necesario filtrar las partículas y eliminar la humedad

Cuadro 3: Calidad del aire comprimido en el aspecto de aceite según norma ISO 8573.1

Calidad del aire comprimido ISO 8573.1					
Clase	Partículas sólidas: número máximo de partículas por m <sup>3</sup>			Agua: Punto de rocío a presión (°C)	Aceite: (Incl. vapor) mg/m <sup>3</sup>
	0.1-0.5 Micra	0.5-1.0 Micra	1.0-5.0 Micra		
1	100	1	0	-70	0.01
2	10,000	1,000	10	-40	0.1
3	-	10,000	500	-20	1
4	-	-	1,000	3	5
5	-	-	20,000	7	-
6	-	-	-	10	-

## C. Sistemas neumáticos para producción de aire comprimido

1. **Compresor.** Es una máquina que eleva la presión de un gas o una mezcla de gases o vapores, donde esta presión se eleva reduciendo el volumen específico del mismo durante su paso a través del compresor.

Al hacer una comparación en cuanto a la presión de salida de los compresores con ventiladores centrífugas, o de circulación axial y turbo soplantes los compresores se clasifican generalmente como máquinas de alta presión, mientras que los ventiladores y soplantes se consideran de baja presión.

Los compresores se emplean para aumentar la presión de una gran variedad de gases y vapores para un gran número de aplicaciones. Un caso común es el compresor de aire, que suministra aire a elevada presión para transporte, pintura a pistola, inflamiento de neumáticos, limpieza, herramientas neumáticas y perforadoras. Otro es el compresor de refrigeración, empleado para comprimir el gas del vaporizador. Otras aplicaciones abarcan procesos químicos, conducción de gases, turbinas de gas y construcción.

2. **Tipos de compresores.** Al clasificarse según el indicio constructivo los compresores volumétricos se subdividen en los de émbolo y de rotor y los de paletas en centrífugos y axiales. Es posible la división de los compresores en grupos de acuerdo con el género de gas que se desplaza, del tipo de transmisión y de la destinación del compresor.

- a. Compresores alternativos o de émbolo
- b. Compresores rotativos o centrífugos

### 3. Funcionamiento de cada compresor:

a. **Compresores alternativo o de émbolo.** Los compresores alternativos funcionan con el principio adiabático mediante el cual se introduce el gas en el cilindro por las válvulas de entrada, se retiene y comprime en el cilindro y sale por las válvulas de descarga, en contra de la presión de descarga. Estos compresores rara vez se emplean como unidades individuales, salvo que el proceso requiera funcionamiento intermitente. Por ejemplo, si hay que regenerar un catalizador cada dos o tres meses o se tiene un suministro de reserva en otra fuente, esto daría tiempo para reparar o reemplazar las válvulas o anillos de los pistones, si es necesario. Los compresores alternativos tienen piezas en contacto, como los anillos de los pistones con las paredes de; cilindro, resortes y placas o discos de válvulas que se acoplan con sus asientos y entre la empaquetadura y la biela. Todas estas partes están sujetas a desgaste por fricción.

Los compresores alternativos pueden ser del tipo lubricado o sin lubricar. Si el proceso lo permite, es preferible tener un compresor lubricado, porque las piezas durarán más. Hay que tener cuidado de no lubricar en exceso, porque la carbonización del aceite en las válvulas puede ocasionar adherencias y sobrecalentamiento. Además, los tubos de descarga saturados con aceite son un riesgo potencia; de incendio, por lo que se debe colocar corriente abajo un separador para eliminar el aceite. Los problemas más grandes en los compresores con cilindros lubricados son la suciedad y la humedad, pues destruyen la película de aceite dentro del cilindro.

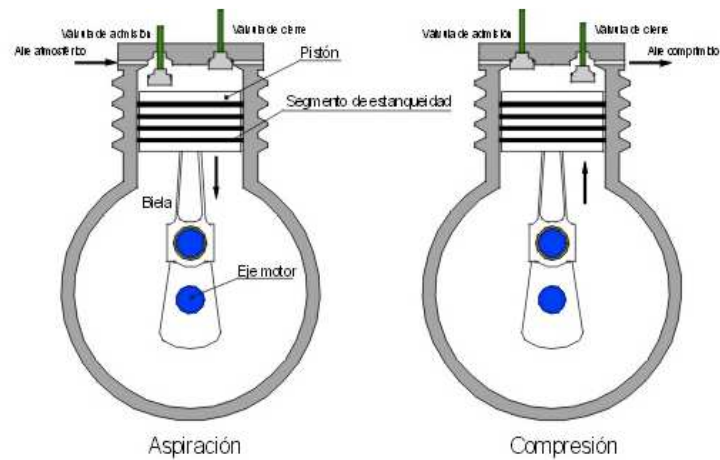
Los compresores alternativos deben tener, de preferencia motores de baja velocidad, de acoplamiento directo, en especial si son de más de 300 HP; suelen ser de velocidad constante. El control de la velocidad se logra mediante válvulas descargadoras, y estas deben ser del tipo de abatimiento de la placa de válvula o del tipo de descargador con tapón o macho. Los descargadores que levantan toda la válvula de su asiento pueden crear problemas de sellamiento. La descarga puede ser automática o manual. Los pasos normales de descarga son 0-100%, 0-50-100%, o- 25-60-75-100% y se pueden obtener pasos intermedios con cajas de espacio muerto o botellas de despejo; pero, no se deben utilizar estas cajas si puede ocurrir polimerización, salvo que se tomen las precauciones adecuadas.

El funcionamiento de los compresores de émbolo es muy similar al de un motor de combustión interna de un automóvil. Un eje sobre el cual se encaja la pieza 1 es el elemento motor que gira transmitiendo el movimiento a la pieza 2 (biela). Este movimiento de rotación se transforma en un movimiento alternativo de ascenso y descenso del pistón.

Se distinguen dos fases:

- a. **Aspiración:** El pistón desciende y el aire atmosférico entra por la válvula de aspiración.
- b. **Compresión.-** El pistón asciende comprimiendo el aire. En el momento en el cual el aire alcanza la presión deseada se abre la válvula de escape y el aire se dirige hacia el depósito donde es almacenado

Figura 2 : Aspiración y compresión de compresores de émbolo



Estos compresores se clasifican según la fase de compresión en:

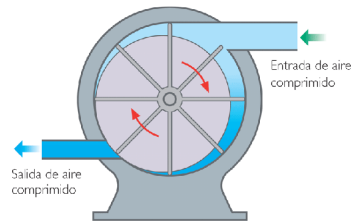
- c. Monofásico o de simple efecto, cuando el pistón realiza una sola fase de compresión (la acción de compresión la ejecuta una sola cara del pistón).
- d. Bifásico, de doble efecto o recíprocante cuando el pistón realiza doble compresión (la acción de compresión la realizan ambas caras del pistón).

Según las etapas de compresión se clasifican en:

- Compresores de una etapa cuando el compresor realiza el proceso de compresión en una sola etapa.
- Compresores de varias etapas cuando el proceso de compresión se realiza en más de una etapa por ejemplo una etapa de baja presión y una etapa de alta presión.

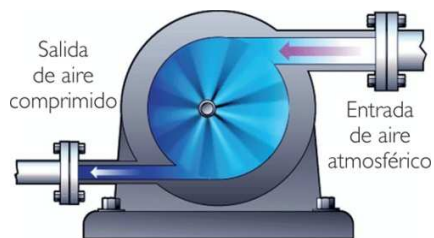
b. **Compresores rotativos o centrífugos.** Los compresores centrífugos impulsan y comprimen los gases mediante ruedas de paletas. Los ventiladores son compresores centrífugos de baja presión con una rueda de paletas de poca velocidad periférica (de 10 a 500 mm de columna de agua; tipos especiales hasta 1000 mm). Las máquinas soplantes rotativas son compresores centrífugos de gran velocidad tangencial (120 a 300 m/seg.) y una relación de presiones por escalón  $p_2/p_1 = 1,1$  a  $1,7$ . Montando en serie hasta 12 ó 13 rotores en una caja puede alcanzarse una presión final de  $\gg 12\text{kg/cm}^2$ , comprimiendo aire con refrigeración repetida.

*Figura 3 : Compresor rotativo*



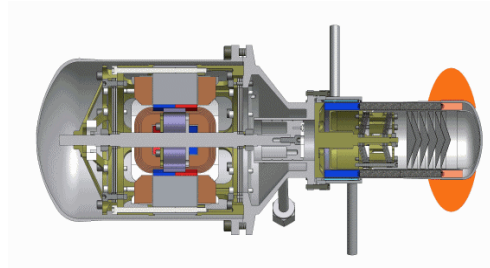
a. **Compresores de paletas.** Este tipo de compresores consiste básicamente de una cavidad cilíndrica dentro de la cual está ubicado en forma excéntrica un rotor con ranuras profundas, unas paletas rectangulares se deslizan libremente dentro de las ranuras de forma que al girar el rotor la fuerza centrífuga empuja las paletas contra la pared del cilindro. El gas al entrar, es atrapado en los espacios que forman las paletas y la pared de la cavidad cilíndrica es comprimida al disminuir el volumen de estos espacios durante la rotación.

*Figura 4: Compresor rotativo de paletas*



2) **Compresores de pistón líquido.** El compresor rotatorio de pistón de líquido es una máquina con rotor de aletas múltiple girando en una caja que no es redonda. La caja se llena, en parte de agua y a medida que el rotor da vueltas, lleva el líquido con las paletas formando una serie de bolsas. Como el líquido, alternamente sale y vuelve a las bolsas entre las paletas (dos veces por cada revolución). A medida que el líquido sale de la bolsa la paleta se llena de aire. Cuando el líquido vuelve a la bolsa, el aire se comprime.

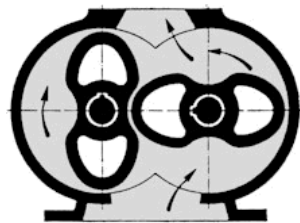
*Figura 5: Compresor rotativo de pistón líquido*



3) **Compresores de lóbulos (Roots).** Se conocen como compresores de doble rotor o de doble impulsor aquellos que trabajan con dos rotores acoplados, montados sobre ejes paralelos, para una misma etapa de compresión. Una máquina de este tipo es el compresor de lóbulos mayor conocida como "Roots", de gran ampliación como sobre alimentador de los motores diesel o sopladores de gases a presión moderada. Los rotores, por lo general, de dos o tres lóbulos están conectados mediante engranajes exteriores.

El gas que entra al soplador queda atrapado entre los lóbulos y la carcaza; con el movimiento de los rotores de la máquina, por donde sale, no pudieron regresarse debido al estrecho juego existente entre los lóbulos que se desplazan por el lado interno.

*Figura 6: Compresor rotativo de lóbulos*



4) **Compresores de tornillo.** El compresor de aire de tornillo rotativo se ha convertido en la fuente más popular de aire comprimido para aplicaciones industriales. Una de las razones principales es su simple concepto de compresión.

El aire entra en una cámara sellada donde lo atrapan entre dos rotores contrarrotativos. Cuando los rotores se engranan, reducen el volumen de aire atrapado y lo suministran comprimido al nivel de presión correcto. Este simple concepto de compresión, con enfriamiento de contacto continuo, permite que el compresor de aire de tornillo rotativo funcione a temperaturas de aproximadamente la mitad de la generada por un compresor de pistones. Esta baja temperatura permite que el compresor de aire de tornillo rotativo funcione en un ciclo de servicio continuo "a plena carga". Su capacidad de funcionar durante largos periodos de tiempo, hace que el compresor rotativo sea ideal para exigentes aplicaciones industriales

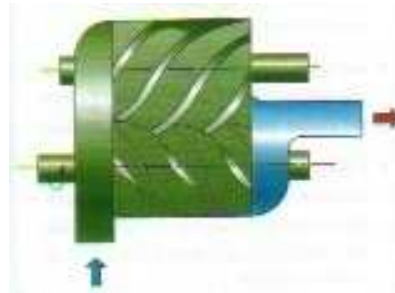
El vapor refrigerante entra por el canal de aspiración y, en el interior, dos tornillos

helicoidales lo comprimen mediante su giro.

Por lo que la compresión por rotores paralelos puede producirse también en el sentido axial con el uso de lóbulos en espira a la manera de un tornillo sin fin. Acoplando dos rotores de este tipo, uno convexo y otro cóncavo, y haciéndolos girar en sentidos opuestos se logra desplazar el gas, paralelamente a los dos ejes, entre los lóbulos y la carcasa. Las revoluciones sucesivas de los lóbulos reducen progresivamente el volumen de gas atrapado y por consiguiente su presión, el gas axial comprimido es forzado axialmente por la rotación de los lóbulos helicoidales hasta 1ª descarga.

Sus características más importantes son que tiene menos posibilidades de romperse o desgastarse, ya que posee pocas partes móviles; requiere menos mantenimiento que un compresor alternativo (una revisión por cada dos y media del alternativo), pero llevado a cabo por personal especializado; su precio es más elevado dada su tecnología; es más silencioso; funciona muy bien a carga completa.

*Figura 7: Compresor rotativo de tornillo*



4. **Sistemas auxiliares.** Una estación típica de aire comprimido con un solo compresor, cuenta con el equipo y accesorios siguientes:

- a. Compresor

Los sistemas auxiliares en el que se toma en cuenta desde el almacenamiento hasta la distribución del aire comprimido son:

- a. Tanque de almacenamiento
- b. Secador frigorífico
- c. Filtros de línea
- d. Trampas de condensado
- e. Válvula de seguridad
- f. Manómetro
- g. Tubería
- h. Drenaje y manejo de condensados
- i. Soportería

5. Regulación de compresores. Al administrar cierto caudal a un compresor, se deben tener ciertas regulaciones objeto de adaptar el caudal suministrado por el compresor al consumo que fluctúa, se debe proceder a ciertas regulaciones del compresor. Existen diferentes clases de regulaciones. El caudal varía entro dos valores límites ajustados (presiones máxima y mínima).

a. Regulación de marcha en vacío

1) Regulación por escape a la atmósfera. Se trabaja con una válvula reguladora de presión a la salida del compresor. Cuando en el depósito se ha alcanzado la presión deseada, dicha válvula abre el paso y permite que el aire escape a la atmósfera. Una válvula antiretorno impide que el depósito se vacíe (sólo en instalaciones muy pequeñas).

2) Regulación por aislamiento de la aspiración. Se bloquea el lado de aspiración. La tubuladura de aspiración del compresor está cerrada. El compresor no puede aspirar y sigue funcionando en el margen de depresión. Esta regulación se utiliza principalmente en los compresores rotativos y también en los de émbolo oscilante.

3) Regulación por apertura de la aspiración. Se utiliza en compresores de émbolo de tamaño mayor. Por medio de una mordaza se mantiene abierta la válvula de aspiración y el aire circula sin que el compresor lo comprima.

b. Regulación de carga parcial

1) Regulación de la velocidad de rotación. El regulador de velocidad del motor de combustión interna se ajusta en función de la presión de servicio deseada, por medio de un elemento de mando manual o automático. Si el accionamiento es eléctrico, la velocidad de rotación puede regularse de forma progresiva empleando motores de polos conmutables.

2) Regulación del caudal aspirado. Se obtiene por simple estrangulación de la tubuladura de aspiración. El compresor puede ajustarse así a cargas parciales predeterminadas. Este sistema se presenta en compresores rotativos o en turbocompresores.

c. Regulación por intermitencias. El compresor tiene dos estados de servicio (funciona a plena carga o está desconectado). El motor de accionamiento del compresor se para al alcanzar la presión máxima. Se conecta de nuevo y el compresor trabaja, al alcanzar la presión mínima. Los momentos de conexión y desconexión pueden ajustarse mediante un presóstato. Para mantener la frecuencia de conmutación dentro de los límites admisibles, es necesario prever un depósito de gran capacidad.

## 6. Tubería

### a. Características tubería acero inoxidable:

- 1) Diseño de costura de acuerdo a la DIN 2462 y costura soldada según DIN 2463
- 2) Dimensiones desde 6-273mm
- 3) Presión hasta 80 bar
- 4) Extremo de tubo liso
- 5) Conexiones selladas sin corrosión
- 6) Excelente resistencia a la corrosión
- 7) Excelente factor higiene-limpieza
- 8) Fáciles de transformar
- 9) Excelente soldabilidad
- 10) No se endurecen por tratamiento térmico
- 11) Se pueden utilizar tanto a temperaturas criogénicas como a elevadas temperaturas

### b. Características tubería aluminio:

- 1) Diseño es similar a DIN 1795 en tramos rectos de 6 m
- 2) El material aleación de aluminio extruido
- 3) Dimensiones hasta 32 mm
- 4) Presión hasta 15 bar
- 5) Es un tubo liso
- 6) La conexión es un ensamble o sujeto a presión
- 7) Tiene una superficie interior lisa, sin corrosión
- 8) Ligereza
- 9) Buen conductor de electricidad y calor
- 10) No es magnético ni tóxico
- 11) Es impermeable e inodoro
- 12) Es muy dúctil

### III. JUSTIFICACIÓN

El fin primordial de este trabajo de tesis es desarrollar e implementar todo el cumplimiento con los requerimientos de las normas de Buenas Prácticas de Manufactura, enfocadas en el proceso del servicio de aire comprimido que se efectúa en una industria farmacéutica de servicio, ya que se pretende que este tenga un impacto positivo y enfocado al desarrollo y mejora de este sistema, debido a que actualmente la empresa tiene problemas en este sistema, pues no es un aire limpio, seco, libre de impurezas sino al contrario es un aire húmedo, sucio lleno de contaminantes (en su mayor parte lubricantes), con alto grado de condensados.

Al tener un sistema de aire con estos obstáculos, es necesaria la implementación no solo de una línea nueva de aire sino que una reingeniería de toda la tubería existente, ya que esta última tiene accesos que no son utilizados y esto puede causar contaminación en el mismo.

Para llegar a tener un buen cumplimiento de las normas de Buenas Prácticas de Manufactura es necesaria la implementación no solo de un estudio, sino de una reingeniería de tubería antes descrita, pues esta última hay partes que no se utilizan y no existen válvulas para poder trincar el aire y utilizar solo el necesario, lo que lleva a tener un alto impacto no solo en la eficiencia del aire sino que en pérdidas del mismo, además de tener altos costos en el gasto de energía, pues al tener tubería no utilizada y que esté llena de aire, no solamente es pérdida del mismo, sino que el trabajo que ejerce el aire no es aprovechado por áreas en las que es necesario.

El aire comprimido es sumamente importante que sea tratado con cuidado y con la menor cantidad de contaminantes posibles, pues este mismo se utiliza como agitación en área de cosméticos, es decir que tiene contacto directo con el producto, y si el aire está contaminado, se contamina el producto, ya que no existen filtros u otros accesorios auxiliares para ayudar a que el aire sea de buena calidad; este mismo aire tiene contacto con producto estéril (en área de filtrado), aunque existen filtros para aire estos no son lo suficiente eficientes para poder eliminar toda la cantidad de contaminantes entre ellos la humedad y se tiene un aire que debe ser tratado pues al trabajar con producto estéril tiene que ser libre de impurezas (estéril) en su mayoría.

Con este estudio se pretende lograr un cambio en el sistema de aire de la empresa (cambio de compresor, tubería), ya que al tener deficiencias en este servicio, se tiene una deficiencia en los productos y la calidad que se obtiene no es suficiente, y para que los productos fabricados sean de una mejor calidad de la que existe actualmente.

Al tener un sistema de aire comprimido en malas condiciones, los equipos conectados al mismo se dañan y los productos se estropean (llenos de bacterias y con condiciones no adecuadas), se generan compuestos volátiles y peligrosos, además que la producción se interrumpe, la productividad y la calidad descienden, se obstruyen las salidas de aire obstruidas e instrumentos

estropeados, para que esto no suceda se necesita un aire insípido, libre de partículas  $> 0.01\mu m$ , estéril, con contenido residual de vapor de aceite  $\leq 0.003mg/m^3$  y la utilización de filtro estéril libre de gérmenes, además al cambiar el sistema de aire por uno más eficiente se tiene ganancia sobre el costo de energía consumida pues el cambio ayudaría a que bajaran los costos de la misma.

#### IV. OBJETIVOS

## IV. OBJETIVOS

### A. Generales

1. Selección de equipo, accesorios y tuberías para el readecuamiento de un sistema de aire comprimido que cumpla las especificaciones farmacéuticas.

### B. Específicos

1. Selección un sistema de aire comprimido que conste de equipo de generación de aire comprimido, válvulas, tuberías y controles.
2. Generar un aire comprimido de alta calidad y eficiencia en el sistema de circulación hasta su punto final.
3. Realizar análisis económico para verificar si el cambio del sistema de aire comprimido es rentable.
4. Realizar planos de la línea del aire comprimido.
5. Establecer las normas de Buenas Prácticas de Manufactura aplicadas al sistema de aire comprimido.

## V. PROBLEMA A RESOLVER

Los problemas a resolver con este trabajo de graduación son:

1. La mala condición en la que se encuentra el sistema de aire comprimido en la industria farmacéutica, ya que al estar en condiciones de generación no adecuadas se ven dañados los equipos y los productos terminados, pues la productividad y la calidad de los mismos descienden.
2. El equipo con que actualmente se contaba no era capaz de responder por la demanda de aire que era necesaria para las producciones.

Con este estudio se pretende el demostrar la necesidad del cambio del sistema de aire por uno más eficiente que absorba la demanda actual y futura, mejorando la eficiencia de la producción lo cual viene a mejorar las ganancias, con lo cual el proyecto llega a ser altamente rentable.

## VI. METODOLOGÍA

1. Recaudar información sobre sistemas de aire comprimido, en general y para una industria farmacéutica.
2. Establecer las bases de diseño; para tener una visión concreta de lo que será el estudio completo del sistema de aire.
3. Revisión de planos actuales para iniciar con un diseño preliminar de la línea en el que se determine la distribución del aire dentro del área de producción.
4. Análisis físicos al aire obtenido para la utilización, como lo son en el aspecto microbiológico y humedad, además de la capacidad actual del compresor para la generación de aire comprimido.
5. Realizar diagramas de flujo y balances de masa y energía.
6. Buscar y cotizar proveedores de maquinaria para la producción de aire comprimido.
7. Realizar un diseño final de la línea de aire comprimido tomando en cuenta el equipo necesario para ofrecer un aire comprimido de buena calidad.
8. Análisis económico para determinar los costos de la generación del aire comprimido y poder determinar la rentabilidad de un posible cambio de compresor y de línea de tubería de aire comprimido.

## VII. BASES DE DISEÑO

### A. Alcance del trabajo:

Para la producción de aire comprimido se debe hacer un estudio previo del aire que se está produciendo y las condiciones en las que se encuentra para poder iniciar a evaluar el cambio del equipo y de la distribución hacia cada proceso.

Se deben tomar en cuenta ciertas restricciones como lo son, el aire aspirado que las condiciones de él necesitan tratamiento ya que se tiene humedad, partículas de polvo y microorganismos que pueden contaminar el producto en el que se está utilizando este servicio, además que el equipo para la generación de aire comprimido (compresor), utiliza lubricantes los cuales deben ser eliminados de la distribución ya que estos son fuente de contaminación para el producto que se va a manejar.

### B. Producto y proceso

1. Especificaciones del producto. Según la Norma ISO 83571.1. La clase de aire que corresponde a una industria farmacéutica es la Clase ISO 0, la cual es muy estricta respecto a las características de la misma y todo dependiendo del proceso en el que se esté utilizado el servicio.

- a. Libre de partículas:  $>0.01\mu\text{m}$
- b. Vapor de aceite:  $\leq 0.01\mu\text{m}/\mu\text{m}^3$
- c. Humedad (punto de rocío)  $\leq -75^\circ\text{C}$
- d. Estéril
- e. Incoloro
- f. Sin sabor

2. Disponibilidad de materia prima. La disponibilidad de la materia se va a tener todo el tiempo, ya que al ser aire, no se tiene limitaciones, lo único que varía son las condiciones en las que se encuentra, todo dependiendo la época del año, tomando en cuenta la temperatura, humedad y presión ambiente.

### 3. Equipo principal

- a. Compresor
- b. Tanque de almacenamiento
- c. Secador frigorífico
- d. Tubería

### 4. Equipo auxiliar

- a. Filtro para aceite
- b. Filtro para vapor de aceite

### 5. Sistemas de medición y control

- a. Drenaje electrónico de condensados regulados por nivel
- b. Temperatura interna de compresor
- c. Presión interna de tanque de almacenamiento

## C. Medio ambiente, seguridad y estándares de calidad de producto

Cuando se elige trabajar con aire comprimido, se está eligiendo una fuente de energía que es capaz de almacenar grandes cantidades de la misma. Por lo que se deben respetar y no exceder las indicaciones de máxima presión operativa, carga y temperatura.

**1. Normas de utilización del aire comprimido.** El aire comprimido jamás debe entrar en contacto directo con la piel, ya que existen normativas de seguridad para la utilización del aire en muchos países; se han establecido restricciones acerca de la cantidad de aire comprimido a la que puede estar expuesta directamente la piel.

a. OSHA artículo 1910242b: Estipula que la presión del aire comprimido que puede entrar en contacto con la piel no puede superar los 20 psi.

### 2. Estándares para producción de aire

a. Norma ISO 12500-2:2007 Filtros de aire comprimido - Los métodos de prueba - Parte 2: Petróleo vapores. Especifica la prueba de diseño y procedimientos de ensayo necesarios para la realización de pruebas de vapores de hidrocarburos adsorbente filtros utilizados en sistemas

de aire comprimido para determinar su eficacia en la eliminación de vapores de hidrocarburos. Las características de funcionamiento para la identificación de la capacidad adsorptiva y la caída de presión. Define un método de presentar el rendimiento del filtro de hidrocarburos como de vapor de capacidad, expresado en miligramos, a partir de los resultados obtenidos en condiciones de prueba. Especifica la prueba de diseño y procedimientos de ensayo necesarios para la realización de pruebas coalescente filtros utilizados en aire comprimido sistemas para determinar su eficacia en la eliminación de los aerosoles de aceite.

b. Norma ISO 12500-1:2007 Filtros de aire comprimido - Los métodos de prueba - Parte 1: aerosoles de aceite. Proporciona los medios para indicar características de funcionamiento de la caída de presión y la capacidad de eliminación de los aerosoles de aceite. Define un método de presentar el rendimiento del filtro de salida como la concentración de aceite en aerosol se indica en miligramos por metro cúbico a partir de los resultados obtenidos al amparo de los parámetros estándar de calificación.

### 3. Estándares para uso de aire comprimido en la industria farmacéutica

a. REGLAMENTO DE BUENAS PRÁCTICAS DE MANUFACTURA Artículo 33. Establece que las tuberías o cañerías serán construidas con materiales adecuados para proteger el fluido que conduzca y prever eventual fuga.

b. GUÍA DE VERIFICACIÓN DE BUENAS PRÁCTICAS DE MANUFACTURA PARA LA INDUSTRIA FARMACEUTICA, Apartado 8.1.12. Establece que las tuberías están diseñadas y ubicadas de tal forma que faciliten la limpieza y que se encuentren debidamente identificadas; y las tuberías que se emplean para cada tipo de fluido no son intercambiables, además que deben ser de un material que permita su fácil limpieza.

c. Norma ISO 8573-1:2001 Contaminantes y las clases de pureza. Especifica las clases de pureza y la cantidad de contaminantes presentes en cada clase, como lo son las partículas de polvo, humedad del aire, lubricantes.

d. Norma ISO 8573-2:2007 Métodos de ensayo para el contenido de aceite y aerosol. Especifica métodos de prueba para el muestreo y análisis cuantitativo de los aerosoles de aceite y líquidos de petróleo que pueden estar presentes normalmente en aire comprimido. Dos diferentes métodos, el método B se subdivide en dos partes para establecer una distinción clara entre los procedimientos para obtener la cantidad de aceite para su análisis.

Describe los métodos de ensayo para el muestreo y análisis cuantitativo de contenido de aceite en aerosol y líquido de petróleo (con exclusión de vapor de aceite) normalmente presente en el aire liberado de compresores y sistemas de aire comprimido. Da instrucciones detalladas sobre el equipo que se ha utilizado la prueba y los métodos que deben emplearse para la medición del contenido de aceite. Se aplica a sistemas de aire comprimido hasta 435.11psi de presión de trabajo, pero con exclusión de los sistemas destinados a uso médico o para dirigir la respiración.

e. Norma ISO 8573-3:1999 Métodos de ensayo para la medición de humedad. Proporciona orientación sobre la selección de métodos disponibles adecuados para la medición de humedad en el aire comprimido, y se especifican las limitaciones de los distintos métodos. No proporciona los métodos para la medición del contenido de agua en distintos estados de vapor. Especifica las técnicas de muestreo, medición, evaluación, la incertidumbre y las consideraciones de presentación de informes para el parámetro de contaminación de la humedad del aire.

f. Norma ISO 8573-8:2004 Métodos de ensayo para el contenido de partículas sólidas. Especifica métodos de prueba para determinar la masa de partículas sólidas de concentración en aire comprimido, expresada como la masa de las partículas sólidas con un máximo de tamaño de las partículas límites. Los métodos de ensayo son adecuados para determinar la pureza clases de conformidad con la norma ISO 8573-1. Muestra el contenido de partículas basado en el recuento de partículas.

g. Norma ISO 8573-6:2003 Métodos de ensayo para el contenido de contaminantes gaseosos. Ofrece una selección adecuada de métodos de ensayo para la medición de la contaminación por gases de aire comprimido. Especifica técnica de muestreo, medición y evaluación, la incertidumbre y consideraciones para la presentación de informes aplicables gases contaminantes de monóxido de carbono, dióxido de carbono, dióxido de azufre, óxido nítrico, dióxido de nitrógeno, hidrocarburos y en la serie C<sub>1</sub> a C<sub>5</sub>

h. Norma ISO 8573-7:2003 Método de ensayo para viable el contenido de contaminantes microbiológicos. Especifica un método de ensayo para distinguir viable, formadoras de colonias, organismos microbiológicos (por ejemplo, levaduras, bacterias, endotoxinas) de otras partículas sólidas que pueden estar presentes en aire comprimido. Uno de una serie de normas encaminadas a armonizar las mediciones de la contaminación del aire, que proporciona un medio de la toma de muestras, incubación y determinar el número de partículas microbiológicas. El método de ensayo es adecuado para determinar la pureza clases de conformidad con la norma ISO 8573-1, y está destinada a ser utilizada en conjunción con la norma ISO 8573-4,

cuando hay necesidad de identificar las partículas sólidas que también son viables, las unidades que forman colonias.

i. Norma ISO 8573-9:2004 Métodos de ensayo para el contenido de agua líquida. Especifica los métodos de ensayo para la determinación del contenido de agua líquida en aire comprimido, expresado como el agua líquida concentración en masa. Los métodos y limitaciones también se especifican. Uno de una serie de normas encaminadas a armonizar los métodos de la contaminación del aire, identifica las técnicas de muestreo, se especifican los procedimientos de medición y también las necesidades de evaluación, la incertidumbre y las consideraciones de presentación de informes para la pureza del aire parámetro agua líquida. Los métodos de ensayo son adecuados para determinar la pureza clases de conformidad con la norma ISO 8573-1. (Contenido de vapor de agua se aborda en la norma ISO 8573-3.)

#### D. Factores económicos

1. Costo de la energía eléctrica	Q 3.15 kW/h
2. Costos del diseño preliminar	\$ 915.00
3. Costos de montaje	Q 5,000.00

#### E. Operación y mantenimiento

1. Tiempo de operación del equipo 8:00 – 17:30 horas, lunes a viernes

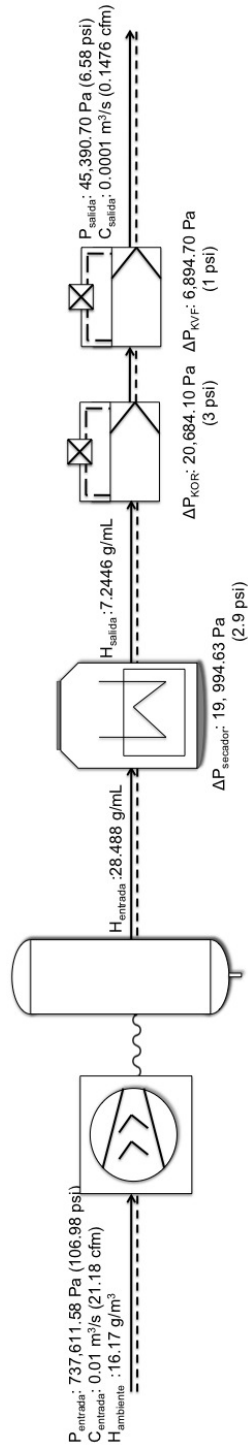
El tiempo de operación del equipo diario: 3 horas de lunes a viernes y 1 hora los días sábado. Excepciones: Cuando hay producción alta y es necesario el uso del sistema durante 3 horas los días sábados, que se aplique para un día ordinario de trabajo de 8 horas.

2. Nivel de instrumentación automática. El nivel de automatización que se va a utilizar es el básico que ya trae el equipo de fábrica, correspondiente al panel de control que incluyen controles de presión, temperatura, horas de trabajo.

# VIII. RESULTADOS

## A. Diagrama de flujo


Figura 8: Diagrama de flujo



## B. Selección del equipo


### 1. Compresor

*Cuadro 4: Especificaciones del Compresor de Tornillo*

Diagrama	Característica	Especificación
	Modelo:	Airtower 5C
	Potencia:	3.7300 kW (5 hp)
	Rango de presión:	551,576 Pa - 1,496,149.9 Pa (80 psi - 217 psi)
	Presión máxima de trabajo:	861,837.5000 Pa (125 psi)
	Sistema de control:	Sigma control basic
	Capacidad a 125 psig:	0.0099 m <sup>3</sup> /s (21 cfm)
	Dimensiones (largo x ancho x alto):	0.6096 x 0.9906 x 1.4732 m (24 x 39 x 58 plg)
	Peso:	289.8455 kg (639 lb)
	Nivel de sonido:	68 dB(A)
	Conexión eléctrica:	208/230/460 V 3 fases 60 Hz


### 2. Secador

*Cuadro 5: Especificaciones del secador*

Diagrama	Característica	Especificación
	Modelo:	Secador frigorífico (intercambiador de calor de placas)
	Agente frigorífico	R134 a
	Presión diferencial	19,994.6300 Pa (2.9 psi)
	Punto de rocío	+6°C

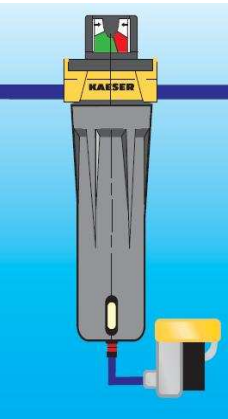
### 3. Depósito de aire comprimido

*Cuadro 6: Especificaciones depósito de aire comprimido*

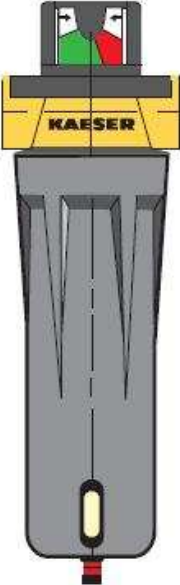
Diagrama	Característica	Especificación
	Capacidad:	215 L
	Medidas (ancho x profundidad x altura):	620 x 980 x 1480 mm

### 4. Filtros

*Cuadro 7: Especificaciones de filtro para remoción de aceite (filtro para aerosoles extrafinos)*


Diagrama	Característica	Especificación
	Modelo	Filtro KOR-35
	Flujo de aire a 689,470 Pa (100 psig)	0.0165 m <sup>3</sup> /s (35 cfm)
	Tamaño de conexión	0.0127 m (½ plg) NPTF
	Características estándar de los filtros	Drenaje interno automático, Indicador de presión diferencial tipo regleta Indicador de nivel de líquido
	Presión máxima de trabajo	1,723,675 Pa (250 PSIG)
	Dimensiones (alto x ancho)	0.1080m x 0.2858 m (4 ¼ plg x 11 ¼ plg)
	Peso	3.7421 kg (8 ¼ lb)
	Instalación	Después del secador refrigerativo
	Remoción de líquidos	99.99% de aceite
	Capacidad de saturación de líquidos	1,000 ppm w/e
	Remoción de partículas sólidas	0.01 micrones
	Peso de aceite	0.01 ppm w/w
	Caída de presión	6,894.7 Pa (1 psi) seco, 20,684.10Pa (3 psi) mojado

Cuadro 8: Especificaciones para filtro para absorción de vapores de aceites

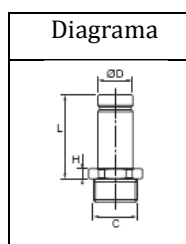
Diagrama	Característica	Especificación
	Modelo	Filtro KVF-35
	Flujo de aire a 689,470 Pa (100 psig)	0.0165 m <sup>3</sup> /s (35 cfm)
	Tamaño de conexión	0.0127 m (½ plg) NPTF
	Características estándar de los filtros	Drenaje manual, Indicador de nivel de líquido No requiere drenaje
	Presión máxima de trabajo	1,723,675 Pa (250 PSIG)
	Dimensiones (alto x ancho)	0.1080m x 0.2858 m (4 ¼ plg x 11 ¼ plg)
	Peso	3.7421 kg (8 ¼ lb)
	Instalación	Después de filtros de remoción de aceites Después de secador refrigerativo
	Remoción de líquidos	0 %
	Capacidad de saturación de líquidos	0 ppm w/e
	Remoción de partículas sólidas	0.01 micrones
	Peso de aceite	0.003 ppm w/w
	Caída de presión	6,894.7 Pa (1 psi)seco, N/A mojado

## 5. Tubería

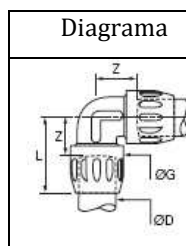
Cuadro 9: Especificaciones tubo de aluminio

Diagrama	Característica	Especificación
	Marca	Transair Legris
	Modelo	1016A25 040
	Diámetro interno	25 mm (7/8 plg)
	Largo de tubo	6.0961 m (20 pies)
	Presión máxima de servicio	13 bar de -20°C a +60°C
	Temperatura de servicio	-20°C a +60°C
	Temperatura de almacenamiento	-40°C a +80°C
	Características	Material auto-extinguible Sin propagación de llama Material 100% reciclable

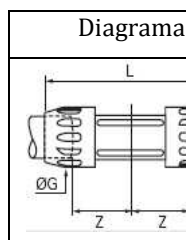
Cuadro 10: Especificaciones para accesorio de tubería Conector para tubo macho NPT

Diagrama	Modelo	ØD	C	L	H
	6621 25 35	25 mm	R1 plg	49.0 mm	7 cm

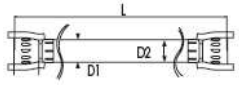
Cuadro 11: Especificaciones para accesorio de tubería Codo 90°

Diagrama	Modelo	ØD	ØG	L	Z
	6602 25 00	25 mm	44.5 mm	68.0 mm	40.0 mm

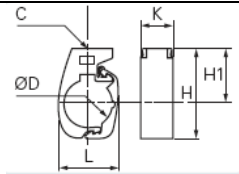
Cuadro 12: Especificaciones para accesorio de tubería Unión doble igual

Diagrama	Modelo	ØD	ØG	L	Z
	6602 25 00	25 mm	44.5 mm	151.1 mm	48.0 mm

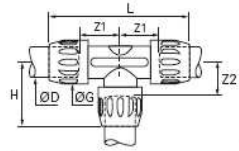
Cuadro 13: Especificaciones para Tubería flexible para redes de aire comprimido

Diagrama	Modelo	D1	D2	L	Radio de curvatura mini	Para línea Transair
	1001E25 00 01	38 mm	25 mm	0.570 m	100 mm	25 mm

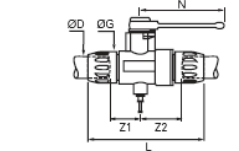
Cuadro 14: Especificaciones para accesorio de tubería Clip de fijación para tubería de aluminio

Diagrama	Modelo	ØD	C	H1	H2	K	L
	6697 25 00	25 mm	M6X1	46 mm	65.5 mm	30 mm	38.5 mm

Cuadro 15: Especificaciones para accesorio de tubería Cople Té igual

Diagrama	Modelo	ØD	G	H	L	Z1	Z2
	6604 25 00	25 mm	44.5 mm	67.5 mm	151.1 mm	48 mm	40 mm

Cuadro 16: Especificaciones para accesorio de tubería Válvula doble igual con purga

Diagrama	Modelo	ØD	G	L	N	Z1	Z2
	4088 25 14	25 mm	44.5 mm	152 mm	108.5 mm	40 mm	55 mm

## C. Análisis económico

*Cuadro 17: Análisis económico de rentabilidad del equipo nuevo*

	Equipo actual	Equipo nuevo
Porcentaje de producción	50%	100%
Flujo de caja total	Q1,885,520.00	Q 3,103,735.52
Valor actual neto (VAN)	Q847,368.96	Q 1,361,583.99
Período de recuperación de la inversión (PRI)	----	2.14 meses
Punto de equilibrio (unidades a producir)	420,245	210,122

## D. Fotos de equipo nuevo

### 1. Fotos de compresor

*Figura 9: Compresor Airtower 5C*



*Figura 10: Interior derecha de compresor*



*Figura 11: Interior izquierda del compresor*



*Figura 12: Compresor de tornillo*



*Figura 13: Motor de compresor de tornillo*



*Figura 14: Secador frigorífico*



*Figura 15: Filtros KOR35 y KVF35 respectivamente*



## 2. Fotos de instalación de tubería equipo nuevo

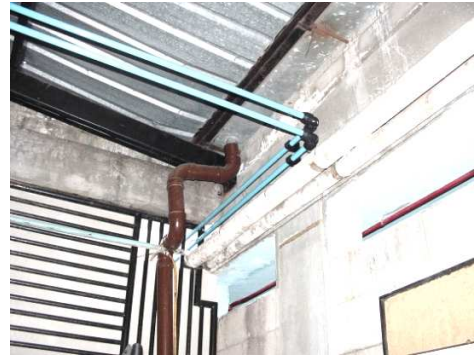
*Figura 16: Tubería de salida del compresor, manguera flexible y válvula de alivio*



*Figura 17: Conexión de tubería a la salida del compresor y unión con los filtros*



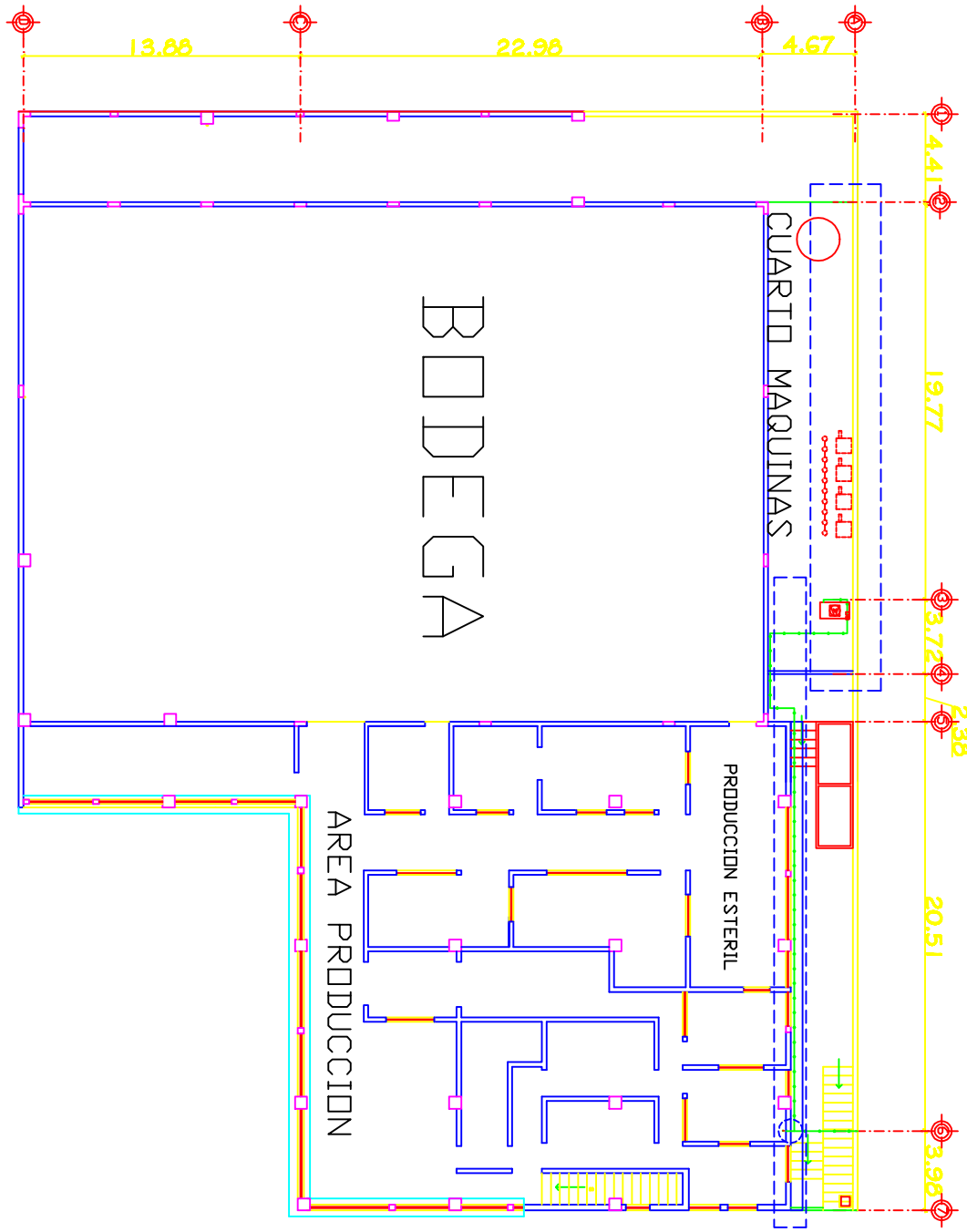
*Figura 18: Tubería a la salida del cuarto de máquinas hacia distribución*



*Figura 19: Tubería hacia área de uso*



## E. Planos del sistema de aire comprimido



BODEGA

CUARTO MAQUINAS

AREA PRODUCCION

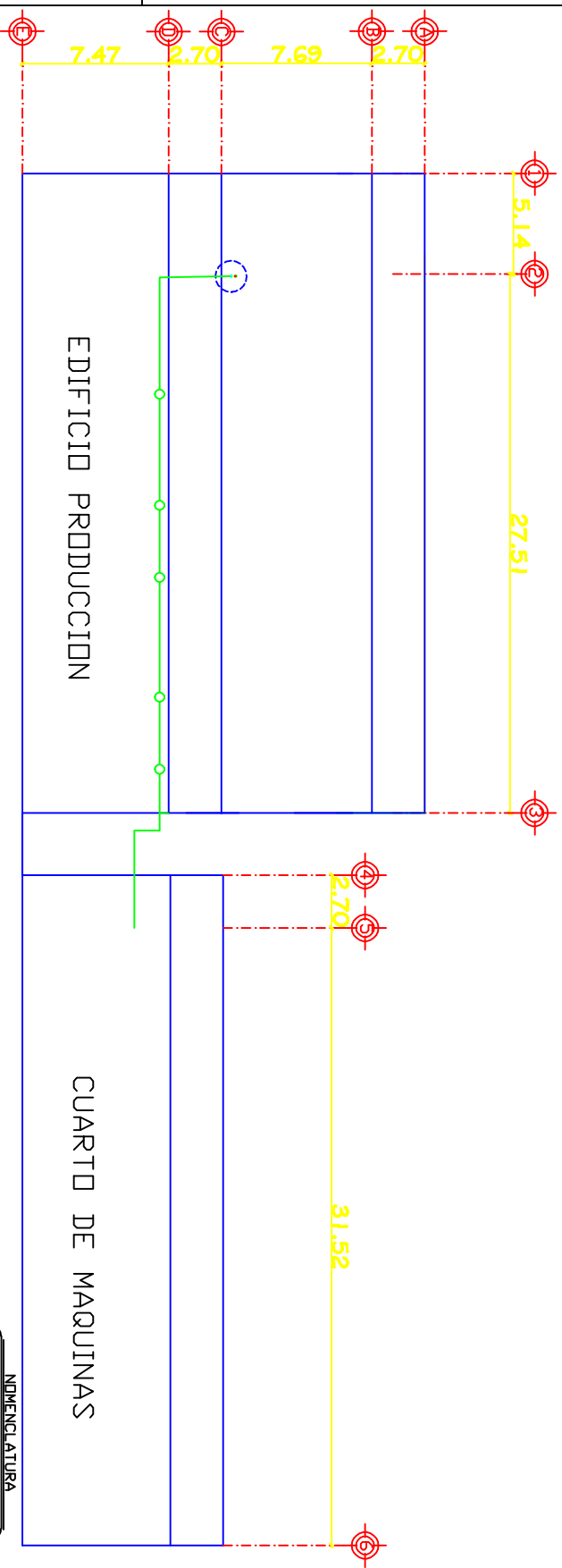
PRODUCCION ESTERIL

**NOMENCLATURA**

TUBERIA PARA AIRE  
 CODO A 90° VERTICAL  
 COMPRESOR AIRTOWER SC

DISEÑO DEL SISTEMA DE AIRE COMPRESADO EN UVA INDUSTRIA FARMACEUTICA QUE CUMPLA CON LAS BUENAS PRACTICAS DE MANUFACTURA NORMA 92 PROYECTO PLANTA EDIFICIO ACTUAL AIRE COMPRESADO (VISTA PLANTAS) TITULO: MANEJO, PERCEPCION, CARGA TITULO: MANEJO, PERCEPCION, CARGA FECHA: 14 DICIEMBRE 2009	No. Hoja 1 / 3
--	-------------------





EDIFICIO PRODUCCION

CUARTO DE MAQUINAS

NOMENCLATURA

	<p>TUBERIA PARA AIRE CODO A 90° VERTICAL</p>
--	--

DISEÑO DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO EN UNA INDUSTRIA FARMACEUTICA QUE CUENTA CON LAS SIGUIENTES FUNCIONES DE MANUFACTURA NORMA 92	
PROYECTO	MANUAL EQUIPO ACTUAL, AIRE COMPRIMIDO (VISTA ELEVACION)
TRABAJO	MANOSIL, PERFORA CABRETA
TRABAJO	MANOSIL, PERFORA CABRETA
FECHA	14 ENERO 2009
NO. HOJA	3 / 3

## IX. DISCUSIÓN

En este trabajo de graduación se desarrolló un estudio y diseño sobre el sistema de aire comprimido en una industria farmacéutica, con vistas para que se realizaran cambios en la línea del sistema; esto con el fin de tener un aire que cumpliera con estándares de calidad presentados por el Ministerio de Salud a través de las Buenas Prácticas de Manufactura. El equipo con que se contaba no satisfacía la demanda de aire que era necesaria para las producciones, debido a que éste se utilizaba en dos líneas de producción, la primera se empleaba para agitar por medio de agitación de burbujeo y la otra para filtrar producto estéril.

Para desarrollar el estudio se contrató a una empresa proveedora de equipo para la producción de aire comprimido, utilizando así los servicios de la empresa externa KAESER COMPRESSORES. La contratación de los servicios de dicha empresa se utilizó con la necesidad de suplir equipos de medición para el estudio, con ello se determinó la capacidad del compresor así como la demanda de aire que se necesitaba para realizar el dimensionamiento de equipo y toda la línea de tubería, incluyendo también el tratamiento que requiere el aire hasta obtener un aire lo más estéril y limpio posible.

El estudio consistió en un análisis de demanda de aire, los equipos utilizados fueron un data logger ADA, kilowatímetro trifásico, transductor de presión y un opto acoplador para carga/vacío y las mediciones realizadas para obtener datos necesarios fueron 14 días, desde el 18 de septiembre al 1 octubre del 2008, con estas mediciones se obtuvieron datos presión en generación del compresor, demanda de aire (entrega de aire), y el consumo eléctrico; por lo que los datos obtenidos para el dimensionamiento del equipo necesario fue la presión en PSI, demanda de aire en CFM y el consumo eléctrico en kW.

Durante el desarrollo del estudio se identificó un área de oportunidad ya que para poder realizar las mediciones se necesitaba de un compresor trifásico y el compresor que se tenía en la empresa era monofásico, por lo que no se podía realizar la medición. La solución adecuada a este problema fue realizar un acuerdo con KESER COMPRESORES, en el cual ellos nos apoyarían con brindarnos un compresor con capacidad mayor sin costo alguno. El compresor que se tenía inicialmente por efectos del caso se definió como *equipo actual*, este tiene una capacidad de 2.2371 kW (3 hp) y el compresor que fue prestado tenía una capacidad de 3.7285 kW (5 hp), el equipo utilizado fue un compresor KAESER SX6 0.0099 m<sup>3</sup>/s (21 cfm); a pesar de tener un equipo con mayor potencia la data obtenida presentó caídas de presión en períodos muy cortos de tiempo, el compresor se mantuvo a una carga total de 0.0106 m<sup>3</sup>/s (22.44 cfm) como máximo lo cual exigía un consumo eléctrico de 3.93 kW y con una presión de generación de 727,397 Pa (105.50 psi), durante el proceso fueron presentadas Gráficas en las cuales se observaron caídas de presión y consumos energéticos altos. Estos indicadores influyeron al tomar la decisión y realizar un cambio en el compresor actual sino y

también en la línea de tubería. El plan de acción a desarrollar fue hacer dos líneas independientes la una de la otra, es decir individuales, una línea para la distribución de aire estéril y la otra línea para el uso de la agitación por burbujeo; siendo importante mencionar que el desarrollo de la tesis está enfocado solamente en el área estéril.

En el Apéndice 1, sección 1 y 2, se observan fotos del compresor que se tenía instalado junto con la línea de tubería, esta es una línea no adecuada para el aire comprimido, ya que el estado de mantenimiento e instalación de la misma son incorrectos. Otro aspecto a tomar en cuenta es que el material utilizado es hierro galvanizado, un material no adecuado para manejo de aire comprimido debido a que no cumple con normas de sanidad.

Con la recaudación de información y resultados del estudio, se realizó un diagrama de funciones para tener una visión amplia de cómo realizar el balance de masa y energía, para comprobar si el equipo propuesto por los proveedores respecto al estudio era el correcto, KAESER COMPRESORES propuso un compresor de 3.7285 kW (5 hp), teniendo una demanda máxima de 0.0099 m<sup>3</sup>/s (21cfm), esto según el estudio presentado dictaba que al tener líneas independientes el compresor propuesto era suficientemente eficiente en cuanto a la generación y a la demanda de aire necesaria en el uso que se le iba a dar.

En este caso la tarea del compresor es filtrar productos estériles, partiendo de esta premisa se inició a comprobar si esto era correcto; se tomaron datos de presión y caudal para realizar el balance de masa, se realizaron promedios de los días en que se trabajó el área a estudiar, a la vez obteniendo valores máximos y mínimos de las dos variables a utilizar para el balance.

Como primer paso se realizaron las conversiones a las unidades respectivas tomando de referencia el Sistema Internacional (SI), tendiendo como base un mismo sistema de medidas a todas las unidades se procedió a trabajar los cálculos correspondientes. Segundo, debido a que se estaba trabajando con aire, considerado un flujo de fluidos compresible, las relaciones utilizadas son para fluidos compresibles, según McCabe, el parámetro principal del flujo de fluidos compresibles en función de densidades ordinarias y velocidades elevadas es el número de Match, el cual es una relación entre la velocidad del fluido y la velocidad del sonido en el fluido; respecto a ello para el sistema en estudio se encuentra que en intervalos de velocidades elevadas el número de Match es próximo a la unidad. Aunque el rango de velocidades en el que se trabajó no fue tan alto, el rango de presiones sí lo era, esto determinó que el número de Match fuera igual a la unidad; tomando en cuenta las suposiciones que el fluido es un gas ideal de calor específico constante, nos lleva a utilizar la ley del gas ideal para la determinación de la caída de presión por tubería, además se utilizó la tabla de propiedades termodinámicas expuesta en el Apéndice 2 sección 4, donde se compararon las propiedades críticas del aire (teóricas) y las condiciones experimentales.

Los valores experimentales de temperatura y presión máxima correspondientes son 20 °C (293.15 K) y 105.4961 psi (7.2737 bar = 727,370 Pa), comparando con las condiciones críticas -140.95 °C (132.2 K) y 3,745,000 Pa (37.45 bar), se observa que es factible utilizar ley de gases

ideales, en función de presión y temperatura, porque se tiene una presión menor a la crítica y una temperatura mayor a la crítica, esto hace que se cumpla la ley de gases ideales y así obtener la caída de presión por tubería.

Para poder utilizar la ley de gases ideales era necesario tener la densidad del aire a la temperatura y presiones de operación, tomando como referencia presión promedio, máxima y mínima, para ello se utilizaron las tablas de densidad del aire, Apéndice 2 sección 2, realizando interpolaciones dobles para determinar la densidad de cada presión, siendo el parámetro variable; se comprobó que existiera linealidad entre las densidades obtenidas realizando regresiones lineales por cada dato a encontrar y así obtener por medio de la ley de gases ideales la caída de presión por tubería dando como resultado un valor de 801.9998 Pa (0.1163 psi).

Otra suposición realizada fue que el efecto por la gravedad es despreciable así como la energía potencial mecánica, además el gradiente de velocidad dentro de la sección transversal es despreciable y por lo tanto el factor de corrección para la energía cinética ( $\alpha$ ) y el factor de corrección de cantidad de movimiento ( $\beta$ ) son igual a la unidad, con estas suposiciones se utilizaron relaciones como la ecuación de continuidad para obtener la velocidad mínima, el balance de energía mecánica (correspondiente a la ec. 6.5 McCabe), para obtener la de presión total mínima y máxima a utilizar en la generación del aire y la ecuación de estado de los gases ideales (correspondiente a la ec. 6.10 McCabe), para obtener la caída de presión por tubería, además no se utilizaron caídas de presión por accesorios ya que al ser un fluido compresible la caída de presión por accesorios es despreciable a la vez como son tubos lineales y dispositivos pequeños la caída de presión en gases es mínima excepto en filtros y secadores.

Con estas relaciones se llegó a tener una presión mínima y máxima que corresponden al balance de masa y energía como  $P_{\text{salida}}$  y  $P_{\text{entrada}}$  respectivamente, los resultados obtenidos fueron 45,390.7083 Pa (6.5834 psi) y 737,611.5830 Pa (106.9824 psi) respectivamente, esto nos indica que la presión mínima teórica que esta por encima de la mínima práctica y a la que puede llegar a operar el equipo en caso necesario si fuera necesario descompresionar, además según datos del proveedor el equipo a utilizar cubre una demanda de presión hasta 861,845 Pa (125 psi), como máximo y como máximo el proceso requiera un valor de 737,618 Pa (106.9824 psi), es decir que se cubre una demanda de presión suficiente para poder trabajar sin que existan caídas de presión severas; pero en la presión mínima se puede notar que el equipo requiere una presión mínima de trabajo de 47,231.4094 Pa (6.8504 psi) para poder descompresionar como se mencionó anteriormente y se está obteniendo un valor de 45,390.7083 Pa (6.5834 psi), lo que hace notar que es factible el uso del compresor propuesto por el proveedor ya que queda comprobado que el rango necesario para poder trabajar está en los límites necesarios y que no existan caídas de presión severas, aunque en proceso es necesario tener una presión de 206,843 – 275,790 Pa (30 – 40 psi) para poder realizar la tarea de filtración y este equipo da la presión necesaria para poder realizar este proceso.

La implementación de filtros y secador de aire fueron necesarios ya que el aire comprimido para el uso farmacéutico debe cumplir con normas sanidad, el equipo a utilizar incluye un secador frigorífico que tiene una caída de presión de 19,994.6300 Pa (2.9 psi); un filtro para remoción de aceite (filtro para aerosoles extrafinos) con una caída de presión de 20,684.1000 Pa (3 psi), filtro para absorción de vapores de aceites, con una caída de presión de 6894.7000 Pa (1 psi,) además con un depósito de aire comprimido, lo cual estos son los equipos para el tratamiento del aire (ver sección de resultados para fotos del equipo y Apéndice 2 sección 10 y 11 para catálogo del equipo y filtros).

Este estudio no sólo se quedó en el dimensionamiento del equipo sino que en la instalación de toda la línea de aire comprimido que consta de tubería y accesorios, para ello el proveedor KAESER trabajó con tubería de aluminio la cual se puso en discusión si era factible o no utilizarla según las normas de Buenas prácticas de manufactura (BPM), pero en ellas no se mencionaba el tipo de material a utilizar en la instalación de tubería "...dichas tuberías o cañerías serán construidas con materiales adecuados para proteger el fluido que conduzca y prever eventual fuga.... " por lo que al tener una base con respaldo de las BPM, se decidió utilizar tubería de aluminio (Transair Legris) para toda la instalación no sólo porque el aluminio es reciclable si no que a la vez es una tubería que tiene la superficie interior lisa, es de fácil instalación y no produce corrosión; en esta tubería se eligió un tamaño nominal de tubería 0.0254 m (1 plg) que corresponde en tubería de aluminio de 25 mm, tomando en cuenta las condiciones del aire comprimido, para la instalación de la tubería no se podía realizar una red de distribución en circuito ya que sólo se tenía un punto final, por lo que se decidió realizar la instalación en forma directa sin retorno de aire (ver planos de instalación en resultados).

En la distribución de aire comprimido según los planos presentados en los resultados, se puede observar que no hay utilización de muchos accesorios, sólo accesorios de conexión de tuberías, y válvulas de alivio, esto se realizó con el motivo de que no existiera mucha caída de presión, aunque se esté trabajando con aire, que en este caso es un flujo de fluido compresible y que se tomó como un gas ideal, siempre existen caídas de presión por accesorios, aunque se desprecian al realizar los cálculos por ser muy pequeñas, al momento de la utilización del aire si pueden afectar en la demanda de consumo, y por el mismo motivo se tomó la decisión de realizar un diseño de tubería que fuera directo hacia el punto de consumo.

Como todo diseño, es necesaria la parte de análisis económico para saber si es rentable o no el proyecto, y si es factible realizar alguna inversión parcial o total, y así poder realizar cambios en los sistemas, que en este caso el sistema de aire comprimido; para ello fue necesario realizar cotizaciones no solamente respecto al equipo de generación, sino que de tubería y sus accesorios correspondientes, mano de obra de instalación, mantenimiento del equipo, costos energéticos; además para que tenga validez y saber el tiempo de recuperación de la inversión fue necesario utilizar datos de algún producto a fabricar y poder realizar comparaciones de tiempo de producción,

si hay devoluciones, costos fijos y variables; el producto que se escogió fue un colirio con un precio de venta de Q1.32 y un precio de costo de producción de Q0.83.

Haciendo la aclaración que todos los porcentajes y costos fueron dados por el financiero de la empresa como lo fueron los costos variables, fijos, costos de gastos energéticos y precios de venta y costos de producción, así como los porcentajes por devolución de producto; además todos los datos proporcionados fueron para realizar cálculos de horas anuales, por lo que se tomó en cuenta que en un mes se trabajarían 20 días y en un año 11 meses, para el uso en días el equipo actual trabajaría 5 horas diarias y el equipo nuevo 3 horas diarias. Además todos los datos dados estaban en dólares y se tomó un cambio de Q7.69 para el día en que se realizaron cotizaciones para la inversión del equipo (con fecha 13/11/2008) que se detallará más adelante, con una tasa de interés de prestamos bancarios y de tasa de riesgo de 18% para obtener el Valor Anual Neto (VAN) y una tasa de impuesto sobre la utilidad de 31%, los cuales se detallarán más adelante en el flujo de caja y los costos de inversión de equipo son sin el 12% de IVA.

Para la realización de los costos de inversión del equipo y de instalación fue necesario solicitar cotizaciones e identificar que tipo de equipo era el adecuado según especificaciones requeridas para el sistema que en este caso era un compresor con una capacidad de 3.7285 kW (5 hp) y 0.0099 m<sup>3</sup>/s (21 cfm) de flujo, además que contara con un secador y depósito de aire comprimido; por lo que se escogió un equipo que traía todo lo necesario para darle un buen tratamiento al aire, fue un AIRTOWER 5C, es de la serie SXC, según el catálogo del compresor es una solución óptima para el ahorro de espacio, además incluye un secador frigorífico y el depósito de aire comprimido están unidos al compresor de tornillo en una sola instalación y por esta razón no necesitan de espacio adicional, además produce un aire libre de condensados, de nivel bajo sonoro, bajo consumo energético y de alta fiabilidad; a pesar de ser un equipo completo es de bajo costo, ya que al comprar cada componente por separado la inversión era mayor y el espacio que ocupaba era mucho mayor al equipo elegido, el costo de inversión del equipo fue de Q38,447.81 esto tomando en cuenta que el valor dado por el proveedor que en este caso fue KAESER era en dólares; además de esto sea agregaron dos tipos de filtros el primero fue un filtro para la remoción de aceite y el segundo filtro fue uno para la absorción de vapores, y el costo de estos dos filtros fue de Q279.00 y Q271.00 respectivamente, además de este costo se agregó el flete con un costo de Q432.62, finalmente la inversión del equipo fue de Q43,110.54.

En el costo de inversión total se incluyeron costos de instalación del equipo, línea de tubería, costos de conexión eléctrica y un 10% de contingencias; para ello se solicitaron cotizaciones a proveedores, entre los cuales se tenían dos tipos de proveedores, el primero al que se le compró la tubería y otro que realizó la instalación, este último realizó el desmontaje y montaje de toda la línea de tubería, para ello se obtuvo un costo de costos extras de Q18,400.36; se obtuvieron ciertos factores de porcentajes respecto al costo total de la inversión del equipo, esto con el fin que exista una referencia para poder realizar inversiones similares, estos porcentajes fueron, para la tubería de

aluminio fue de 22.486%, para tubería de acero inoxidable fue de 4.569%, costo de instalación de tubería 5.272% y costo de conexión eléctrica 0.686%, finalmente se obtuvo una inversión de equipo e instalación de Q61,510.90.

Con el costo de inversión del equipo de generación se realizó la depreciación del mismo por el método SMARC, el cual indica la reducción en el valor del equipo, el cual se depreció a 10 años, para ello se utilizó el Apéndice 2 sección 5, donde indican las tasas de recuperación aplicadas al costo inicial del equipo, que en este caso es el costo de inversión.

En el análisis económico se realizó una comparación de producción del equipo actual y el equipo nuevo, con el equipo actual se tenían paros por demanda de aire, ya que la generación no era suficiente para mantener la presión de trabajo requerida por las áreas de trabajo, por lo que se puso un 50% de producción en el equipo actual y un 100% de producción el equipo nuevo, se puede notar que se está duplicando la producción en función del tiempo de producción, ya que no existen paros, y no en función de cantidad de producto, pues la planta no tiene la capacidad de duplicar su producción; ya que al año se producen 520,000 unidades y esto se trabajó como el 100% de producción sin tener paros ni atrasos por lo que el 50% fue de 260,000 unidades.

Se vieron involucrados los costos fijos y variables, en los costos fijos se incluyen gastos por salarios y energía eléctrica consumida; como la cantidad de personal y la energía eléctrica eran los mismos para las dos opciones se quedó con un porcentaje de costos fijos respecto el precio de venta de 30% y a su vez respecto a la cantidad de unidades producidas, con respecto al costo variable si cambió en las dos opciones, para el equipo actual fue de 5% y el equipo nuevo de 2.5%, en este caso en el equipo actual el costo variable fue el doble que en equipo nuevo, esto se realizó de la siguiente manera: en los costos variables se incluyeron costos de equipo auxiliar como lo son guantes, mascarillas, trajes estériles, utensilios de limpieza; y al tener paros por producción estos costos eran el doble, debido a que el personal tenía que parar la producción y esperar para poder utilizar el aire nuevamente, en donde el personal salía de sus áreas de producción y al entrar volvía utilizaba accesorios nuevos necesarios para entrar al área, esto involucraba costos que variaban dependiendo de cuanto personal entrara al área.

Entre los costos variables se enfatizó un costo por devolución de producto (como costo extra), este se tomó en cuenta ya que afectaba los ingresos y retornaba pérdidas en el producto terminado y en materia prima para su producción. En la devolución se tomó en cuenta un porcentaje de 8% para el equipo actual y 1% para el equipo nuevo; respecto a la cantidad de unidades producidas.

Se realizó una comparación de costos energéticos para el equipo actual y equipo nuevo, tomando en cuenta la cantidad de horas trabajadas, partiendo que equipo actual trabajaba 3 horas y el equipo nuevo 1.5 horas, a pesar que el equipo actual era de menor capacidad 2.2371 kW (3 hp) que el equipo nuevo 3.7285 kW (5 hp) se obtuvieron costos energéticos menores en el equipo nuevo con un costo anual de Q2,744.91 para el equipo nuevo y Q5,489.81 estos costos fueron respecto al costo de kW-h que fue de Q2.23 (costo tomado de facturas de la empresa eléctrica).

Por ultimo se realizó el flujo de caja del equipo actual y del equipo nuevo y así poder expresar en forma resumida los ingresos, egresos e inversión obtenida durante 10 años.

En el flujo de caja del equipo actual se mencionan ingresos respecto a las unidades producidas, egresos en los que se incluyen costos variables y costos fijos, en este flujo de caja no incluye depreciación del equipo y costos de mantenimiento de equipo; estos últimos no se incluyen ya que el equipo está depreciado totalmente y no hay mantenimiento a realizar, además que no hay costo de inversión pues no se va a realizar alguna inversión ya que el equipo esta depreciado y no se va a hacer alguna modificación del mismo, por lo que se tuvo un flujo de caja total durante 10 años de Q1,885,520.00, con un Valor Anual Neto (VAN) de Q847,368.96 con un total de utilidad neta durante los 10 años de Q1,885,520.00; en este caso no varia la utilidad del flujo de caja ya que no existen cambios, como lo es la inversión de modificar el equipo actual, de realizarle algún mantenimiento y a la vez que tenga depreciación.

En el equipo nuevo se tiene los mismos aspectos solo que en este ya se incluye una depreciación del equipo y un valor de inversión, los ingresos y egresos varían ya que se están duplicando las producciones al realizar la instalación de un equipo nuevo y una línea nueva de aire comprimido, como se mencionó antes se tuvo una inversión de Q61,510.90, además de un flujo de caja total durante 10 años de Q3,103,735.52, con una utilidad neta durante los mismos 10 años de Q3,126,798.61, esta utilidad neta no se le está quitando el valor de la depreciación del equipo, ya que el valor de depreciación del equipo solo afecta indirectamente a los costos pero es tomando en cuenta cuando se realiza el flujo de caja y poder saber realmente cuanto es de utilidad; por lo que se obtuvo un Valor Actual Neto (VAN) de Q1,361,583.99; el cual al compararlo con el VAN del equipo actual se observa que es un valor mayor lo que indica que es rentable y que a su vez elimina el cuello de botella que se tiene, explicado anteriormente; en el flujo de caja del equipo nuevo se obtuvo la tasa interna de retorno (TIR) y poder saber la rentabilidad del proyecto como porcentaje la cual corresponde a un VAN igual a cero, la TIR obtenida fue de 515%, este valor no se pudo obtener del equipo actual ya que no existe inversión a realizarse; en este flujo de caja se obtuvo un periodo de recuperación de la inversión (PRI) de 2.14 meses, tomando en cuenta que se trabajará por 11 meses y se tendrá una producción de 43,333 unidades mensuales.

Finalmente se obtuvo el punto de equilibrio, este se realizó utilizando costos fijos, variables y totales, precio de venta y costo unitario del producto. Teóricamente el punto de equilibrio para que se pueda llegar a realizar la inversión, sin tener pérdidas debe estar entre 30% - 40%, se realizó el punto de equilibrio para los dos equipos, en el equipo actual se tuvo un punto de equilibrio de 31.58% tomando en cuenta una producción y venta de 210,122 unidades anuales; para el equipo nuevo se tuvo un punto de equilibrio de 30.77% para 420,245 unidades producidas y vendidas en un año; en este último si es posible realizar esta venta y producción ya que la rentabilidad del equipo es mucho mayor a la del equipo actual, a pesar que se esta duplicando el tiempo de producción y adquirir un equipo nuevo, es necesario saber si se va a producir utilidad o no, así como a qué nivel de

actividad comienza esa utilidad, por lo tanto al estar produciendo las 420,245 unidades se inicia a tener una mayor utilidad aunque, la inversión se recupere en 2.14 meses.

En conclusión el proyecto fue rentable y cumple con las Buenas Prácticas de Manufactura, este incluye tratamiento de aire como lo son el secador frigorífico y los filtros (KOR y KVF), así mismo cuenta con una tubería que cumple con normas farmacéuticas, que previenen fugas y a la vez es una tubería sanitaria; el proyecto fue rentable ya que se obtuvo un tiempo de recuperación de 2.14 meses y a la vez se está duplicando la producción en función del tiempo de producción.

## X. CONCLUSIONES

1. El equipo nuevo que cuenta de compresor de tornillo, secador, depósito de almacenamiento y filtros cumplen con el objetivo de tener un aire limpio y estéril para uso farmacéutico.
2. El compresor Airtower 5C que se diseñó cumple con la demanda y calidad de aire requeridos.
3. La instalación del sistema de tubería está diseñado para que no existan caídas de presión altas en función de los accesorios y longitud de tubería.
4. El proyecto es rentable con el equipo nuevo ya que se tiene una VAN mayor a la VAN del equipo actual, con valores de Q1,361,583.99 y Q847,368.96 respectivamente.

## XI. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda que la ubicación del compresor debe estar en un ambiente limpio y ventilado.
2. Se recomienda que el piso donde se instala el compresor sea resistente al fuego, techo y paredes y sin orificios entre ellos.
3. Se recomienda respetar las instrucciones de operación y servicio del fabricante.
4. Los elementos de los filtros KOR deberán ser reemplazados cuando la presión diferencial sea de 10 psig o anualmente, todo dependiendo del uso que tenga.
5. Los elementos de filtros KVF deberán ser reemplazados cada 1,000 horas de operación o anualmente, todo dependiendo del uso que tenga.
6. Revisión de tubería para el control de fugas.
7. Recomienda que no exista algo inflamable sobre el compresor como lo son líneas de cable.
8. Se recomienda que cualquier fuga de aceite debe ser tapada y contenida.
9. Se recomienda realizar el mantenimiento indicado en el manual de mantenimiento del compresor AirTower 5C para que la vida útil del equipo sea alta.
10. Se recomienda realizar análisis del aire comprimido para verificar si cumple con las normas de calidad requeridas por el proceso.

## XII. BIBLIOGRAFÍA

1. Cassani, Marcelo A. Actualización 2001. *Aire comprimido el fluido vital de las máquinas*. Argentina. <http://www.mantenimientomundial.com/sites/mmnew/bib/notas/10aire.asp>
2. Contrusur. Actualización 2006. *Artículo Calidad del aire comprimido*. <http://www.construsur.com.ar/Article13.html>
3. Contrusur. Actualización 2007. *Artículo Compresores de aire*, <http://www.construsur.com.ar/Article199.html>
4. Crisis energética. Actualización 2008. *Dibujo Compresor de piston líquido*. <http://www.crisisenergetica.org/forum/viewtopic.php?forum=4&showtopic=38202&show=40&page=4>
5. DIBICO, Catálogo 1303, *Medio de cultivo Bacteriología general, Agar de soya y tripticaseina con mug*, Mexico D.F 2002.
6. Dirección General de salud ambiental, *Manual Microbiologico de Análisis Alimento*, Lima Peru, actualización 2001, [http://74.125.47.132/search?q=cache:V-LxEIW\\_X00J:bvs.minsa.gob.pe/archivos/DIGESA/61\\_MAN.ANA.MICROB.pdf+agar+casoy&hl=es&ct=clnk&cd=38&gl=gt](http://74.125.47.132/search?q=cache:V-LxEIW_X00J:bvs.minsa.gob.pe/archivos/DIGESA/61_MAN.ANA.MICROB.pdf+agar+casoy&hl=es&ct=clnk&cd=38&gl=gt)
7. Howden Group Ltd.. Actualización agosto 2006. *Compresores*, <http://www.howden.com/es/Products/Compressors/default.htm>
8. Ingersoll Rand. Actualización 2004, *Guía sobre la calidad del aire*.
9. Ingersoll Rand. Actualización 2007. *Compresores de tornillo*, [http://air.ingersollrand.com/es/rotary\\_screw.asp](http://air.ingersollrand.com/es/rotary_screw.asp)
10. Kaeser Compresores. *Catálogo Airtower Series*. <http://www.kaeser.com.gt/Brochures/default.asp>
11. Kaeser Compresores. *Catálogo Compresor de tornillo Serie SXC "compact"*. <http://www.kaeser.com.gt/Brochures/default.asp>
12. Kaeser Compresores. *Catálogo Compressed Air Treatment for every application*. <http://www.kaeser.com.gt/Brochures/default.asp>
13. Kaeser Compresores. *Catálogo Filtros para aire comprimido*. <http://www.kaeser.com.gt/Brochures/default.asp>
14. Kaeser Compresores. *Catálogo Técnicas del Aire Comprimido*. <http://www.kaeser.com.gt/Brochures/default.asp>
15. Kaeser Compressor, *Instruction manual Compressed air filters*.
16. Kaeser Compressor, *Service Manual Screw Compressor AIRTOWER 3C-7.5C, Tri-Voltage*.

17. Legris Transair, *Catálogo de productos, Redes de aire inteligente* [www.transair.legris.com/en/index.htm](http://www.transair.legris.com/en/index.htm)
18. McCabe, W. et al. 2002. *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*. México D. F., México. Págs. 75, 141-142, 1160-1161.
19. MCD LAB, *Medios de Cultivo preparados en placa Catálogo 7034 Agar Dextrosa Sabouraud*, actualización 2009, México D.F. <http://www.mcd.com.mx/>
20. MCD LAB, *Medios de Cultivo preparados en placa Catálogo 7174 Agar Soya Trypticaseina*, actualización 2009, México D.F. <http://www.mcd.com.mx/>
21. NASA Neumática. Actualización 2007. *Compresores*, <http://www.nasaneumatica.com/awsHome.htm>
22. Particle Measuring System, *Basic Guide to Particle Counters and Particle Monitoring*, actualización 2008, [http://www.pmeasuring.com/wrap/filesApp/BasicGuide/file\\_1/basicguide.pdf](http://www.pmeasuring.com/wrap/filesApp/BasicGuide/file_1/basicguide.pdf)
23. Particle Measuring System, *Particle monitoring in high pressure gas lines*, actualización 2008, [www.pmeasuring.com](http://www.pmeasuring.com)
24. Santillana, Actualización 2007. *Dibujo de Compresor Rotativo*, [http://www.kalipedia.com/tecnologia/tema/robotica/graficos-compresor-volumetrico-rotativo.html?x1=20070821klpinginf\\_58.Ees&x=20070821klpinginf\\_112.Kes](http://www.kalipedia.com/tecnologia/tema/robotica/graficos-compresor-volumetrico-rotativo.html?x1=20070821klpinginf_58.Ees&x=20070821klpinginf_112.Kes)
25. Smith, J.M, et al. 2003. *Introducción a la Termodinámica en Ingeniería Química*. México D.F., México. Págs. 702, 705.
26. TARQUIN. et al. 4ta edición. *Ingeniería Económica*. México D.F, México. Capítulo 13 (Modelos de depreciación y de agotamiento)
27. Tecnología Industrial. Actualización 2005. *Producción, distribución y tratamiento del aire comprimido*, [http://www.tecnologiaindustrial.info/index.php?main\\_page=site\\_map&cPath=412&zenid=6a17d3227458ebcf833cb256243a8231](http://www.tecnologiaindustrial.info/index.php?main_page=site_map&cPath=412&zenid=6a17d3227458ebcf833cb256243a8231)
28. The engineering toolbox. Actualización 2005, *Air - Temperature, Pressure and Density* [http://www.engineeringtoolbox.com/air-temperature-pressure-density-d\\_771.html](http://www.engineeringtoolbox.com/air-temperature-pressure-density-d_771.html)

## XIII. APÉNDICE

### A. APÉNDICE 1

#### 1. Fotos de equipo actual

*Figura 20: Compresor de pistón*



*Figura 21: Cabezal del compresor*



*Figura 22: Cabezal de compresor*



*Figura 23: Motor del compresor*



*Figura 24: Válvula de seguridad*



*Figura 25: Medición de presión del depósito de aire*



*Figura 26: Manómetro de medición de presión*



*Figura 27: Conexión eléctrica de salida de aire*



*Figura 28: Válvula de purga del depósito de aire*



## 2. Fotos de línea de distribución actual

*Figura 29: Salida de aire comprimido (tubería amarilla), mancha de aceite del aire generado*



*Figura 30: Distribución de tubería dentro del cuarto de máquinas*



*Figura 31: Distribución de tubería dentro del cuarto de máquinas*

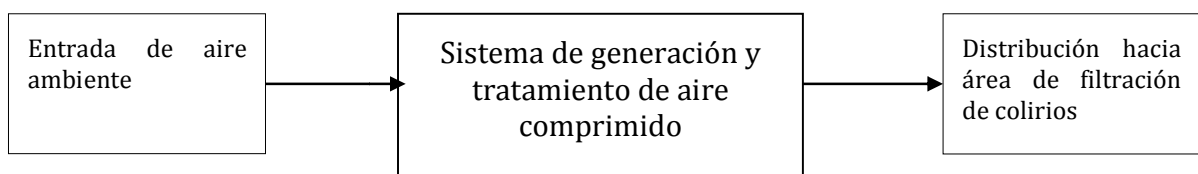


Figura 32: Distribución de tubería hacia puntos de uso



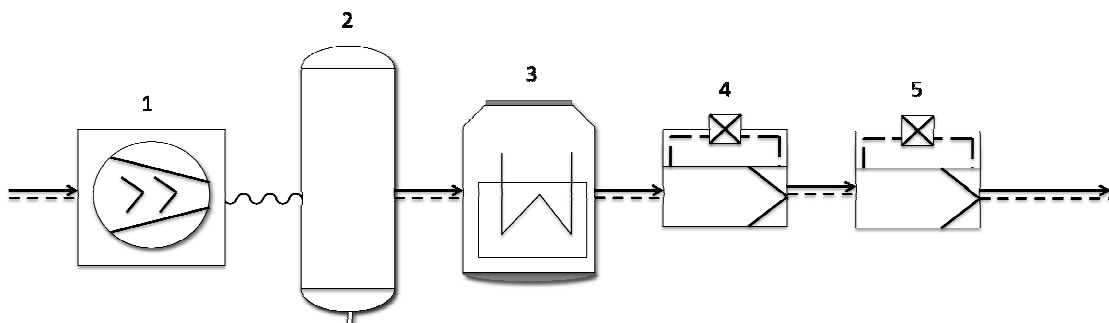
### 3. Diagrama de bloques

Figura 33: Diagrama de bloques

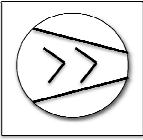

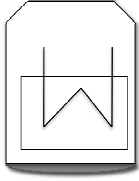
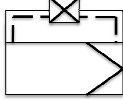
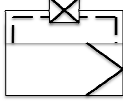


### 4. Diagrama de funciones

Figura 34: Diagrama de funciones



Cuadro 18: Identificación de cada equipo

Número	Símbolo	Nombre
1		Compresor de tornillo de 5 hp
2		Depósito de almacenamiento de aire comprimido de 215 L
3		Secador frigorífico (intercambiador de placas) con 6°C de punto de rocío
4		Filtro para remoción de aceite (filtro para aerosoles extrafinos)
5		Filtro para absorción de vapores de aceites

## 5. Datos originales

### a. Balance de masa y energía

*Cuadro 19: Medición por 5 días del flujo volumétrico en pies cúbicos por minuto (cfm) durante el mes de septiembre de 2008*

HORA	Jueves 18/09	Viernes 19/09	Sábado 20/09	Martes 23/09	Lunes 29/09	PROMEDIO SIN DESCONEXIÓN
8:47:30 AM			10.6679			10.6679
8:49:30 AM			10.6679			10.6679
8:51:30 AM			21.1881			21.1881
8:53:30 AM			10.6679			10.6679
8:55:30 AM			10.6679			10.6679
8:57:30 AM			5.4078			5.4078
8:59:30 AM			0.1476			0.1476
9:01:30 AM			15.9280			15.9280
9:03:30 AM						
9:05:30 AM			10.6679			10.6679
9:07:30 AM			15.9280			15.9280
9:09:30 AM			21.1881			21.1881
9:11:30 AM			5.4078			5.4078
9:13:30 AM			0.1476			0.1476
9:15:30 AM			10.6679			10.6679
9:17:30 AM						
9:19:30 AM			21.1881			21.1881
9:21:30 AM			10.6679			10.6679
9:23:30 AM			10.6679			10.6679
9:25:30 AM			10.6679			10.6679
9:27:30 AM			5.4078			5.4078
9:29:30 AM			0.1476			0.1476
9:31:30 AM			10.6679			10.6679
9:33:30 AM						
9:35:30 AM			10.6679			10.6679
9:37:30 AM			10.6679			10.6679
9:39:30 AM			10.6679			10.6679

Continuación Cuadro 19

HORA	Jueves 18/09	Viernes 19/09	Sábado 20/09	Martes 23/09	Lunes 29/09	PROMEDIO SIN DESCONEXIÓN
9:41:30 AM			10.6679			10.6679
9:43:30 AM			10.6679			10.6679
9:45:30 AM			0.1476			0.1476
9:47:30 AM			0.1476			0.1476
9:49:30 AM			10.6679			10.6679
9:51:30 AM						
9:53:30 AM			10.6679			10.6679
9:55:30 AM			10.6679			10.6679
9:57:30 AM			10.6679			10.6679
9:59:30 AM			10.6679			10.6679
10:01:30 AM			10.6679			10.6679
10:03:30 AM			10.6679			10.6679
10:05:30 AM			0.1476			0.1476
10:07:30 AM			5.4078			5.4078
10:09:30 AM			5.4078			5.4078
10:11:30 AM			10.6679			10.6679
10:13:30 AM			10.6679			10.6679
10:15:30 AM			5.4078			5.4078
10:17:30 AM						
10:19:30 AM						
10:21:30 AM						
10:23:30 AM						
10:25:30 AM						
10:27:30 AM						
10:29:30 AM						
10:31:30 AM						
10:33:30 AM						
10:35:30 AM			10.6679			10.6679
10:37:30 AM			10.6679			10.6679
10:39:30 AM			10.6679			10.6679
10:41:30 AM						
10:43:30 AM	15.9280		0.1476			8.0378

Continuación Cuadro 19

HORA	Jueves 18/09	Viernes 19/09	Sábado 20/09	Martes 23/09	Lunes 29/09	PROMEDIO SIN DESCONEXIÓN
10:45:30 AM	21.1881		21.1881			21.1881
10:47:30 AM	5.4078		10.6679			8.0378
10:49:30 AM	10.6679		10.6679			10.6679
10:51:30 AM	10.6679		21.1881			15.9280
10:53:30 AM	10.6679		15.9280			13.2979
10:55:30 AM	10.6679		0.1476			5.4078
10:57:30 AM	15.9280		0.1476			8.0378
10:59:30 AM	10.6679					10.6679
11:01:30 AM	10.6679					10.6679
11:03:30 AM	0.1476					0.1476
11:05:30 AM						
11:07:30 AM						
11:09:30 AM						
11:11:30 AM	10.6679					10.6679
11:13:30 AM	10.6679					10.6679
11:15:30 AM	10.6679					10.6679
11:17:30 AM	5.4078					5.4078
11:19:30 AM	10.6679					10.6679
11:21:30 AM	0.1476					0.1476
11:23:30 AM	5.4078					5.4078
11:25:30 AM	10.6679					10.6679
11:27:30 AM						
11:29:30 AM	10.6679					10.6679
11:31:30 AM	10.6679					10.6679
11:33:30 AM	10.6679					10.6679
11:35:30 AM	15.9280					15.9280
11:37:30 AM	0.1476					0.1476
11:39:30 AM	0.1476					0.1476
11:41:30 AM	5.4078					5.4078
11:43:30 AM	5.4078					5.4078
11:45:30 AM	10.6679					10.6679
11:47:30 AM						

Continuación Cuadro 19

HORA	Jueves 18/09	Viernes 19/09	Sábado 20/09	Martes 23/09	Lunes 29/09	PROMEDIO SIN DESCONEXIÓN
11:49:30 AM	5.4078					5.4078
11:51:30 AM	5.4078		21.1881			13.2979
11:53:30 AM	5.4078		15.9280			10.6679
11:55:30 AM	10.6679		0.1476			5.4078
11:57:30 AM	5.4078		21.1881			13.2979
11:59:30 AM	0.1476		5.4078			2.7777
12:01:30 PM	0.1476		0.1476			0.1476
12:03:30 PM	5.4078					5.4078
12:05:30 PM						
12:07:30 PM						
12:09:30 PM	10.5941					10.5941
12:11:30 PM	10.5941					10.5941
12:13:30 PM	21.1881					21.1881
12:15:30 PM	10.5941					10.5941
12:17:30 PM	10.5941	5.4078				8.0009
12:19:30 PM	10.5941	15.9280				13.2610
12:21:30 PM	10.5941	10.6679				10.6310
12:23:30 PM	10.5941	10.6679		0.1476		7.1365
12:25:30 PM	10.5941	10.6679		10.6679		10.6433
12:27:30 PM	10.5941	5.4078		10.6679		8.8899
12:29:30 PM	10.5941	5.4078		5.4078		7.1365
12:31:30 PM	10.5941	5.4078		10.6679		8.8899
12:33:30 PM	5.4078	10.6679		10.6679		8.9145
12:35:30 PM	5.4078			10.6679		8.0378
12:37:30 PM	0.1476	10.6679		10.6679		7.1611
12:39:30 PM	5.4078	15.9280		10.6679		10.6679
12:41:30 PM	10.5941	5.4078		0.1476		5.3832
12:43:30 PM	10.5941	5.4078				8.0009
12:45:30 PM	10.5941	10.6679				10.6310
12:47:30 PM	15.9280	5.4078				10.6679
12:49:30 PM	15.9280	5.4078				10.6679
12:51:30 PM	10.6679	10.6679				10.6679

Continuación Cuadro 19

HORA	Jueves 18/09	Viernes 19/09	Sábado 20/09	Martes 23/09	Lunes 29/09	PROMEDIO SIN DESCONEXIÓN
12:53:30 PM	0.1476	10.6679				5.4078
12:55:30 PM		10.6679				10.6679
12:57:30 PM		0.1476				0.1476
12:59:30 PM	5.4078					5.4078
1:01:30 PM	5.4078					5.4078
1:03:30 PM	5.4078					5.4078
1:05:30 PM	5.4078					5.4078
1:07:30 PM	5.4078					5.4078
1:09:30 PM	5.4078					5.4078
1:11:30 PM	5.4078					5.4078
1:13:30 PM	0.1476					0.1476
1:15:30 PM	5.4078					5.4078
1:17:30 PM	5.4078					5.4078
1:19:30 PM	5.4078					5.4078
1:21:30 PM	5.4078					5.4078
1:23:30 PM	5.4078					5.4078
1:25:30 PM	5.4078					5.4078
1:27:30 PM	5.4078					5.4078
1:29:30 PM	5.4078					5.4078
1:31:30 PM	5.4078					5.4078
1:33:30 PM	5.4078					5.4078
1:35:30 PM	5.4078					5.4078
1:37:30 PM	5.4078					5.4078
1:39:30 PM	5.4078					5.4078
1:41:30 PM	5.4078					5.4078
1:43:30 PM	5.4078					5.4078
1:45:30 PM	5.4078					5.4078
1:47:30 PM	5.4078					5.4078
1:49:30 PM	5.4078					5.4078
1:51:30 PM	0.1476					0.1476
1:53:30 PM						
1:55:30 PM						

Continuación Cuadro 19

HORA	Jueves 18/09	Viernes 19/09	Sábado 20/09	Martes 23/09	Lunes 29/09	PROMEDIO SIN DESCONEXIÓN
1:57:30 PM						
1:59:30 PM						
2:01:30 PM						
2:03:30 PM						
2:05:30 PM					0.1476	0.1476
2:07:30 PM		10.6679				10.6679
2:09:30 PM		5.4078			0.1476	2.7777
2:11:30 PM		5.4078			5.4078	5.4078
2:13:30 PM		10.6679			0.1476	5.4078
2:15:30 PM		5.4078			5.4078	5.4078
2:17:30 PM		5.4078			5.4078	5.4078
2:19:30 PM		10.6679			0.1476	5.4078
2:21:30 PM		5.4078			0.0000	2.7039
2:23:30 PM		5.4078			0.1476	2.7777
2:25:30 PM		10.6679			5.4078	8.0378
2:27:30 PM		5.4078			5.4078	5.4078
2:29:30 PM		5.4078				5.4078
2:31:30 PM		5.4078				5.4078
2:33:30 PM		0.1476				0.1476
2:35:30 PM		10.6679				10.6679
2:37:30 PM		10.6679				10.6679
2:39:30 PM						
2:41:30 PM		10.6679				10.6679
2:43:30 PM		10.6679				10.6679
2:45:30 PM		10.6679				10.6679
2:47:30 PM		10.6679				10.6679
2:49:30 PM		10.6679				10.6679
2:51:30 PM		5.4078				5.4078
2:53:30 PM		0.1476				0.1476
2:55:30 PM						
2:57:30 PM						
2:59:30 PM						

Continuación Cuadro 19

HORA	Jueves 18/09	Viernes 19/09	Sábado 20/09	Martes 23/09	Lunes 29/09	PROMEDIO SIN DESCONEXIÓN
3:01:30 PM						
3:03:30 PM						
3:05:30 PM						
3:07:30 PM						
3:09:30 PM		5.4078				5.4078
3:11:30 PM		5.4078				5.4078
3:13:30 PM		5.4078				5.4078
3:15:30 PM		5.4078				5.4078
3:17:30 PM		5.4078				5.4078
3:19:30 PM		5.4078				5.4078
3:21:30 PM		5.4078				5.4078
3:23:30 PM		5.4078				5.4078
3:25:30 PM		0.1476				0.1476
3:27:30 PM						
3:29:30 PM						
3:31:30 PM						
3:33:30 PM						
3:35:30 PM						
3:37:30 PM						
3:39:30 PM						
3:41:30 PM		5.4078				5.4078
3:43:30 PM		0.1476				0.1476
3:45:30 PM						
3:47:30 PM						
9:27:30 PM			10.6679			10.6679
9:29:30 PM			10.6679			10.6679
9:31:30 PM			10.6679			10.6679
9:33:30 PM			10.6679			10.6679
9:35:30 PM			5.4078			5.4078
9:37:30 PM			5.4078			5.4078
9:39:30 PM			0.1476			0.1476
9:41:30 PM			10.6679			10.6679

Continuación Cuadro 19

HORA	Jueves 18/09	Viernes 19/09	Sábado 20/09	Martes 23/09	Lunes 29/09	PROMEDIO SIN DESCONEXIÓN
9:43:30 PM			10.6679			10.6679
9:45:30 PM						
9:47:30 PM						
9:49:30 PM						
9:51:30 PM			10.6679			10.6679
9:53:30 PM			10.6679			10.6679
9:55:30 PM			5.4078			5.4078
9:57:30 PM			0.1476			0.1476
9:59:30 PM			5.4078			5.4078
10:01:30 PM			10.6679			10.6679
10:03:30 PM			10.6679			10.6679
10:05:30 PM			10.6679			10.6679
10:07:30 PM			10.6679			10.6679
10:09:30 PM			10.6679			10.6679
10:11:30 PM			10.6679			10.6679
10:13:30 PM			10.6679			10.6679
10:15:30 PM			10.6679			10.6679
10:17:30 PM						
10:19:30 PM						
10:21:30 PM			10.6679			10.6679
10:23:30 PM			10.6679			10.6679
10:25:30 PM			10.6679			10.6679
10:27:30 PM			10.6679			10.6679
10:29:30 PM			10.6679			10.6679
10:31:30 PM			10.6679			10.6679
10:33:30 PM			10.6679			10.6679
10:35:30 PM			0.1476			0.1476
10:37:30 PM			5.4078			5.4078
10:39:30 PM						
10:41:30 PM						
10:43:30 PM			10.6679			10.6679

Continuación Cuadro 19

HORA	Jueves 18/09	Viernes 19/09	Sábado 20/09	Martes 23/09	Lunes 29/09	PROMEDIO SIN DESCONEXIÓN
10:45:30 PM			10.6679			10.6679
10:47:30 PM			10.6679			10.6679
10:49:30 PM			10.6679			10.6679
10:51:30 PM			10.6679			10.6679
10:53:30 PM			10.6679			10.6679
10:55:30 PM			5.4078			5.4078
10:57:30 PM			0.1476			0.1476
10:59:30 PM			0.0000			
11:01:30 PM						
11:03:30 PM			0.1476			0.1476
11:05:30 PM			0.0000			
11:07:30 PM			10.6679			10.6679
11:09:30 PM			10.6679			10.6679
11:11:30 PM			10.6679			10.6679
11:13:30 PM			10.6679			10.6679
11:15:30 PM			10.6679			10.6679
11:17:30 PM			10.6679			10.6679
11:19:30 PM			10.6679			10.6679
11:21:30 PM						
11:23:30 PM						
11:25:30 PM			10.6679			10.6679
11:27:30 PM			5.4078			5.4078
11:29:30 PM			5.4078			5.4078
11:31:30 PM			0.1476			0.1476
11:33:30 PM			10.6679			10.6679
11:35:30 PM			10.6679			10.6679
11:37:30 PM			10.6679			10.6679
11:39:30 PM			10.6679			10.6679
11:41:30 PM			0.1476			0.1476
11:43:30 PM			5.4078			5.4078
11:45:30 PM						

Continuación Cuadro 19

HORA	Jueves 18/09	Viernes 19/09	Sábado 20/09	Martes 23/09	Lunes 29/09	PROMEDIO SIN DESCONEXIÓN
11:47:30 PM			10.6679			10.6679
11:49:30 PM			10.6679			10.6679
11:51:30 PM			15.9280			15.9280
11:53:30 PM			10.6679			10.6679
11:55:30 PM			15.9280			15.9280
11:57:30 PM			5.4078			5.4078
11:59:30 PM			0.1476			0.1476

Cuadro 20: Medición por 5 días de la presión en libras por pie cúbico (psi) durante el mes de septiembre de 2008

HORA	Jueves 18/09	Viernes 19/09	Sábado 20/09	Martes 23/09	Lunes 29/09	PROMEDIO SIN DESCONEXIÓN
8:47:30 AM			100.9291			100.9291
8:49:30 AM			101.8425			101.8425
8:51:30 AM			101.8425			101.8425
8:53:30 AM			101.3858			101.3858
8:55:30 AM			102.2992			102.2992
8:57:30 AM			104.1260			104.1260
8:59:30 AM			103.2126			103.2126
9:01:30 AM			102.2992			102.2992
9:03:30 AM						
9:05:30 AM			101.3858			101.3858
9:07:30 AM			101.8425			101.8425
9:09:30 AM			101.3858			101.3858
9:11:30 AM			102.7559			102.7559
9:13:30 AM			104.1260			104.1260
9:15:30 AM			100.9291			100.9291
9:17:30 AM						
9:19:30 AM			100.9291			100.9291
9:21:30 AM			100.9291			100.9291
9:23:30 AM			101.3858			101.3858

Continuación Cuadro 20

HORA	Jueves 18/09	Viernes 19/09	Sábado 20/09	Martes 23/09	Lunes 29/09	PROMEDIO SIN DESCONEXIÓN
9:25:30 AM			100.0157			100.0157
9:27:30 AM			100.4724			100.4724
9:29:30 AM			103.6693			103.6693
9:31:30 AM			100.9291			100.9291
9:33:30 AM						
9:35:30 AM			101.3858			101.3858
9:37:30 AM			100.9291			100.9291
9:39:30 AM			100.4724			100.4724
9:41:30 AM			101.8425			101.8425
9:43:30 AM			100.9291			100.9291
9:45:30 AM			100.9291			100.9291
9:47:30 AM			100.0157			100.0157
9:49:30 AM			101.3858			101.3858
9:51:30 AM						
9:53:30 AM			100.9291			100.9291
9:55:30 AM			100.4724			100.4724
9:57:30 AM			101.3858			101.3858
9:59:30 AM			100.4724			100.4724
10:01:30 AM			100.9291			100.9291
10:03:30 AM			102.2992			102.2992
10:05:30 AM			103.6693			103.6693
10:07:30 AM			101.3858			101.3858
10:09:30 AM			100.4724			100.4724
10:11:30 AM			101.3858			101.3858
10:13:30 AM			100.9291			100.9291
10:15:30 AM			100.4724			100.4724
10:17:30 AM						
10:19:30 AM						
10:21:30 AM						
10:23:30 AM						
10:25:30 AM						
10:27:30 AM						

Continuación Cuadro 20

HORA	Jueves 18/09	Viernes 19/09	Sábado 20/09	Martes 23/09	Lunes 29/09	PROMEDIO SIN DESCONEXIÓN
10:29:30 AM						
10:31:30 AM						
10:33:30 AM						
10:35:30 AM			100.4724			100.4724
10:37:30 AM			101.3858			101.3858
10:39:30 AM			101.3858			101.3858
10:41:30 AM						
10:43:30 AM	24.2047		102.7559			63.4803
10:45:30 AM	77.6378		100.4724			89.0551
10:47:30 AM	103.2126		100.0157			101.6142
10:49:30 AM	100.9291		101.3858			101.1575
10:51:30 AM	101.8425		101.3858			101.6142
10:53:30 AM	100.0157		100.4724			100.2441
10:55:30 AM	100.9291		103.6693			102.2992
10:57:30 AM	100.9291		102.2992			101.6142
10:59:30 AM	100.9291		101.8425			101.3858
11:01:30 AM	100.0157		100.9291			100.4724
11:03:30 AM	98.1890					98.1890
11:05:30 AM						
11:07:30 AM						
11:09:30 AM						
11:11:30 AM	100.9291					100.9291
11:13:30 AM	100.0157					100.0157
11:15:30 AM	100.4724					100.4724
11:17:30 AM	100.9291					100.9291
11:19:30 AM	99.5591					99.5591
11:21:30 AM	105.0394					105.0394
11:23:30 AM	101.3858					101.3858
11:25:30 AM	100.9291	3.6535				52.2913
11:27:30 AM		6.8504				6.8504
11:29:30 AM	100.0157	42.4724				71.2441
11:31:30 AM	100.9291	72.6142				86.7717

Continuación Cuadro 20

HORA	Jueves 18/09	Viernes 19/09	Sábado 20/09	Martes 23/09	Lunes 29/09	PROMEDIO SIN DESCONEXIÓN
11:33:30 AM	100.4724	90.8819				95.6772
11:35:30 AM	100.0157	98.1890				99.1024
11:37:30 AM	104.5827	103.6693				104.1260
11:39:30 AM	103.2126	103.6693				103.4409
11:41:30 AM	100.0157	101.3858				100.7008
11:43:30 AM	100.0157	100.9291				100.4724
11:45:30 AM	100.0157	100.9291				100.4724
11:47:30 AM		101.3858				101.3858
11:49:30 AM	100.4724	100.0157				100.2441
11:51:30 AM	100.0157	101.3858	101.3858			100.9291
11:53:30 AM	100.0157	103.2126	101.3858			101.5381
11:55:30 AM	101.3858	103.6693	103.2126			102.7559
11:57:30 AM	101.3858	99.5591	101.3858			100.7769
11:59:30 AM	102.2992		102.2992			102.2992
12:01:30 PM	104.1260	100.0157	103.6693			102.6037
12:03:30 PM	99.5591	101.3858				100.4724
12:05:30 PM		100.4724				100.4724
12:07:30 PM		100.4724				100.4724
12:09:30 PM	50.0079	102.2992	101.3858			84.5643
12:11:30 PM	50.0079	100.9291	100.4724			83.8031
12:13:30 PM	49.7795	100.4724	100.0157			83.4226
12:15:30 PM	30.5984		99.5591			65.0787
12:17:30 PM	17.1260	100.4724	98.6457			72.0814
12:19:30 PM	13.9291	101.3858				57.6575
12:21:30 PM	13.2441	100.9291		103.6693		72.6142
12:23:30 PM	13.2441	100.4724		103.2126		72.3097
12:25:30 PM	13.0157	101.3858		102.2992		72.2336
12:27:30 PM	14.8425	100.4724		101.3858		72.2336
12:29:30 PM	33.5669	99.5591		103.2126		78.7795
12:31:30 PM	49.3228	102.2992		102.7559		84.7927
12:33:30 PM	50.2362	101.8425		101.8425		84.6404
12:35:30 PM	50.6929			102.2992		76.4961

Continuación Cuadro 20

HORA	Jueves 18/09	Viernes 19/09	Sábado 20/09	Martes 23/09	Lunes 29/09	PROMEDIO SIN DESCONEXIÓN
12:37:30 PM	49.7795	100.0157		101.3858		83.7270
12:39:30 PM	50.0079	101.8425		103.2126		85.0210
12:41:30 PM	33.1102	100.9291		104.5827		79.5407
12:43:30 PM	32.8819	100.0157		103.2126		78.7034
12:45:30 PM	96.8189	101.3858				99.1024
12:47:30 PM	99.1024	100.9291				100.0157
12:49:30 PM	50.4646	100.0157				75.2402
12:51:30 PM	50.9213	101.3858				76.1535
12:53:30 PM	52.5197	100.9291				76.7244
12:55:30 PM		102.2992				102.2992
12:57:30 PM		103.2126				103.2126
12:59:30 PM	100.4724					100.4724
1:01:30 PM	99.5591					99.5591
1:03:30 PM	99.1024					99.1024
1:05:30 PM	99.1024					99.1024
1:07:30 PM	100.0157					100.0157
1:09:30 PM	99.5591					99.5591
1:11:30 PM	100.0157					100.0157
1:13:30 PM	99.5591					99.5591
1:15:30 PM	100.0157					100.0157
1:17:30 PM	99.5591					99.5591
1:19:30 PM	99.5591					99.5591
1:21:30 PM	100.4724					100.4724
1:23:30 PM	100.9291					100.9291
1:25:30 PM	100.4724					100.4724
1:27:30 PM	100.0157					100.0157
1:29:30 PM	100.0157					100.0157
1:31:30 PM	100.0157					100.0157
1:33:30 PM	100.0157					100.0157
1:35:30 PM	101.3858					101.3858
1:37:30 PM	100.9291					100.9291
1:39:30 PM	99.5591					99.5591

Continuación Cuadro 20

HORA	Jueves 18/09	Viernes 19/09	Sábado 20/09	Martes 23/09	Lunes 29/09	PROMEDIO SIN DESCONEXIÓN
1:41:30 PM	100.0157					100.0157
1:43:30 PM	99.5591					99.5591
1:45:30 PM	100.0157					100.0157
1:47:30 PM	100.9291					100.9291
1:49:30 PM	100.4724					100.4724
1:51:30 PM	105.0394					105.0394
1:53:30 PM						
1:55:30 PM						
1:57:30 PM						
1:59:30 PM						
2:01:30 PM						
2:03:30 PM						
2:05:30 PM					102.7559	102.7559
2:07:30 PM		102.2992			101.3858	101.8425
2:09:30 PM		101.8425			101.3858	101.6142
2:11:30 PM		100.9291			99.5591	100.2441
2:13:30 PM		101.8425			102.2992	102.0709
2:15:30 PM		101.3858			100.4724	100.9291
2:17:30 PM		100.4724			100.9291	100.7008
2:19:30 PM		102.2992			99.1024	100.7008
2:21:30 PM	101.3858	101.8425			98.6457	100.6247
2:23:30 PM	100.0157	100.9291			102.7559	101.2336
2:25:30 PM	101.3858	101.8425			100.4724	101.2336
2:27:30 PM	103.2126	101.8425			100.0157	101.6903
2:29:30 PM	100.4724	100.9291				100.7008
2:31:30 PM	100.4724	100.4724				100.4724
2:33:30 PM	100.4724	104.5827				102.5276
2:35:30 PM	100.4724	100.9291				100.7008
2:37:30 PM	102.2992	101.8425				102.0709
2:39:30 PM	104.1260					104.1260
2:41:30 PM	103.6693	101.8425				102.7559
2:43:30 PM	103.2126	101.3858				102.2992

Continuación Cuadro 20

HORA	Jueves 18/09	Viernes 19/09	Sábado 20/09	Martes 23/09	Lunes 29/09	PROMEDIO SIN DESCONEXIÓN
2:45:30 PM		102.2992				102.2992
2:47:30 PM		101.3858				101.3858
2:49:30 PM		102.2992				102.2992
2:51:30 PM		104.1260				104.1260
2:53:30 PM		105.0394				105.0394
2:55:30 PM		101.8425				101.8425
2:57:30 PM						
2:59:30 PM						
3:01:30 PM						
3:03:30 PM						
3:05:30 PM						
3:07:30 PM						
3:09:30 PM		101.3858				101.3858
3:11:30 PM		101.3858				101.3858
3:13:30 PM		101.8425				101.8425
3:15:30 PM		101.3858				101.3858
3:17:30 PM		101.3858				101.3858
3:19:30 PM		101.3858				101.3858
3:21:30 PM		101.3858				101.3858
3:23:30 PM		104.1260				104.1260
3:25:30 PM		103.2126				103.2126
3:27:30 PM		102.2992				102.2992
3:29:30 PM		101.3858				101.3858
3:31:30 PM						
3:33:30 PM						
3:35:30 PM						
3:37:30 PM						
3:39:30 PM						
3:41:30 PM		103.6693				103.6693
3:43:30 PM		105.0394				105.0394
3:45:30 PM		104.1260				104.1260
3:47:30 PM		102.7559				102.7559

Continuación Cuadro 20

HORA	Jueves 18/09	Viernes 19/09	Sábado 20/09	Martes 23/09	Lunes 29/09	PROMEDIO SIN DESCONEXIÓN
9:27:30 PM			101.3858			101.3858
9:29:30 PM			101.3858			101.3858
9:31:30 PM			101.3858			101.3858
9:33:30 PM			100.9291			100.9291
9:35:30 PM			100.4724			100.4724
9:37:30 PM			101.8425			101.8425
9:39:30 PM			103.2126			103.2126
9:41:30 PM			101.8425			101.8425
9:43:30 PM			100.9291			100.9291
9:45:30 PM						
9:47:30 PM						
9:49:30 PM						
9:51:30 PM			101.8425			101.8425
9:53:30 PM			101.3858			101.3858
9:55:30 PM			102.7559			102.7559
9:57:30 PM			103.6693			103.6693
9:59:30 PM			101.3858			101.3858
10:01:30 PM			101.3858			101.3858
10:03:30 PM			100.4724			100.4724
10:05:30 PM			101.3858			101.3858
10:07:30 PM			101.8425			101.8425
10:09:30 PM			101.3858			101.3858
10:11:30 PM			101.3858			101.3858
10:13:30 PM			102.2992			102.2992
10:15:30 PM			101.3858			101.3858
10:17:30 PM						
10:19:30 PM						
10:21:30 PM			102.2992			102.2992
10:23:30 PM			102.2992			102.2992
10:25:30 PM			101.8425			101.8425
10:27:30 PM			101.8425			101.8425
10:29:30 PM			102.2992			102.2992

Continuación Cuadro 20

HORA	Jueves 18/09	Viernes 19/09	Sábado 20/09	Martes 23/09	Lunes 29/09	PROMEDIO SIN DESCONEXIÓN
10:31:30 PM			102.2992			102.2992
10:33:30 PM			102.2992			102.2992
10:35:30 PM			104.5827			104.5827
10:37:30 PM			102.2992			102.2992
10:39:30 PM						
10:41:30 PM						
10:43:30 PM			102.2992			102.2992
10:45:30 PM			100.9291			100.9291
10:47:30 PM			102.2992			102.2992
10:49:30 PM			102.2992			102.2992
10:51:30 PM			101.3858			101.3858
10:53:30 PM			102.2992			102.2992
10:55:30 PM			102.2992			102.2992
10:57:30 PM			100.9291			100.9291
10:59:30 PM			100.9291			100.9291
11:01:30 PM						
11:03:30 PM			103.6693			103.6693
11:05:30 PM			101.8425			101.8425
11:07:30 PM			101.3858			101.3858
11:09:30 PM			102.7559			102.7559
11:11:30 PM			102.2992			102.2992
11:13:30 PM			101.3858			101.3858
11:15:30 PM			102.7559			102.7559
11:17:30 PM			101.8425			101.8425
11:19:30 PM			101.8425			101.8425
11:21:30 PM						
11:23:30 PM						
11:25:30 PM			102.2992			102.2992
11:27:30 PM			100.9291			100.9291
11:29:30 PM			104.5827			104.5827
11:31:30 PM			102.7559			102.7559
11:33:30 PM			102.2992			102.2992

## Continuación Cuadro 20

11:35:30 PM			101.3858			101.3858
11:37:30 PM			102.7559			102.7559
11:39:30 PM			101.3858			101.3858
11:41:30 PM			105.4961			105.4961
11:43:30 PM			102.7559			102.7559
11:45:30 PM						
11:47:30 PM			100.9291			100.9291
11:49:30 PM			102.2992			102.2992
11:51:30 PM			101.8425			101.8425
11:53:30 PM			101.3858			101.3858
11:55:30 PM			102.7559			102.7559
11:57:30 PM			103.6693			103.6693
11:59:30 PM			104.1260			104.1260

## Cuadro 21: Medición por 5 días del gasto energético en kW durante el mes de septiembre de 2008

HORA	Jueves 18/09	Viernes 19/09	Sábado 20/09	Martes 23/09	Lunes 29/09	PROMEDIO SIN DESCONEXIÓN
8:47:30 AM			2.9457			2.9457
8:49:30 AM			2.9457			2.9457
8:51:30 AM			3.9276			3.9276
8:53:30 AM			2.9457			2.9457
8:55:30 AM			2.9457			2.9457
8:57:30 AM			2.4547			2.4547
8:59:30 AM			1.9638			1.9638
9:01:30 AM			3.4366			3.4366
9:03:30 AM			3.4366			
9:05:30 AM			2.9457			2.9457
9:07:30 AM			3.4366			3.4366
9:09:30 AM			3.9276			3.9276
9:11:30 AM			2.4547			2.4547
9:13:30 AM			1.96378			1.9638
9:15:30 AM			2.9457			2.9457
9:17:30 AM						
9:19:30 AM			3.9276			3.9276

Continuación Cuadro 21

HORA	Jueves 18/09	Viernes 19/09	Sábado 20/09	Martes 23/09	Lunes 29/09	PROMEDIO SIN DESCONEXIÓN
9:21:30 AM			2.9457			2.9457
9:23:30 AM			2.9457			2.9457
9:25:30 AM			2.9457			2.9457
9:27:30 AM			2.4547			2.4547
9:29:30 AM			1.9638			1.9638
9:31:30 AM			2.9457			2.9457
9:33:30 AM						
9:35:30 AM			2.9457			2.9457
9:37:30 AM			2.9457			2.9457
9:39:30 AM			2.9457			2.9457
9:41:30 AM			2.9457			2.9457
9:43:30 AM			2.9457			2.9457
9:45:30 AM			1.9638			1.9638
9:47:30 AM			1.9638			1.9638
9:49:30 AM			2.9457			2.9457
9:51:30 AM						
9:53:30 AM			2.9457			2.9457
9:55:30 AM			2.9457			2.9457
9:57:30 AM			2.9457			2.9457
9:59:30 AM			2.9457			2.9457
10:01:30 AM			2.9457			2.9457
10:03:30 AM			2.9457			2.9457
10:05:30 AM			1.9638			1.9638
10:07:30 AM			2.4547			2.4547
10:09:30 AM			2.4547			2.4547
10:11:30 AM			2.9457			2.9457
10:13:30 AM			2.9457			2.9457
10:15:30 AM			2.4547			2.4547
10:17:30 AM						
10:19:30 AM						
10:21:30 AM						
10:23:30 AM						

Continuación Cuadro 21

HORA	Jueves 18/09	Viernes 19/09	Sábado 20/09	Martes 23/09	Lunes 29/09	PROMEDIO SIN DESCONEXIÓN
10:25:30 AM						
10:27:30 AM						
10:29:30 AM						
10:31:30 AM						
10:33:30 AM						
10:35:30 AM			2.9457			2.9457
10:37:30 AM			2.9457			2.9457
10:39:30 AM			2.9457			2.9457
10:41:30 AM						
10:43:30 AM	3.4366		1.9638			2.7002
10:45:30 AM	3.9276		3.9276			3.9276
10:47:30 AM	2.4547		2.9457			2.7002
10:49:30 AM	2.9457		2.9457			2.9457
10:51:30 AM	2.9457		3.9276			3.4366
10:53:30 AM	2.9457		3.4366			3.1911
10:55:30 AM	2.9457		1.9638			2.4547
10:57:30 AM	3.4366		1.9638			2.7002
10:59:30 AM	2.9457		0.4909			1.7183
11:01:30 AM	2.9457					2.9457
11:03:30 AM	1.9638					1.9638
11:05:30 AM						
11:07:30 AM						
11:09:30 AM						
11:11:30 AM	2.9457					2.9457
11:13:30 AM	2.9457					2.9457
11:15:30 AM	2.9457					2.9457
11:17:30 AM	2.4547					2.4547
11:19:30 AM	2.9457					2.9457
11:21:30 AM	1.9638					1.9638
11:23:30 AM	2.4547					2.4547
11:25:30 AM	2.9457					2.9457
11:27:30 AM		1.9638				1.9638

Continuación Cuadro 21

HORA	Jueves 18/09	Viernes 19/09	Sábado 20/09	Martes 23/09	Lunes 29/09	PROMEDIO SIN DESCONEXIÓN
11:29:30 AM	2.9457	3.9276				3.4366
11:31:30 AM	2.9457	3.9276				3.4366
11:33:30 AM	2.9457	3.9276				3.4366
11:35:30 AM	3.4366	4.9094				4.1730
11:37:30 AM	1.9638	2.9457				2.4547
11:39:30 AM	1.9638	1.9638				1.9638
11:41:30 AM	2.4547	2.9457				2.7002
11:43:30 AM	2.4547	2.9457				2.7002
11:45:30 AM	2.9457	2.9457				2.9457
11:47:30 AM		3.4366				3.4366
11:49:30 AM	2.4547	2.9457				2.7002
11:51:30 AM	2.4547	3.4366	3.9276			3.2730
11:53:30 AM	2.4547	2.4547	3.4366			2.7820
11:55:30 AM	2.9457	1.9638	1.9638			2.2911
11:57:30 AM	2.4547	2.9457	3.9276			3.1093
11:59:30 AM	1.9638	3.4366	2.4547			2.6184
12:01:30 PM	1.9638	2.4547	1.9638			2.1274
12:03:30 PM	2.4547	2.9457				2.7002
12:05:30 PM		2.9457				2.9457
12:07:30 PM		3.4366				3.4366
12:09:30 PM	2.4547	1.9638	0.0000			1.4728
12:11:30 PM	2.4547	1.9638	0.0000			1.4728
12:13:30 PM	2.9457	3.4366	0.0000			2.1274
12:15:30 PM	3.9276	3.4366	0.0000			2.4547
12:17:30 PM	2.9457	2.4547	0.0000			1.8001
12:19:30 PM	2.9457	3.4366				3.1911
12:21:30 PM	2.9457	2.9457		2.4547		2.7820
12:23:30 PM	2.9457	2.9457		1.9638		2.6184
12:25:30 PM	2.9457	2.9457		2.9457		2.9457
12:27:30 PM	2.9457	2.4547		2.9457		2.7820
12:29:30 PM	3.9276	2.4547		2.4547		2.9457
12:31:30 PM	2.9457	2.4547		2.9457		2.7820

Continuación Cuadro 21

HORA	Jueves 18/09	Viernes 19/09	Sábado 20/09	Martes 23/09	Lunes 29/09	PROMEDIO SIN DESCONEXIÓN
12:33:30 PM	2.4547	2.9457		2.9457		2.7820
12:35:30 PM	2.4547			2.9457		2.7002
12:37:30 PM	1.9638	2.9457		2.9457		2.6184
12:39:30 PM	2.4547	3.4366		2.9457		2.9457
12:41:30 PM	3.9276	2.4547		1.9638		2.7820
12:43:30 PM		2.4547		1.4728		1.9638
12:45:30 PM	3.9276	2.9457				3.4366
12:47:30 PM	3.4366	2.4547				2.9457
12:49:30 PM	3.4366	2.4547				2.9457
12:51:30 PM	2.9457	2.9457				2.9457
12:53:30 PM	1.9638	2.9457				2.4547
12:55:30 PM		2.9457				2.9457
12:57:30 PM		1.9638				1.9638
12:59:30 PM	2.4547					2.4547
1:01:30 PM	2.4547					2.4547
1:03:30 PM	2.4547					2.4547
1:05:30 PM	2.4547					2.4547
1:07:30 PM	2.4547					2.4547
1:09:30 PM	2.4547					2.4547
1:11:30 PM	2.4547					2.4547
1:13:30 PM	1.9638					1.9638
1:15:30 PM	2.4547					2.4547
1:17:30 PM	2.4547					2.4547
1:19:30 PM	2.4547					2.4547
1:21:30 PM	2.4547					2.4547
1:23:30 PM	2.4547					2.4547
1:25:30 PM	2.4547					2.4547
1:27:30 PM	2.4547					2.4547
1:29:30 PM	2.4547					2.4547
1:31:30 PM	2.4547					2.4547
1:33:30 PM	2.4547					2.4547
1:35:30 PM	2.4547					2.4547

Continuación Cuadro 21

HORA	Jueves 18/09	Viernes 19/09	Sábado 20/09	Martes 23/09	Lunes 29/09	PROMEDIO SIN DESCONEXIÓN
1:37:30 PM	2.4547					2.4547
1:39:30 PM	2.4547					2.4547
1:41:30 PM	2.4547					2.4547
1:43:30 PM	2.4547					2.4547
1:45:30 PM	2.4547					2.4547
1:47:30 PM	2.4547					2.4547
1:49:30 PM	2.4547					2.4547
1:51:30 PM	1.9638					1.9638
1:53:30 PM						
1:55:30 PM						
1:57:30 PM						
1:59:30 PM						
2:01:30 PM						
2:03:30 PM						
2:05:30 PM					1.9638	1.9638
2:07:30 PM		2.9457				2.9457
2:09:30 PM		2.4547			1.9638	2.2093
2:11:30 PM		2.4547			2.4547	2.4547
2:13:30 PM		2.9457			1.9638	2.4547
2:15:30 PM		2.4547			2.4547	2.4547
2:17:30 PM		2.4547			2.4547	2.4547
2:19:30 PM		2.9457			1.9638	2.4547
2:21:30 PM	3.4366	2.4547			1.4728	2.4547
2:23:30 PM	2.9457	2.4547			1.9638	2.4547
2:25:30 PM	2.9457	2.9457			2.4547	2.7820
2:27:30 PM	1.9638	2.4547			2.4547	2.2911
2:29:30 PM	2.9457	2.4547				2.7002
2:31:30 PM	2.4547	2.4547				2.4547
2:33:30 PM	2.9457	1.9638				2.4547
2:35:30 PM	2.9457	2.9457				2.9457
2:37:30 PM	2.9457	2.9457				2.9457
2:39:30 PM	1.9638					1.9638

Continuación Cuadro 21

HORA	Jueves 18/09	Viernes 19/09	Sábado 20/09	Martes 23/09	Lunes 29/09	PROMEDIO SIN DESCONEXIÓN
2:41:30 PM	1.4728	2.9457				2.2093
2:43:30 PM		2.9457				2.9457
2:45:30 PM		2.9457				2.9457
2:47:30 PM		2.9457				2.9457
2:49:30 PM		2.9457				2.9457
2:51:30 PM		2.4547				2.4547
2:53:30 PM		1.9638				1.9638
2:55:30 PM		1.4728				1.4728
2:57:30 PM						
2:59:30 PM						
3:01:30 PM						
3:03:30 PM						
3:05:30 PM						
3:07:30 PM						
3:09:30 PM		2.4547				2.4547
3:11:30 PM		2.4547				2.4547
3:13:30 PM		2.4547				2.4547
3:15:30 PM		2.4547				2.4547
3:17:30 PM		2.4547				2.4547
3:19:30 PM		2.4547				2.4547
3:21:30 PM		2.4547				2.4547
3:23:30 PM		2.4547				2.4547
3:25:30 PM		1.9638				1.9638
3:27:30 PM		0.4909				0.4909
3:29:30 PM						
3:31:30 PM						
3:33:30 PM						
3:35:30 PM						
3:37:30 PM						
3:39:30 PM						
3:41:30 PM		2.4547				2.4547
3:43:30 PM		1.9638				1.9638

Continuación Cuadro 21

HORA	Jueves 18/09	Viernes 19/09	Sábado 20/09	Martes 23/09	Lunes 29/09	PROMEDIO SIN DESCONEXIÓN
3:45:30 PM		0.9819				0.9819
3:47:30 PM		0.0000				
09:27:30 PM			2.94567			2.9457
09:29:30 PM			2.94567			2.9457
09:31:30 PM			2.94567			2.9457
09:33:30 PM			2.94567			2.9457
09:35:30 PM			2.45472			2.4547
09:37:30 PM			2.45472			2.4547
09:39:30 PM			1.96378			1.9638
09:41:30 PM			2.94567			2.9457
09:43:30 PM			2.94567			2.9457
09:45:30 PM						
09:47:30 PM						
09:49:30 PM						
09:51:30 PM			2.94567			2.9457
09:53:30 PM			2.94567			2.9457
09:55:30 PM			2.45472			2.4547
09:57:30 PM			1.96378			1.9638
09:59:30 PM			2.45472			2.4547
10:01:30 PM			2.94567			2.9457
10:03:30 PM			2.94567			2.9457
10:05:30 PM			2.94567			2.9457
10:07:30 PM			2.94567			2.9457
10:09:30 PM			2.94567			2.9457
10:11:30 PM			2.94567			2.9457
10:13:30 PM			2.94567			2.9457
10:15:30 PM			2.94567			2.9457
10:17:30 PM						
10:19:30 PM						
10:21:30 PM			2.94567			2.9457
10:23:30 PM			2.94567			2.9457
10:25:30 PM			2.94567			2.9457

Continuación Cuadro 21

HORA	Jueves 18/09	Viernes 19/09	Sábado 20/09	Martes 23/09	Lunes 29/09	PROMEDIO SIN DESCONEXIÓN
10:27:30 PM			2.94567			2.9457
10:29:30 PM			2.94567			2.9457
10:31:30 PM			2.94567			2.9457
10:33:30 PM			2.94567			2.9457
10:35:30 PM			1.96378			1.9638
10:37:30 PM			2.45472			2.4547
10:39:30 PM						
10:41:30 PM						
10:43:30 PM			2.94567			2.9457
10:45:30 PM			2.94567			2.9457
10:47:30 PM			2.94567			2.9457
10:49:30 PM			2.94567			2.9457
10:51:30 PM			2.94567			2.9457
10:53:30 PM			2.94567			2.9457
10:55:30 PM			2.45472			2.4547
10:57:30 PM			1.96378			1.9638
10:59:30 PM			1.47283			1.4728
11:01:30 PM						
11:03:30 PM			1.96378			1.9638
11:05:30 PM						
11:07:30 PM			2.94567			2.9457
11:09:30 PM			2.94567			2.9457
11:11:30 PM			2.94567			2.9457
11:13:30 PM			2.94567			2.9457
11:15:30 PM			2.94567			2.9457
11:17:30 PM			2.94567			2.9457
11:19:30 PM			2.94567			2.9457
11:21:30 PM						
11:23:30 PM						
11:25:30 PM			2.94567			2.9457
11:27:30 PM			2.45472			2.4547
11:29:30 PM			2.45472			2.4547

Continuación Cuadro 21

HORA	Jueves 18/09	Viernes 19/09	Sábado 20/09	Martes 23/09	Lunes 29/09	PROMEDIO SIN DESCONEXIÓN
11:31:30 PM			1.96378			1.9638
11:33:30 PM			2.94567			2.9457
11:35:30 PM			2.94567			2.9457
11:37:30 PM			2.94567			2.9457
11:39:30 PM			2.94567			2.9457
11:41:30 PM			1.96378			1.9638
11:43:30 PM			2.45472			2.4547
11:47:30 PM			2.94567			2.9457
11:49:30 PM			2.94567			2.9457
11:51:30 PM			3.43661			3.4366
11:53:30 PM			2.94567			2.9457
11:55:30 PM			3.43661			3.4366
11:57:30 PM			2.45472			2.4547
11:59:30 PM			1.96378			1.9638

Cuadro 22: Datos de tubería de aluminio

Diametro interno	7/8 plg
Longitud	20 pie

Cuadro 23: Composición del aire comprimido a 20°C

Compuesto	Porcentaje	Peso Molecular g/mol	Cantidad de moléculas	Peso en el aire (g/mol)
Nitrógeno	78.00%	14.0067	2	21.8505
Oxígeno	20.00%	15.9994	2	6.3998
Helio	0.05%	4.0026	1	0.0020
Argón	1.30%	39.9480	1	0.5193

Cuadro 24: Caída de presión en equipo auxiliar

Equipo	Presión (psi)	Presión (Pa)
Filtro KVF	1.0000	6,894.7000
Filtro KOR	3.0000	20,684.1000
Secador	2.9000	19,994.6300

## b. Análisis económico

Cuadro 25: Valores predeterminados

Tipo de cambio US\$ - Q	Q7.69
Tasa interés préstamos bancarios	15.00%
Tasa riesgo	3.00%
Impuesto sobre equipo	31.00%

Cuadro 26: Costos de inversión del compresor (AirTower 5C 125 psi) equipo nuevo

Equipo	Valor en Dólares	Valor en Quetzales
Compresor	\$4,999.00	Q38,447.81
Secador	\$-	Q0.00
Tanque	\$-	Q0.00
Trampa de drenado	\$-	Q0.00
Filtro KOR35	\$279.00	Q2,145.82
Filtro KVF35	\$271.00	Q2,084.29
Trampa KOR	\$-	Q0.00
Flete	\$56.25	Q432.62

*NOTA: EN EL COSTO DEL COMPRESOR SE INCLUYE EL SECADOR Y EL TANQUE DE ALMECENAMIENTO YA QUE EL EQUIPO LO TRAE*

Cuadro 27: Costos extras de inversión para la instalación del equipo nuevo

Equipo	Porcentaje respecto al costo del equipo	Valor en dólares	Valor en quetzales
Tubería (aluminio)	22.486%	\$1,247.73	Q9,596.43
Tubería (acero inoxidable)	4.569%	\$253.54	Q1,950.00
Instalación tubería	5.272%	\$292.55	Q2,250.00
Conexión eléctrica	0.686%	\$38.08	Q292.88
Contingencias	10.00%	\$560.53	Q4,311.05

Cuadro 28: Tiempo de trabajo de compresor actual y nuevo

	Actual	Nuevo
Día (horas)	3	1.5
Mes (días)	20	20
Año (mes)	11	11

Cuadro 29: Potencia y Costo energético unitario de trabajo de compresor actual y nuevo

	Actual	Nuevo
Potencia (hP)	3	5
Potencia (kW)	2.238	3.73
Precio Energético unitario (Q. kW-h)	Q2.23	Q2.23

Cuadro 30: Unidades producidas anuales para el equipo actual y nuevo

	Actual	Nuevo
Porcentaje unidades producidas anuales	50%	100%
Unidades diarias	1,083	2,167
Unidades mes	21,667	43,333
Unidades año	260,000	520,000

Cuadro 31: Costos y precios de unidad producida del equipo actual y nuevo

	Actual	Nuevo
Precio venta unitario	Q 1.32	Q 1.32
Precio costo unitario	Q 0.83	Q 0.83
Porcentaje de costos variables respecto precio de venta	5.00%	2.50%
Porcentaje de costos fijos respecto precio de venta	30%	30%
Porcentaje de ganancia respecto al precio de venta	65.0%	67.50%

Cuadro 32: Porcentaje de costos extra de producción en equipo actual y nuevo

Costo	Actual	Nuevo
Porcentaje por devolución	8%	1%
Porcentaje de producción	50%	100%

## 6. Cálculos de muestra

### a. Balance de masa y energía

#### - Conversión de unidades a Sistema Internacional (SI):

En los datos experimentales obtenidos se tienen unidades de presión en PSI, caudal en  $\text{pies}^3/\text{min}$ , el diámetro interno en pulgadas, el largo de la tubería en pies y la densidad en  $\text{lb}_m/\text{pie}^3$ , los siguientes cálculos serán realizados para los datos promedio

Presión:

$$98.4288\text{PSI} \times \left( \frac{6,894.7\text{Pa}}{1\text{PSI}} \right) = 678,636.7427\text{Pa}$$

Caudal:

$$7.9896\text{CFM} \times \left( \frac{0.0283\text{m}^3/\text{min}}{1\text{CFM}} \right) \times \left( \frac{1\text{min}}{60\text{seg}} \right) = 0.0038\text{m}^3/\text{seg}$$

Diámetro interno de la tubería:

$$\frac{7}{8}\text{plg} \times \left( \frac{0.0254\text{m}}{1\text{plg}} \right) = 0.0222\text{m}$$

Longitud de tubería

$$20\text{pies} \times \left( \frac{1\text{m}}{3.2808\text{pies}} \right) = 6.0961\text{m}$$

Densidad del aire

$$0.5861\text{lb}_m/\text{pie}^3 \times \left( \frac{16.0521\text{kg}/\text{m}^3}{1\text{lb}_m/\text{pie}^3} \right) = 9.4075\text{kg}/\text{m}^3$$

#### - Cálculo de densidad del aire

Por medio del Apéndice 2, sección 2, "Tabla de densidades para aire comprimido" se obtuvieron por interpolación doble los datos de la densidad; por ejemplo, para la densidad a la presión promedio (98.4288 psi) y una temperatura de  $68^\circ\text{F} = 273.15\text{K}$  y realizando regresiones lineales de 2 datos antes y 2 después para cada propiedad, esto se muestra en las gráficas de la densidad 1, 2, 3 y 4.

Cuadro 33: Densidad del aire para los datos promedio

Temperatura (°F)	Presión (psi)		
	X <sub>1</sub> =90	X=98.4288	X <sub>2</sub> =100
Y <sub>1</sub> =60	M <sub>1,1</sub> =0.544	R <sub>1</sub> =0.5878	M <sub>1,2</sub> =0.596
Y=68	R <sub>2</sub> =0.5396	<b>M=0.5792</b>	R <sub>3</sub> =0.5908
Y <sub>2</sub> =70	M <sub>2,1</sub> =0.534	R <sub>4</sub> =0.5780	M <sub>2,2</sub> =0.585

Con los datos antes dados para la presión promedio

$$M = \left[ \left( \frac{X_2 - X}{X_2 - X_1} \right) M_{1,1} + \left( \frac{X - X_1}{X_2 - X_1} \right) M_{1,2} \right] \times \left( \frac{Y_2 - Y}{Y_2 - Y_1} \right) + \left[ \left( \frac{X_2 - X}{X_2 - X_1} \right) M_{2,1} + \left( \frac{X - X_1}{X_2 - X_1} \right) M_{2,2} \right] \times \left( \frac{Y - Y_1}{Y_2 - Y_1} \right)$$

$$M = \left[ \left( \frac{100 - 98.4288}{100 - 90} \right) 0.544 + \left( \frac{98.4288 - 90}{100 - 90} \right) 0.596 \right] \times \left( \frac{70 - 68}{70 - 60} \right) + \left[ \left( \frac{100 - 98.4288}{100 - 90} \right) 0.534 + \left( \frac{98.4288 - 90}{100 - 90} \right) 0.585 \right] \times \left( \frac{68 - 60}{70 - 60} \right)$$

$$M = 0.5792 \text{ lb/ft}^3$$

(referencia ecuación F.2 Smith)

Para comprobar que exista relación entre los datos obtenidos se realizó regresión lineal utilizando presión constante y temperatura constante esto se observa en las gráficas 1, 2, 3 y 4; así obtener una ecuación de regresión y los datos de cada regresión, un ejemplo para regresión 1 (R<sub>1</sub>).

La ecuación obtenida para la presión constante a 90 psi y la temperatura cambiante entre 40-90°F,

$$y = -0.001x + 0.6076$$

Donde  $y$  es la densidad y  $x$  es la temperatura, sustituyendo los valores:

$$y = -0.001x + 0.6076$$

$$y = -0.001(68) + 0.6076$$

$$y = 0.5396 \text{ lb/ft}^3$$

$$R_1 = 0.5396 \text{ lb/ft}^3$$

Al igual que para la presión constante se realiza la temperatura, utilizando una presión desde 70-140 psi, a una temperatura de 60°F la ecuación resultante de la regresión lineal fue de:

$$y = 0.0052x + 0.076$$

Donde  $y$  es la densidad y  $x$  es la presión, sustituyendo los valores:

$$y = 0.0052x + 0.076$$

$$y = 0.0052(98.4288) + 0.076$$

$$y = 0.5878 \text{ lb} / \text{ft}^3$$

$$R_4 = 0.5878 \text{ lb} / \text{ft}^3$$

- Cálculo del área

$$A = \frac{\pi}{4} d^2$$

$$A = \frac{\pi}{4} (0.0222 \text{ m})^2$$

$$A = 0.0004 \text{ m}^2$$

- Cálculo de velocidad lineal

- o Velocidad lineal promedio

$$\bar{V} = \frac{\dot{m}}{A}$$

$$\bar{V} = \frac{0.0038 \text{ m}^3 / \text{s}}{0.0004 \text{ m}^2}$$

$$\bar{V} = 9.7137 \text{ m} / \text{s}$$

- o Velocidad lineal máxima

$$\bar{V}_{\max} = \frac{\dot{m}}{A}$$

$$\bar{V}_{\max} = \frac{0.01 \text{ m}^3 / \text{s}}{0.0004 \text{ m}^2}$$

$$\bar{V}_{\max} = 25.7605 \text{ m} / \text{s}$$

(referencia ecuación 4.13 McCabe)

- o Velocidad lineal mínima

Utilizando ecuación de continuidad, donde el área de la tubería es la misma

$$\frac{\bar{V}_{\min} A_{\min}}{\rho_{\min}} = \frac{\bar{V}_{\max} A_{\max}}{\rho_{\max}}$$

Donde  $A_{\min} = A_{\max}$

$$\bar{V}_{\min} = \left( \frac{\bar{V}_{\max}}{\rho_{\max}} \right) \times \rho_{\min}$$

$$\bar{V}_{\min} = \left( \frac{25.7605 \text{ m/s}}{9.8775 \text{ kg/m}^3} \right) \times 1.7742 \text{ kg/m}^3$$

$$\bar{V}_{\min} = 4.6270 \text{ m/s}$$

(referencia ecuación 4.3 McCabe)

- Cálculo del peso molecular del aire

Según los antecedentes expuestos en este trabajo el aire está constituido por varios elementos, se eligieron los que están en mayor proporción para poder determinar su peso molecular, entre los cuales fueron, nitrógeno 78%, oxígeno 20%, helio 0.05% y argón 1.30%, con el peso molecular de cada uno según tabla periódica.

$$P.M_{\text{aire}} = 78\%H_2 + 20\%O_2 + 0.05\%He + 1.30\%Ar$$

$$P.M_{\text{aire}} = 0.78(2)(14.0067 \text{ g/mol}) + 0.20(2)(15.9994 \text{ g/mol}) + 0.0005(4.0026 \text{ g/mol}) + 0.0130(39.9480 \text{ g/mol})$$

$$P.M_{\text{aire}} = 28.2522 \text{ g/mol}$$

- Cálculo de la caída de presión en por tubería

Para este cálculo se utilizó la ley de gases ideales, utilizando comparación con las propiedades de especies puras para hacer uso de esta ley, utilizando el Apéndice 2, sección 4 "Tabla termodinámica de propiedades de especies puras"

$$P = \frac{R}{M} \rho T$$

$$P = \left( \frac{8.314 \text{ m}^3 \text{ Pa/molK}}{0.0283 \text{ kg/mol}} \right) \times (9.2967 \text{ kg/m}^3) \times (293.15 \text{ K})$$

$$P = 801.9998 \text{ Pa}$$

referencia (ecuación 6.10 McCabe)

- Cálculo de coeficiente por pérdidas de fricción en accesorios

En este cálculo al ser un flujo de fluido compresible, la pérdida por fricción en accesorios es mínima y al utilizar una tubería de aluminio la pérdida es muy pequeña por lo que se despreciaron las pérdidas por fricción en accesorios; las pérdidas que se tomaron en cuenta fueron del equipo auxiliar a utilizar en la línea del aire, en este caso son:

Filtros y secador de aire, estas caídas de presión fueron dadas por el proveedor. (Apéndice 2, sección 11, "Catálogo de filtros" y sección 10 "Catálogo compresor")

Filtro para la absorción de aceites (KVF):	1 psi = 6,894.7000 Pa
Filtro para remoción de aceite (KOR):	3 psi = 20,684.1000Pa
Secador de aire:	2.9 psi = 319,994.6300Pa
Tubería:	0.1163 psi = 801.9998 Pa

$$h_f = h_{f_{KOR}} + h_{f_{KVF}} + h_{f_{SECADOR}} + h_{f_{TUBERIA}}$$

$$h_f = 20,684.1000 + 6,894.7000 + 19,994.6300 + 801.9998$$

$$h_f = 48,375.4298$$

- Cálculo de caída de presión

$$\frac{dP}{\rho} + d\left(\frac{\alpha \bar{V}^2}{2}\right) + gdZ + dh_f = 0$$

$$\alpha_{\max} = \alpha_{\min} = 1.0$$

$$dZ = 0$$

$$\frac{dP}{\rho} + d\left(\frac{\alpha \bar{V}^2}{2}\right) + dh_f = 0$$

(referencia ecuación 6.5 McCabe)

o Cálculo caída de presión mínima

$$\frac{P_{\max}}{\rho_{\max}} + \frac{\bar{V}_{\max}^2}{2} = \frac{P_{\min}}{\rho_{\min}} + \frac{\bar{V}_{\min}^2}{2} + h_f$$

$$P_{\min} = \left( \frac{P_{\max}}{\rho_{\max}} + \frac{\bar{V}_{\max}^2}{2} - \frac{\bar{V}_{\min}^2}{2} - h_f \right) \times \rho_{\min}$$

$$P_{\min} = \left( \frac{727,363.7055 Pa}{9.8775 kg / m^3} + \frac{(25.7605 m / s)^2}{2} - \frac{(4.6270 m / s)^2}{2} - 48,375.4298 \right) \times (1.7742 kg / m^3)$$

$$P_{\min} = 45,390.7083 Pa$$

$$P_{\min} = 6.5834 psi$$

(referencia ecuación 6.5 McCabe)

- Cálculo de caída de presión máxima

$$\frac{P_{\max}}{\rho_{\max}} + \frac{\bar{V}_{\max}^2}{2} = \frac{P_{\min}}{\rho_{\min}} + \frac{\bar{V}_{\min}^2}{2} + h_f$$

$$P_{\max} = \left( \frac{P_{\min}}{\rho_{\min}} + \frac{\bar{V}_{\min}^2}{2} + h_f - \frac{\bar{V}_{\max}^2}{2} \right) \times \rho_{\max}$$

$$P_{\max} = \left( \frac{47,231.4094 Pa}{1.7742 kg / m^3} + \frac{(4.6270 m / s)^2}{2} + 48,375.4298 - \frac{(25.7605 m / s)^2}{2} \right) \times (9.8775 kg / m^3)$$

$$P_{\max} = 737,611.5830 Pa$$

$$P_{\max} = 106.9824 psi$$

(referencia ecuación 6.5 McCabe)

- Cálculo de diámetro de tubería

Utilizando Tabla de diámetro mínimos de tuberías de aire comprimido, en el Apéndice 2, sección 7, "Diámetros mínimos para tubería de aire comprimido" con las condiciones:

Entrega de aire: hasta 1.0 m<sup>3</sup>/min  
 Presión de trabajo: 7.5 bar  
 Longitud de tubería: hasta 50 m

Diámetro interno: 1 plg

Para tubería de aluminio corresponde a 7/8 plg = 25 mm

## b. Análisis económico

### - Conversión a moneda nacional (quetzal)

Para realizar el cambio a moneda nacional se basó en cotizaciones presentadas por el proveedor KAESER que estaban en dólares, por lo que se utilizó el cambio del día en que se presentó la cotización con fecha 13 de noviembre de 2008, el cambio de dólar estaba en Q7.69, por ejemplo para el costo de inversión del equipo de generación (compreso):

$$(\$4,999.00) \times \left( \frac{Q7.69}{\$1.00} \right) = Q38,447.81$$

### - Cálculo para los factores de porcentajes respecto al precio total del equipo

Este cálculo se realizó con base a cotizaciones presentadas por el proveedor KAESER para la tubería y accesorios a utilizar, por ejemplo para el costo de tubería de aluminio

$$Factor = \frac{Costo_{total\_equipo}}{Costo_{tuberia}} \times 100$$

$$Factor = \frac{\$5,549.00}{\$1,247.73} \times 100$$

$$Factor = 22.486\%$$

### - Conversión a energía de trabajo

Con base a datos presentados por el proveedor del equipo se tiene una energía de trabajo de 5 hp y se necesita convertirla a kW para obtener la demanda energética, por ejemplo para el equipo nuevo.

$$(5hp) \times \left( \frac{0.746kW}{1hp} \right) = 3.7300kW$$

### - Cálculo de la determinación de energía de trabajo anual

Respecto a las horas de trabajo anuales y la energía de trabajo, por ejemplo para el equipo nuevo.

$$Energía\_Trabajo = (Horas\_trabajo) \times (kW)$$

$$Energía\_Trabajo = (660horas\_año) \times (3.7300kW)$$

$$Energía\_Trabajo = 2,361.80kW - año$$

- Cálculo del costo energético anual

Con el precio energético unitario en kW-h y la cantidad de energía de trabajo consumida anualmente, por ejemplo para el equipo nuevo

$$\text{Costo\_Energético} = (\text{kW} - \text{año}) \times (\text{QkW} - \text{h})$$

$$\text{Costo\_Energético} = (2,461.80\text{kW} - \text{año}) \times (\text{Q}2.23)$$

$$\text{Costo\_Energético} = \text{Q}5,489.81$$

- Cálculo de ingresos y egresos anuales

Teniendo datos de unidades producidas anuales, precio de venta unitario y precio costo unitario, por ejemplo para el equipo nuevo

o Cálculo de precio venta de unidades

$$PV_{\text{unidades}} = (pv) \times (q_{\text{año}})$$

$$PV_{\text{unidades}} = (\text{Q}1.32) \times (520,000)$$

$$PV_{\text{unidades}} = \text{Q}686,400.00$$

o Cálculo de precio de costo de unidades

$$CU_{\text{unidades}} = (cu) \times (q_{\text{año}})$$

$$CU_{\text{unidades}} = (\text{Q}0.83) \times (520,000)$$

$$CU_{\text{unidades}} = \text{Q}431,600.00$$

o Cálculo de costos variables

$$CV = (\%cv) \times (pv) \times (q_{\text{año}})$$

$$CV = (2.5\%) \times (\text{Q}1.32) \times (520,000)$$

$$CV = \text{Q}17,160.00$$

o Cálculo de costos fijos

$$CF = (\%cf) \times (pv) \times (q_{\text{año}})$$

$$CF = (30.0\%) \times (\text{Q}1.32) \times (520,000)$$

$$CF = \text{Q}205,920.00$$

- Cálculo de costos por devolución de producto

$$CD = (\%cd) \times (cu) \times (q_{año})$$

$$CD = (1.00\%) \times (Q0.83) \times (520,000)$$

$$CD = Q4,316.00$$

- Cálculo de depreciación del equipo

Utilizando el Apéndice 2, sección 5 "Tasa de recuperación aplicadas al costo inicial mediante el método de SMARC", para 10 años de depreciación, en el año 0 no existe depreciación ya que es el año en que se realiza la inversión, la aplicación inicia en el año 1 hasta el año 10, *solo se aplica al equipo nuevo ya que el equipo actual ya está depreciado.*

$$D_n = (VL_{n-1}) \times (B)$$

$$n = 1$$

$$D_1 = (VL_0) \times (B)$$

$$D_1 = (Q38,447.81) \times (10\%)$$

$$D_1 = Q3,844.78$$

$$VL_i = D_i - VL_{n-1}$$

$$n = 1$$

$$VL_1 = D_1 - VL_0$$

$$VL_1 = Q3,844.78 - Q38,447.81$$

$$VL_1 = Q34,603.03$$

Para el año 2 hasta el año 10 se realiza de la misma manera siguiente

$$D_n = (VL_{n-2}) \times (B)$$

$$n = 2$$

$$D_2 = (VL_0) \times (B)$$

$$D_2 = (Q38,447.81) \times (18\%)$$

$$D_2 = Q6,920.61$$

- Cálculo del Valor Actual (VA)

Se realiza una tabla de anualidad representada en el cuadro 34, que incluye el número de años (n) de la inversión, el valor del flujo de caja para cada año, el factor del valor actual y el dato del valor actual

Aplicando el valor actual de cada flujo futuro y realizar tabla se sigue:

*Cuadro 34: Anualidades para el valor actual (VA)*

Año (n)	Flujo (F)	Factor	VA
---------	-----------	--------	----

(referencia tabla 8.4 Nassir)

Por ejemplo para el flujo de caja del equipo nuevo en el año 1

- o Para el factor:

$$Factor = \frac{1}{(1+i)^n}$$

$$Factor = \frac{1}{(1+18\%)^1}$$

$$Factor = 0.8475$$

- o Para valor actual:

$$VA = F \times Factor$$

$$VA = Q316,524.64 \times 0.8475$$

$$VA = Q268,241.22$$

- Cálculo del Valor Actual Neto (VAN)

Utilizando cada VA anual, realizar sumatoria total iniciando desde el año 1 y sumando la el flujo de caja del año de inversión

$$VAN = \sum_{i=1}^n VA + F_{inversión}$$

$$VAN = Q1,423,094.89 + (-Q61,510.90)$$

$$VAN = Q1,361,583.99$$

- Tiempo de recuperación de la inversión inicial

$$Tr = [(F_n) \times (F_{n-1})] \times meses$$

$$n = 1$$

$$Tr = [(F_1) \times (F_0)] \times 11$$

$$Tr = [(Q316,524.64) \times (-Q61,510.90)] \times 11$$

$$Tr = 2.14 meses$$

## 7. Datos calculados

## a. Balance de masa y energía

Cuadro 35: Datos promedios para valores obtenidos de mediciones

	Presión (psi)	Caudal (cfm)	Potencia (kW)
Valor promedio	98.4288	7.9896	2.6589
Desviación estándar	10.3438	4.3405	0.4849
Valor mínimo	6.8504	0.1476	0.4909
Valor máximo	105.4961	21.1881	4.1730

Cuadro 36: Datos de densidad y viscosidad para el aire comprimido a 20°C y área de tubería

	Densidad (lb/ft <sup>3</sup> )	Área (plg <sup>2</sup> )	Viscosidad dinámica (cp)
Valor promedio	0.5792	0.6013	0.0019
Valor mínimo	0.1105	0.6013	0.0019
Valor máximo	0.6153	0.6013	0.0019

Cuadro 37: Conversión de mediciones de presión, caudal, temperatura y densidad del aire

	Presión (Pa)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Temperatura (K)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
Valor promedio	678,636.7427	0.0038	293.1500	9.2967
Desviación estándar	71,317.3079	0.0020	N/A	N/A
Valor mínimo	47,231.4094	0.0001	293.1500	1.7742
Valor Máximo	727,363.7055	0.0100	293.1500	9.8775

Cuadro 38: Conversión de mediciones de diámetro interno, longitud, área de tubería y viscosidad del aire

	ID (m)	Longitud (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Viscosidad (kg/m s)
Valor promedio	0.0222	6.0961	0.0004	1.9000E-06
Valor mínimo	0.0222	6.0961	0.0004	1.9000E-06
Valor máximo	0.0222	6.0961	0.0004	1.9000E-06

*Cuadro 39: Interpolación doble para la determinación de la densidad del aire para valores promedio*

Temperatura (°F)	Presión (psi)		
	90	98.4288	100
60	0.544	0.5878	0.596
68	0.5396	0.5792	0.5908
70	0.534	0.5780	0.585

*Cuadro 40: Interpolación doble para la determinación de la densidad del aire para valores máximos*

Temperatura (°F)	Presión (psi)		
	100	105.4961	120
60	0.596	0.6246	0.7
68	0.5908	0.6153	0.6939
70	0.585	0.6130	0.687

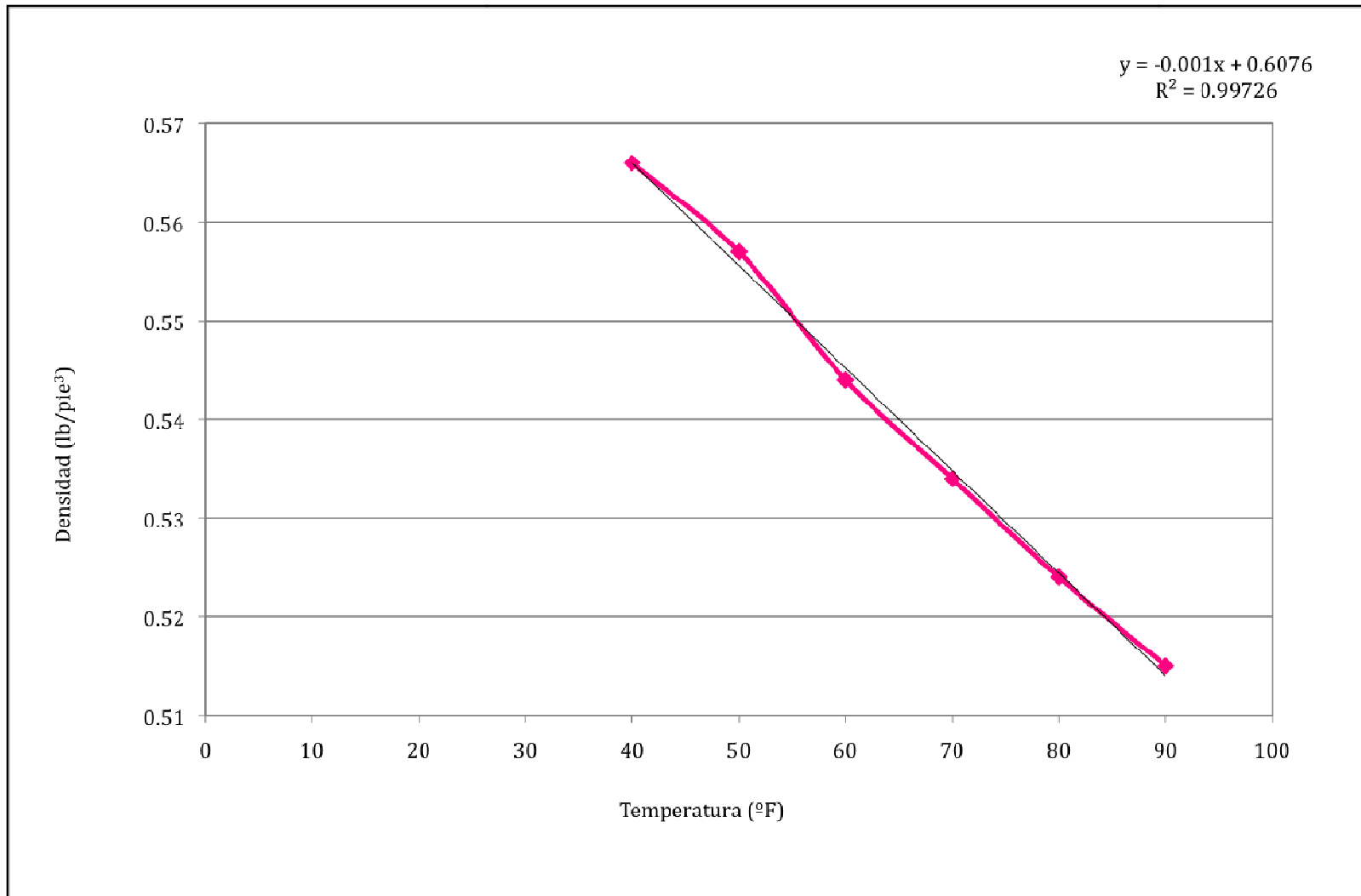
*Cuadro 41: Interpolación doble para la determinación de la densidad del aire para valores mínimos*

Temperatura (°F)	Presión (psi)		
	5	6.8504	10
60	0.102	0.1116	0.128
68	0.1010	0.1105	0.1233
70	0.101	0.1101	0.1260

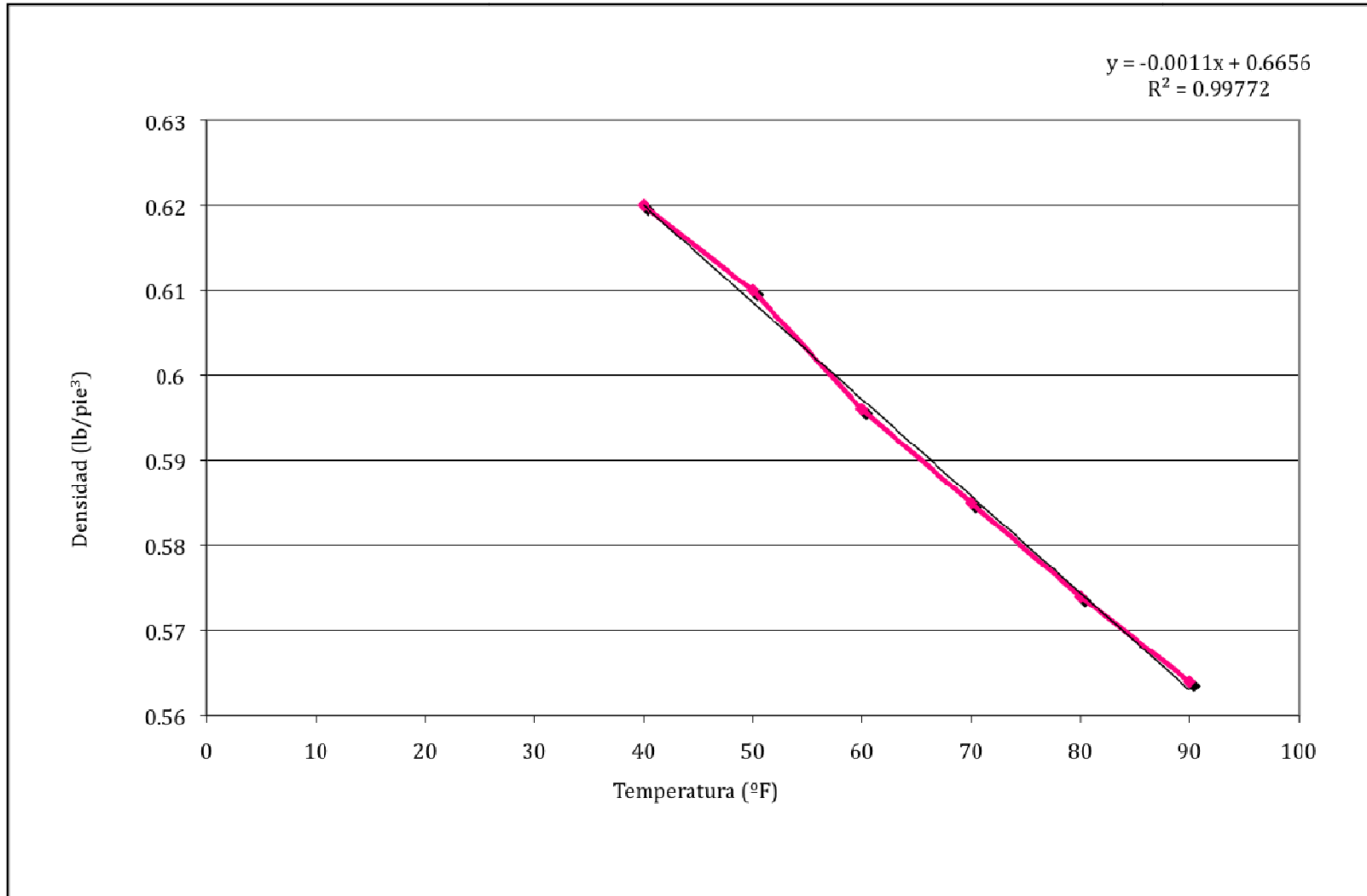
*Cuadro 42: Velocidad lineal del aire comprimido*

	Velocidad lineal (m/s)
Valor promedio	9.7137
Valor mínimo	4.6270
Valor máximo	25.7605

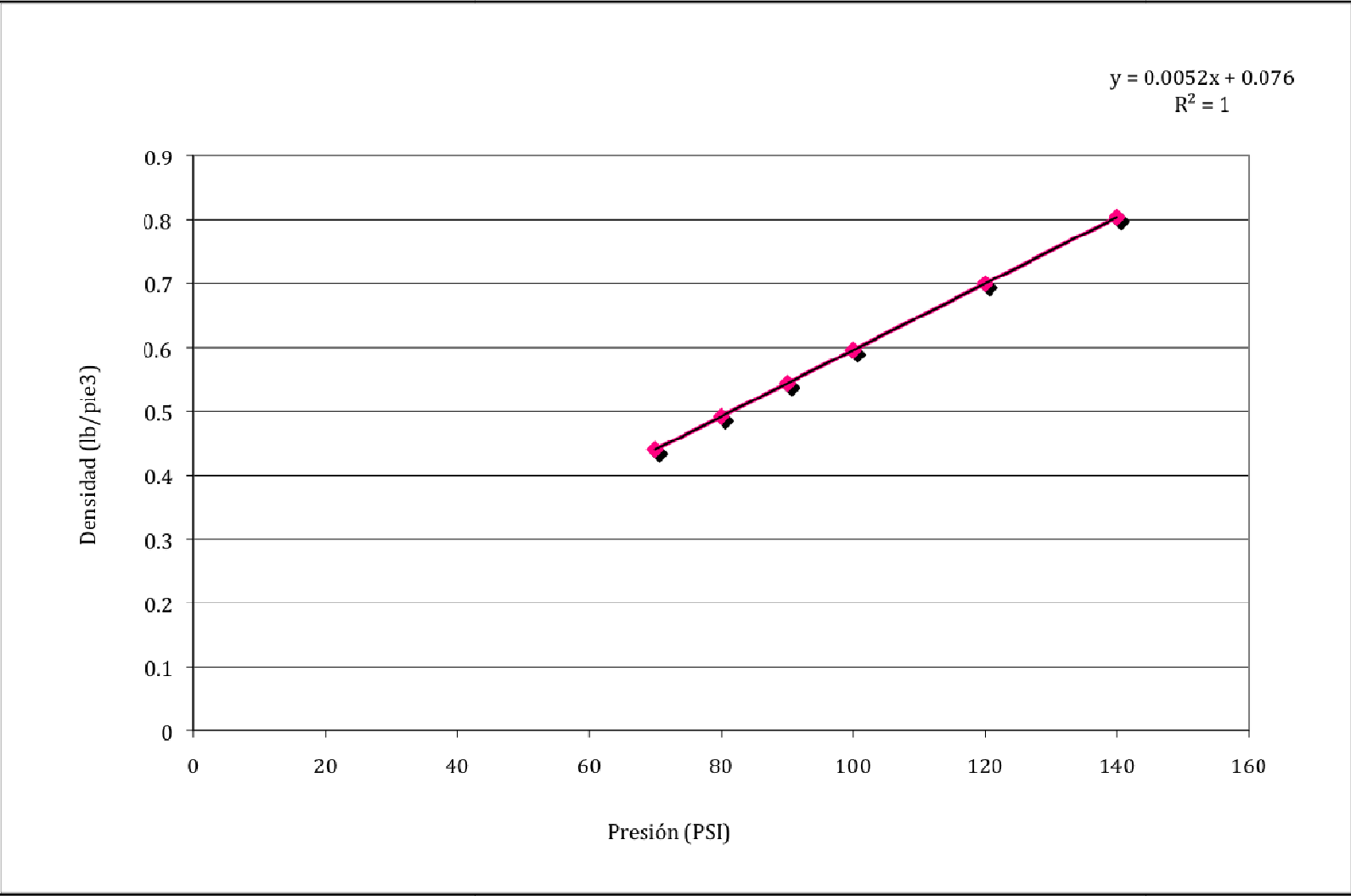
Gráfica 2: Regresión lineal para obtener la densidad de valores promedio respecto a una presión constante de 90 PSI



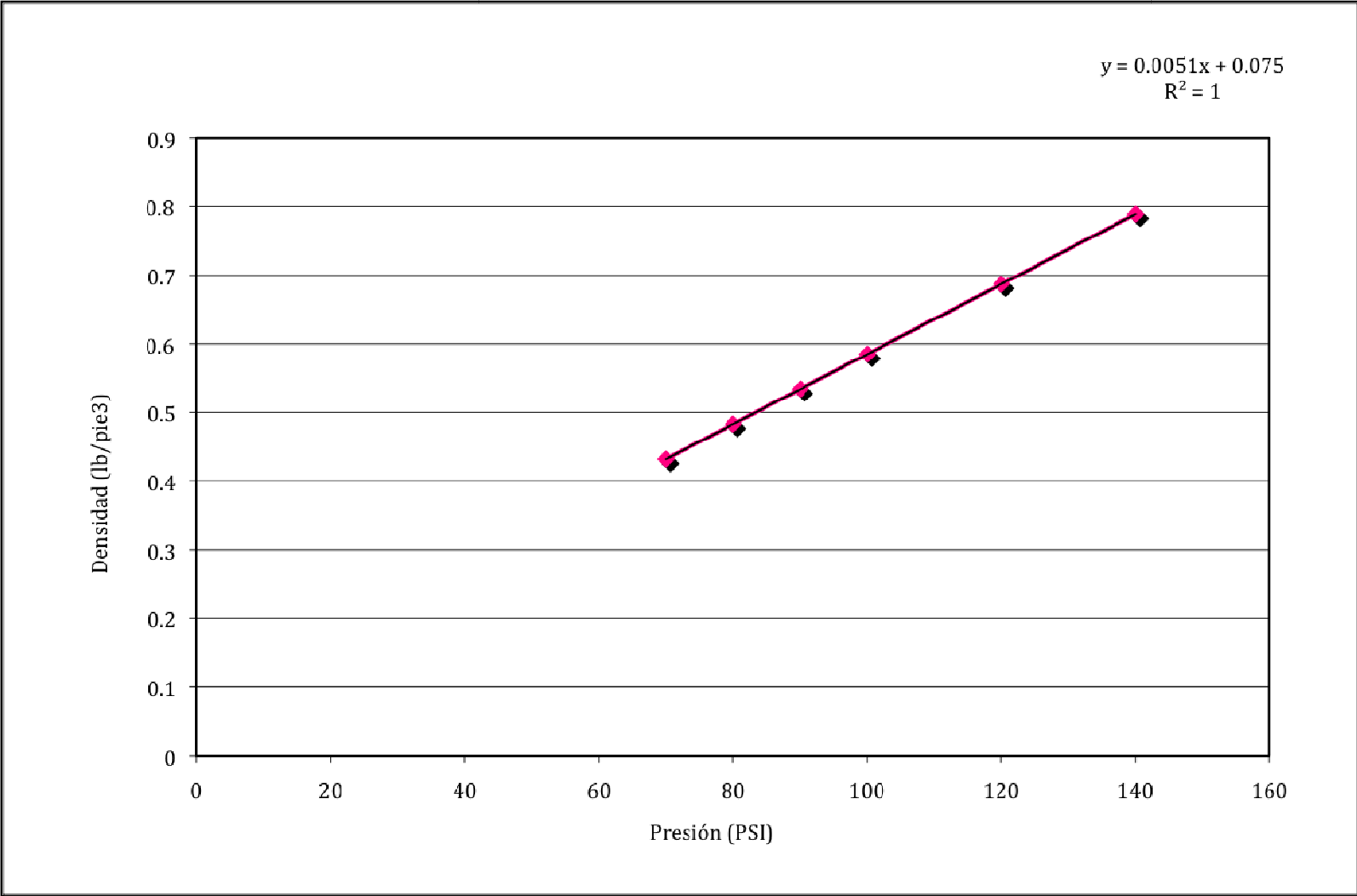
Gráfica 3: Regresión lineal para obtener la densidad de valores promedio respecto a una presión contante de 100 PSI



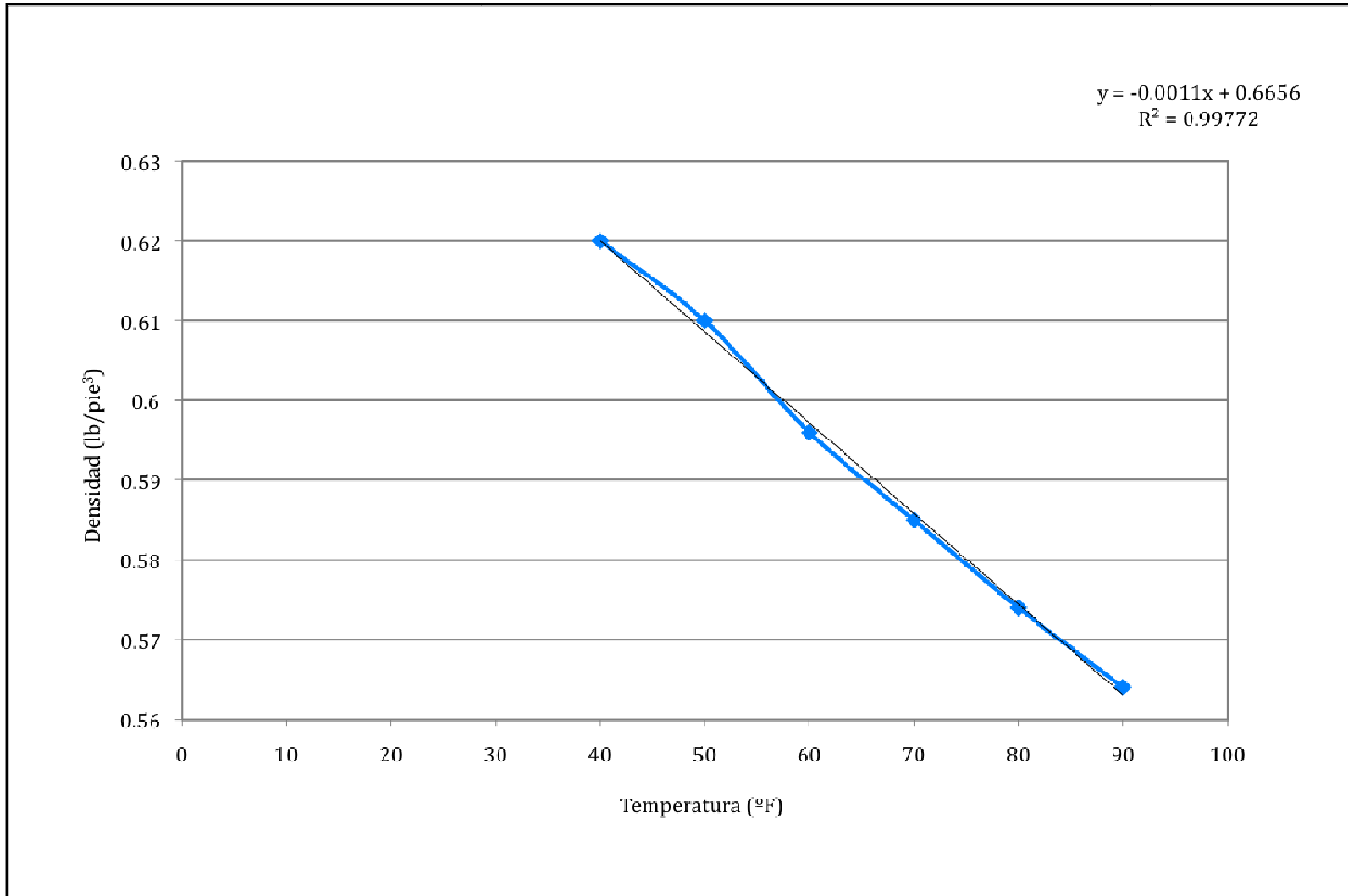
Gráfica 4: Regresión lineal para obtener la densidad de valores promedio respecto a una temperatura constante de 60°F



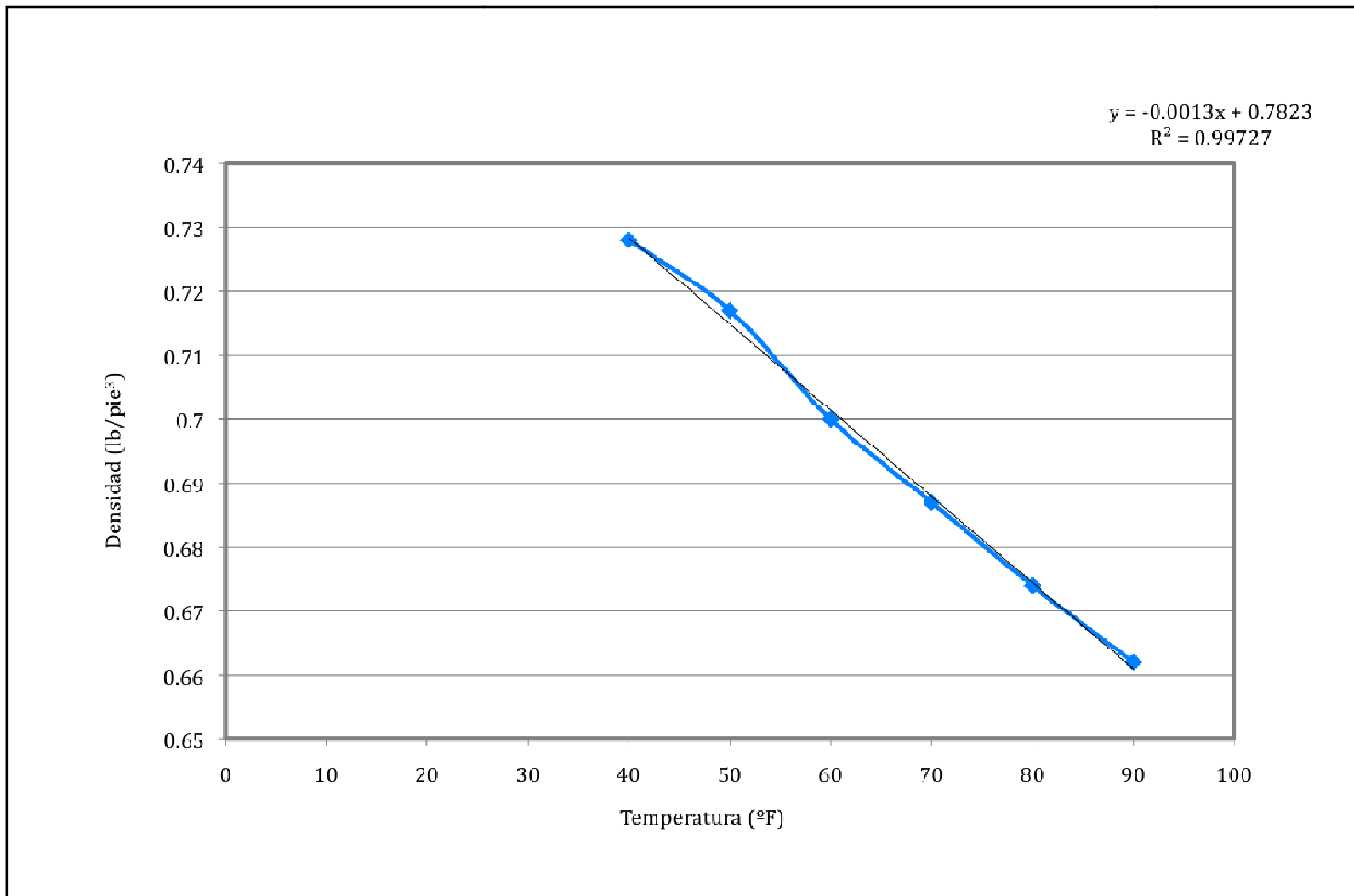
Gráfica 5: Regresión lineal para obtener la densidad de valores promedio respecto a una temperatura constante de 70°F



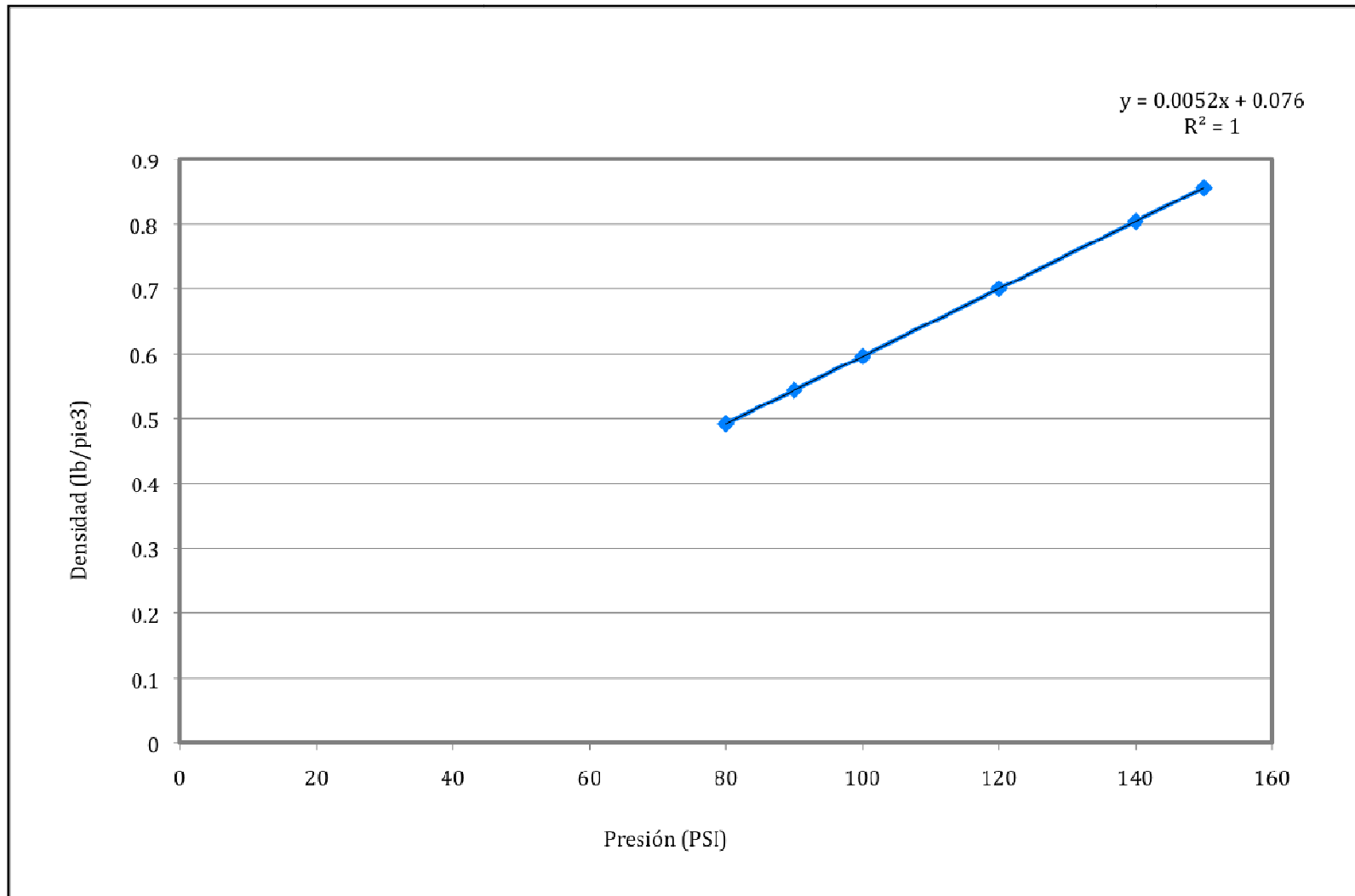
Gráfica 6: Regresión lineal para obtener la densidad de valores máximos respecto a una presión contante de 100 psi



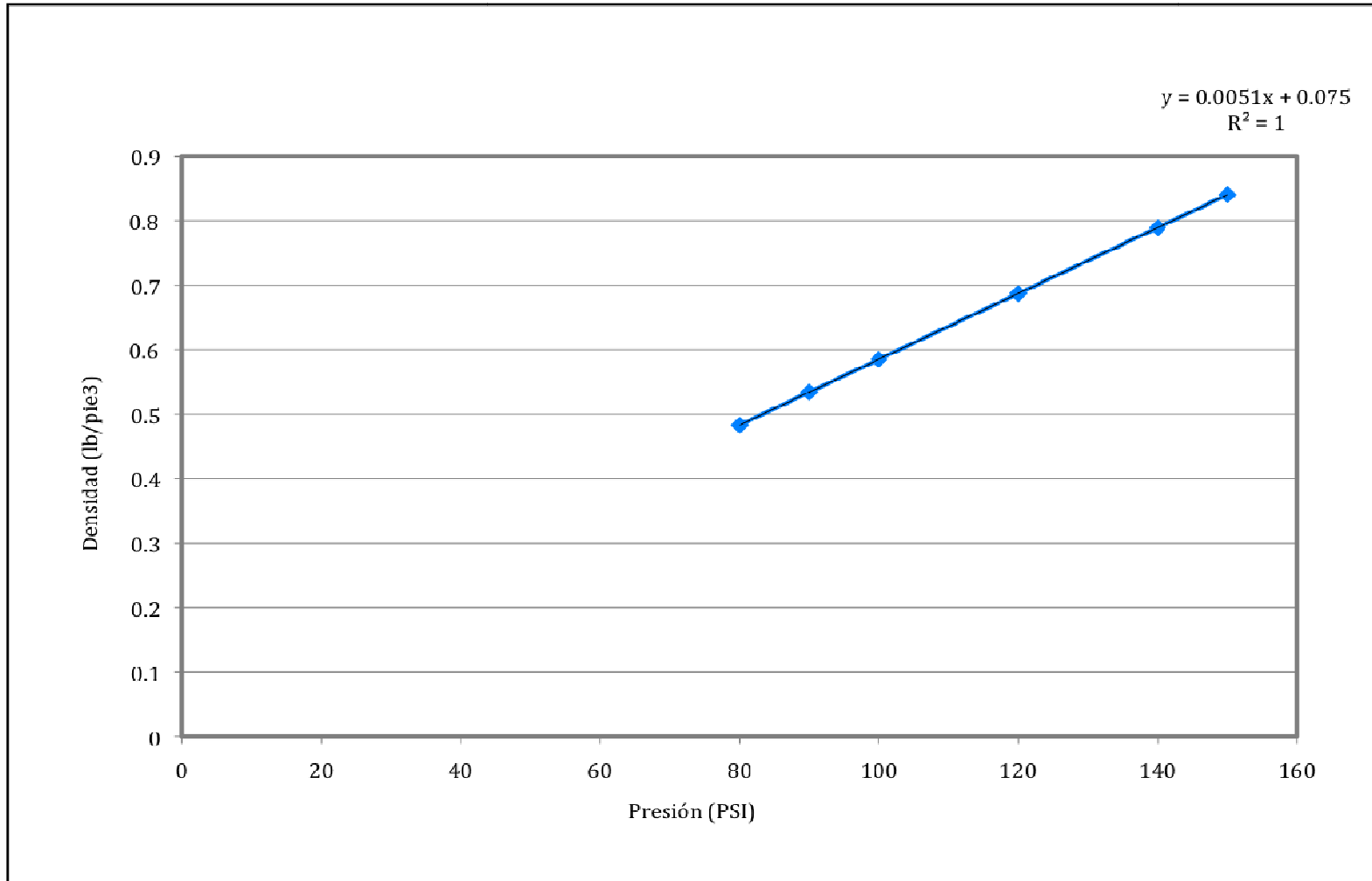
Gráfica 7: Regresión lineal para obtener la densidad de valores máximos respecto a una presión contante de 120 psi



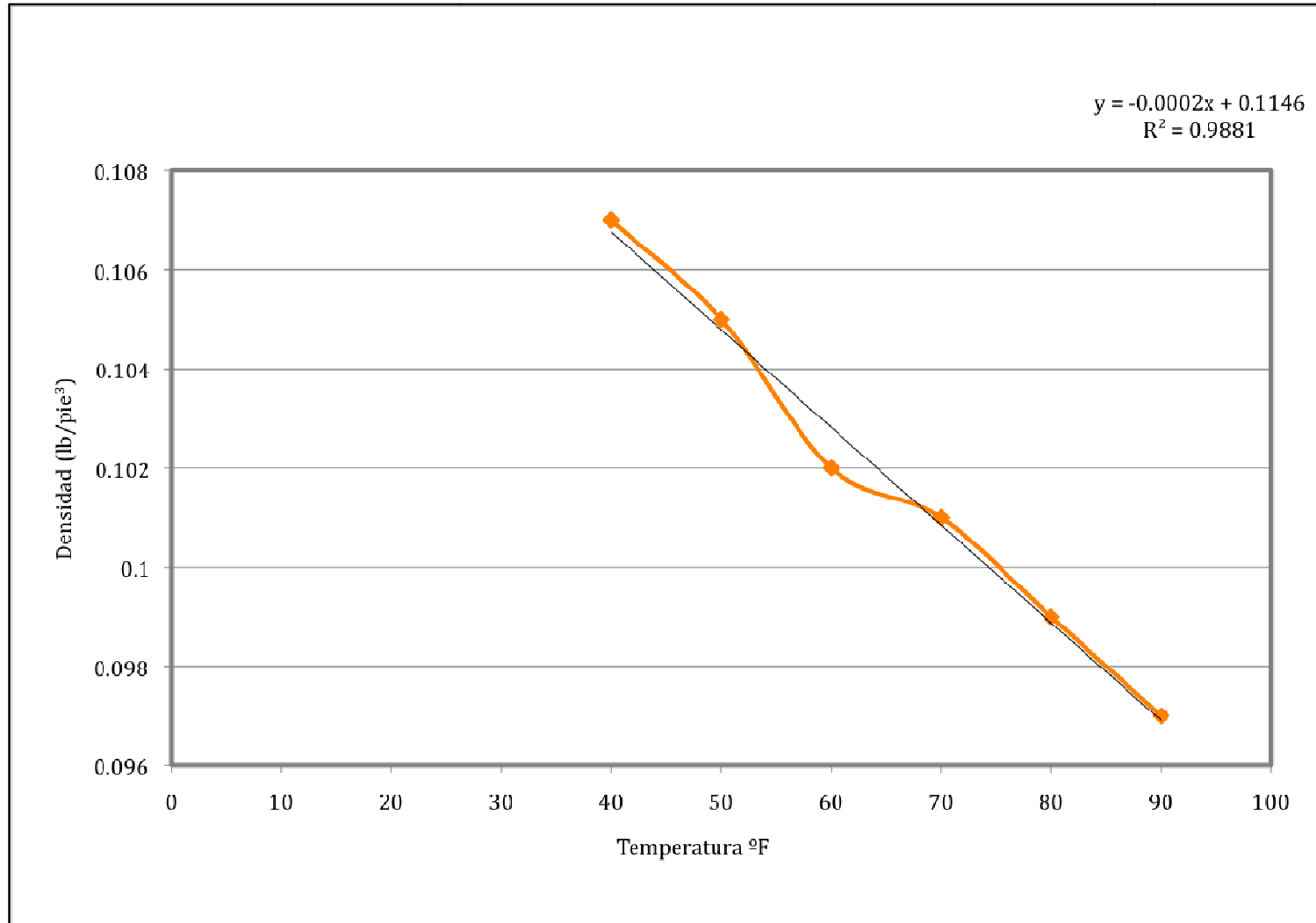
Gráfica 8: Regresión lineal para obtener la densidad de valores máximos respecto a una temperatura constante de 60°F



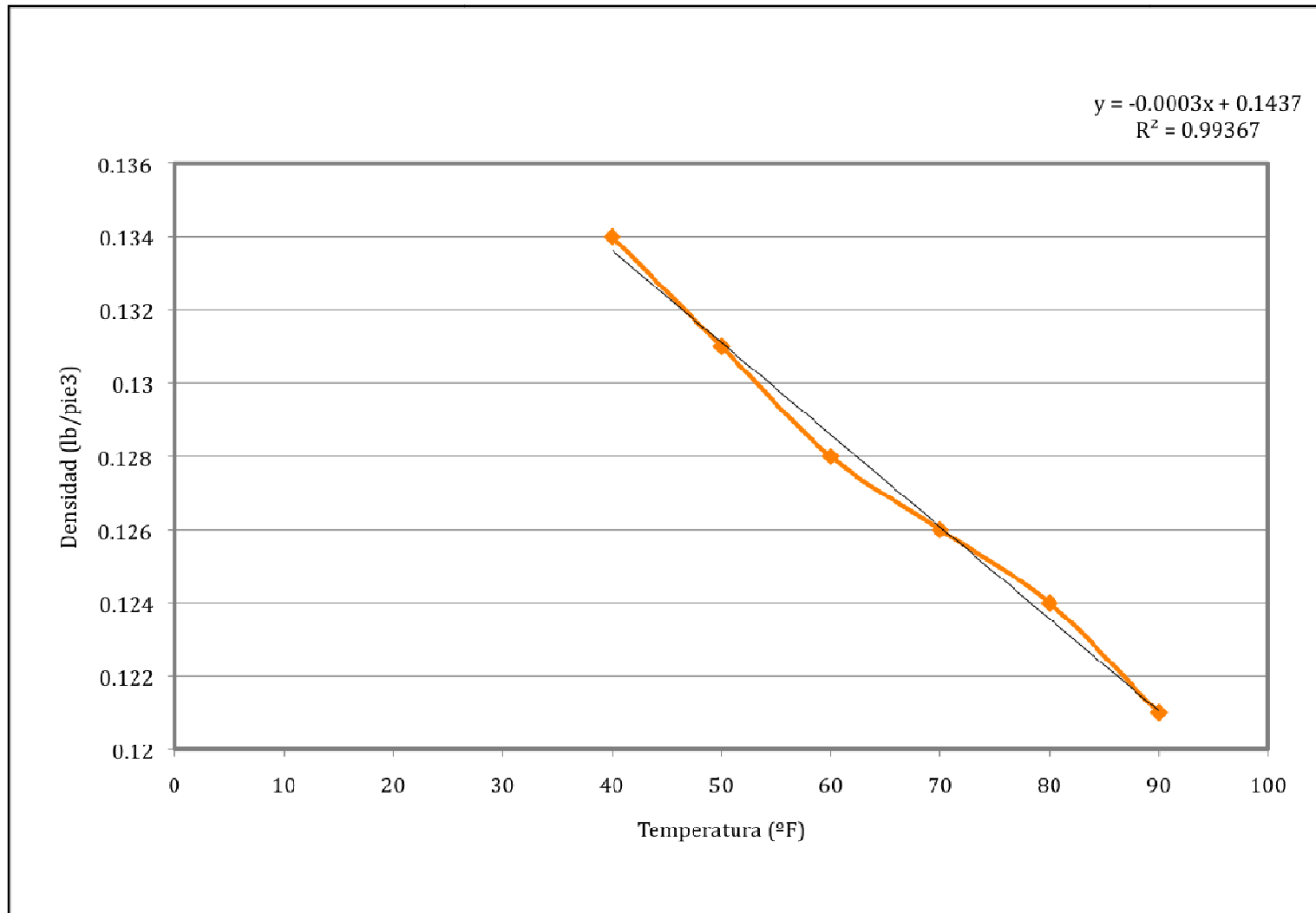
Gráfica 9: Regresión lineal para obtener la densidad de valores máximos respecto a una temperatura constante de 70°F



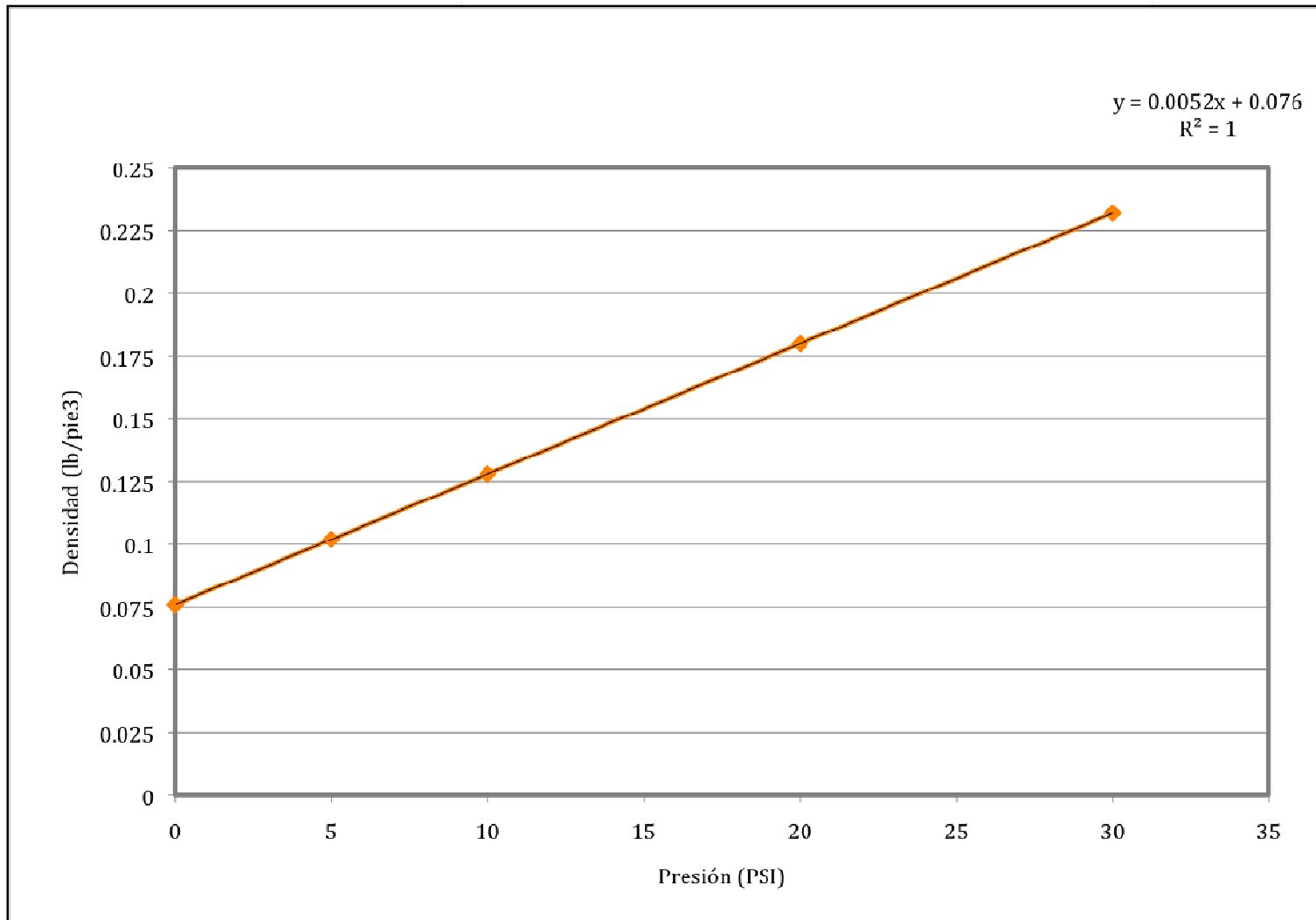
Gráfica 10: Regresión lineal para obtener la densidad de valores mínimos respecto a una presión contante de 5 psi



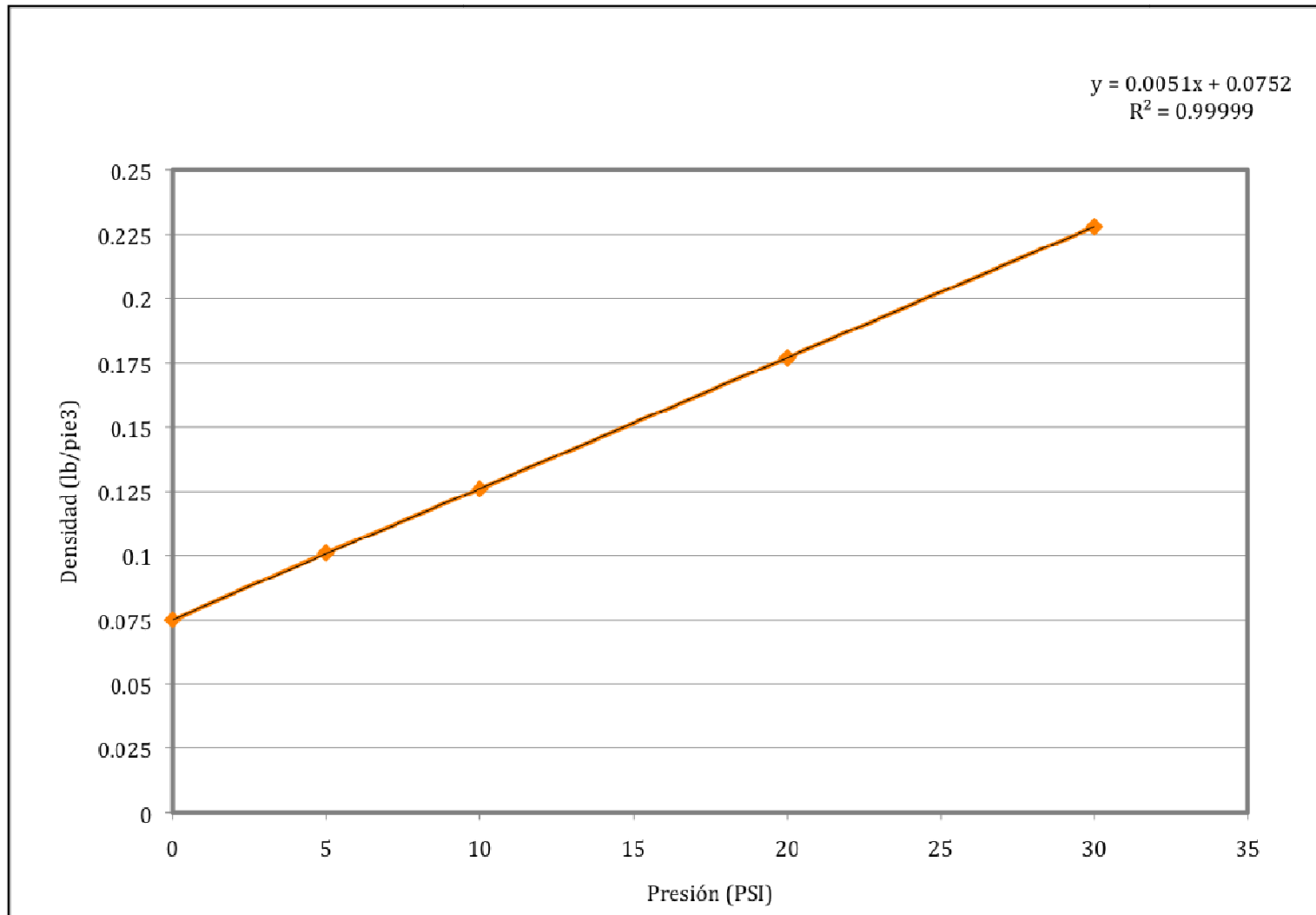
Gráfica 11: Regresión lineal para obtener la densidad de valores mínimos respecto a una presión constante de 10 psi



Gráfica 12: Regresión lineal para obtener la densidad de valores mínimos respecto a una temperatura constante de 60°F



Gráfica 13: Regresión lineal para obtener la densidad de valores mínimos respecto a una temperatura constante de 70°F



## b. Análisis económico

*Cuadro 43: Horas de trabajo para equipo actual y equipo nuevo*

	Actual	Nuevo
Horas de trabajo horas por día	3	1.5
Horas de trabajo mes	60	30
Horas de trabajo anual	660	330

*Cuadro 44: Energía de trabajo para equipo actual y equipo nuevo*

	Actual	Nuevo
Energía diaria kW-h	11.19	5.595
Energía mes kW-mes	223.80	111.90
Energía año kW-año	2,461.80	1,230.90

*Cuadro 45: Costo energético de trabajo para equipo actual y nuevo*

	Actual	Nuevo
Precio de energía diaria	Q24.95	Q12.48
Precio de energía mes	Q499.07	Q249.54
Precio de energía anual	Q5,489.81	Q2,744.91

*Cuadro 46: Ingresos de precios de ventas respecto unidades producidas para el equipo actual y nuevo*

	Actual	Nuevo
Ingreso para unidades diarias	Q1,430.00	Q2,860.00
Ingreso para unidades mes	Q28,600.00	Q57,200.00
Ingreso para unidades año	Q343,200.00	Q686,400.00

*Cuadro 47: Costos respecto unidades producidas para el equipo actual y nuevo*

	Actual	Nuevo
Unidad producida diaria	Q899.17	Q1,798.33
Unidad producida mes	Q17,983.33	Q35,966.67
Unidad producida año	Q215,800.00	Q431,600.00

*Cuadro 48: Costos variables y fijos respecto precio de venta de equipo actual*

	Porcentaje de costos sobre precio de venta	Costo respecto precio venta para una unidad
Precio Costo Unitario	62.88%	Q0.83
Costo variable	5.00%	Q0.07
Costo fijo	30%	Q0.40
TOTAL DE COSTOS	35.00%	Q0.46
GANANCIA	65.00%	Q0.86
TOTAL NETO PRECIO VENTA	100.00%	Q1.32

*Cuadro 49: Costos variables y fijos respecto precio de venta de equipo nuevo*

	Porcentaje de costos sobre precio de venta	Costo respecto precio venta para una unidad
Precio Costo Unitario	62.88%	Q0.83
Costo variable	2.50%	Q0.03
Costo fijo	30%	Q0.40
TOTAL DE COSTOS	32.50%	Q0.43
GANANCIA	67.50%	Q0.89
TOTAL NETO PRECIO VENTA	100.00%	Q1.32

*Cuadro 50: Costos extras que afectan al producto con el equipo actual y nuevo*

	Actual	Nuevo
Porcentaje por devolución	8%	1%
Porcentaje de producción	50%	100%
Costo por unidades producidas en devolución anual	Q34,528.00	Q4,316.00
Costo unidad producida anual	Q215,800.00	Q431,600.00

*Cuadro 51: Depreciación del equipo nuevo en Dólares*

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Tasa	0	10%	18%	14.40%	11.52%	9.22%	7.37%	6.55%	6.55%	6.55%	9.84%
Depreciación	\$0.00	\$500	\$900	\$720	\$576	\$461	\$368	\$327	\$327	\$327	\$492
Valor en libros	\$4,999.00	\$4,499.10	\$3,599.28	\$2,879.42	\$2,303.54	\$1,842.63	\$1,474.21	\$1,146.77	\$819.34	\$491.90	\$0.00

*Cuadro 52: Depreciación del equipo nuevo en Quetzales*

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Tasa	0	10%	18%	14.40%	11.52%	9.22%	7.37%	6.55%	6.55%	6.55%	9.84%
Depreciación	Q0.00	Q3,844.78	Q6,920.61	Q5,536.48	Q4,429.19	Q3,544.89	Q2,833.60	Q2,518.33	Q2,518.33	Q2,518.33	Q3,783.26
Valor en libros	Q38,447.81	Q34,603.03	Q27,682.42	Q22,145.94	Q17,716.75	Q14,171.86	Q11,338.26	Q8,819.93	Q6,301.60	Q3,783.26	Q0.00

Cuadro 53: Flujo de caja equipo nuevo

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
<b>INGRESOS</b>											
Ingresos	Q-	Q686,400.00	Q686,400.00	Q686,400.00	Q686,400.00	Q686,400.00	Q686,400.00	Q686,400.00	Q686,400.00	Q686,400.00	Q686,400.00
Sub-Total	Q-	Q686,400.00	Q686,400.00	Q686,400.00	Q686,400.00	Q686,400.00	Q686,400.00	Q686,400.00	Q686,400.00	Q686,400.00	Q686,400.00
<b>EGRESOS</b>											
Costos Variables											
Costos por devoluciones	Q-	-Q4,316.00	-Q4,316.00	-Q4,316.00	-Q4,316.00	-Q4,316.00	-Q4,316.00	-Q4,316.00	-Q4,316.00	-Q4,316.00	-Q4,316.00
Costos variables	Q-	-Q17,160.00	-Q17,160.00	-Q17,160.00	-Q17,160.00	-Q17,160.00	-Q17,160.00	-Q17,160.00	-Q17,160.00	-Q17,160.00	-Q17,160.00
Sub-Total	Q-	-Q21,476.00	-Q21,476.00	-Q21,476.00	-Q21,476.00	-Q21,476.00	-Q21,476.00	-Q21,476.00	-Q21,476.00	-Q21,476.00	-Q21,476.00
Costos Fijos											
Costos fijos	Q-	-Q205,920.00	-Q205,920.00	-Q205,920.00	-Q205,920.00	-Q205,920.00	-Q205,920.00	-Q205,920.00	-Q205,920.00	-Q205,920.00	-Q205,920.00
Costo mantenimiento equipo	Q-	-Q2,000.00	-Q2,000.00	-Q2,000.00	-Q2,000.00	-Q2,000.00	-Q2,000.00	-Q2,000.00	-Q2,000.00	-Q2,000.00	-Q2,000.00
Depreciación de equipo	Q-	-Q3,844.78	-Q6,920.61	-Q5,536.48	-Q4,429.19	-Q3,544.89	-Q2,833.60	-Q2,518.33	-Q2,518.33	-Q2,518.33	Q3,783.26
Sub-Total	Q-	-Q211,764.78	-Q214,840.61	-Q213,456.48	-Q212,349.19	-Q211,464.89	-Q210,753.60	-Q210,438.33	-Q210,438.33	-Q210,438.33	-Q211,703.26
Utilidad antes de impuesto	Q-	Q453,159.22	Q450,083.39	Q451,467.52	Q452,574.81	Q453,459.11	Q454,170.40	Q454,485.67	Q454,485.67	Q454,485.67	Q453,220.74
Impuesto (31%)	Q-	-Q140,479.36	-Q139,525.85	-Q139,954.93	-Q140,298.19	-Q140,572.32	-Q140,792.82	-Q140,890.56	-Q140,890.56	-Q140,890.56	-Q140,498.43
Utilidad Neta	Q-	Q312,679.86	Q310,557.54	Q311,512.59	Q312,276.62	Q312,886.79	Q313,377.57	Q313,595.11	Q313,595.11	Q313,595.11	Q312,722.31
Depreciación de equipo	Q-	Q3,844.78	Q6,920.61	Q5,536.48	Q4,429.19	Q3,544.89	Q2,833.60	Q2,518.33	Q2,518.33	Q2,518.33	Q3,783.26
<b>INVERSION EQUIPO</b>											
Costo equipo	-Q42,677.91										
Flete	-Q432.62										
Costos extra	-Q18,400.36										
Sub-Total	-Q61,510.90										
Flujo caja	-Q61,510.90	Q316,524.64	Q317,478.15	Q317,049.07	Q316,705.81	Q316,431.68	Q316,211.18	Q316,113.44	Q316,113.44	Q316,113.44	Q316,505.57
PRI (años)		0.19	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00
PRI (meses)		2.14	-10.97	-11.01	-11.01	-11.01	-11.01	-11.00	-11.00	-11.00	-10.99



Cuadro 55: Valor Actual (VA) y Valor Actual Neto (VAN) del equipo actual y nuevo

	Actual	Nuevo
VA	Q847,368.96	Q1,423,094.89
VAN	Q847,368.96	Q1,361,583.99

Cuadro 56: Cuadro de anualidades para obtener el Valor Actual (VA) del equipo actual

Año (n)	Flujo	Factor	VA
0	Q0.00	1.0000	Q0.00
1	Q188,552.00	0.8475	Q159,789.83
2	Q188,552.00	0.7182	Q135,415.11
3	Q188,552.00	0.6086	Q114,758.57
4	Q188,552.00	0.5158	Q97,253.02
5	Q188,552.00	0.4371	Q82,417.82
6	Q188,552.00	0.3704	Q69,845.61
7	Q188,552.00	0.3139	Q59,191.19
8	Q188,552.00	0.2660	Q50,162.03
9	Q188,552.00	0.2255	Q42,510.19
10	Q188,552.00	0.1911	Q36,025.59

Cuadro 57: Cuadro de anualidades para obtener el Valor Actual (VA) del equipo nuevo

Año (n)	Flujo	Factor	VA
0	- Q61,510.90	1.0000	-Q61,510.90
1	Q316,524.64	0.8475	Q268,241.22
2	Q317,478.15	0.7182	Q228,007.86
3	Q317,049.07	0.6086	Q192,965.85
4	Q316,705.81	0.5158	Q163,353.33
5	Q316,431.68	0.4371	Q138,315.20
6	Q316,211.18	0.3704	Q117,134.59
7	Q316,113.44	0.3139	Q99,235.92
8	Q316,113.44	0.2660	Q84,098.24
9	Q316,113.44	0.2255	Q71,269.69
10	Q316,505.57	0.1911	Q60,472.97

*Cuadro 58: Punto de equilibrio equipo actual y nuevo*

	Actual	Nuevo
Porcentaje de punto de equilibrio respecto cantidad de unidades producidas	31.58%	30.77%
Punto de equilibrio en cantidad de unidades producidas	210,122	420,245

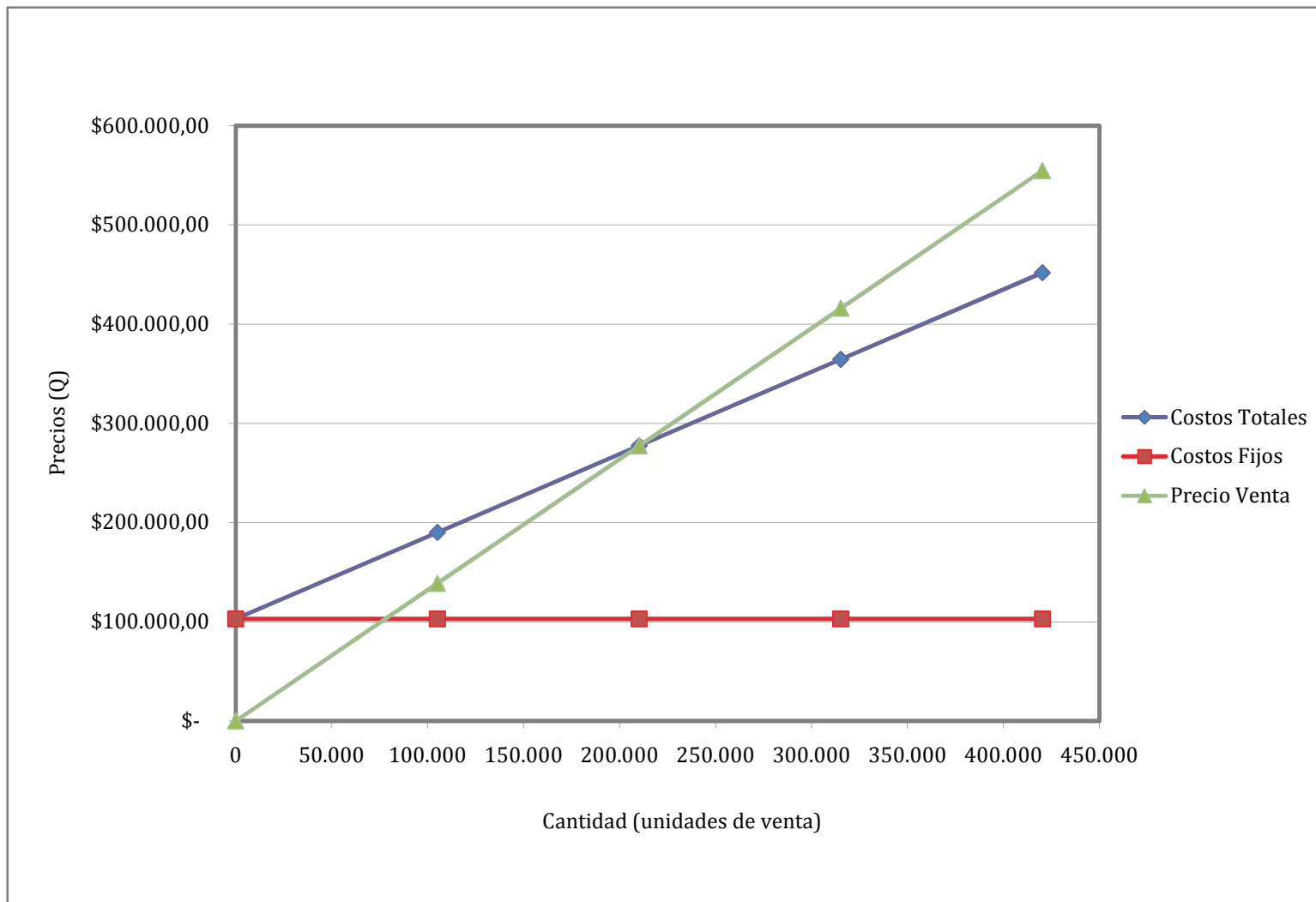
*Cuadro 59: Datos para la obtención del punto de equilibrio en forma gráfica para equipo actual*

Cantidad ventas	0	105,061	<b>210,122</b>	315,184	420,245
Precio ventas	Q0.00	Q138,680.82	Q277,361.63	Q416,042.45	Q554,723.27
Costo variable	Q0.00	Q87,200.82	Q174,401.63	Q261,602.45	Q348,803.27
Costo fijo	Q102,960.00	Q102,960.00	Q102,960.00	Q102,960.00	Q102,960.00
Costo total	Q102,960.00	Q190,160.82	Q277,361.63	Q364,562.45	Q451,763.27
Beneficio	- Q102,960.00	- Q51,480.00	Q0.00	Q51,480.00	Q102,960.00

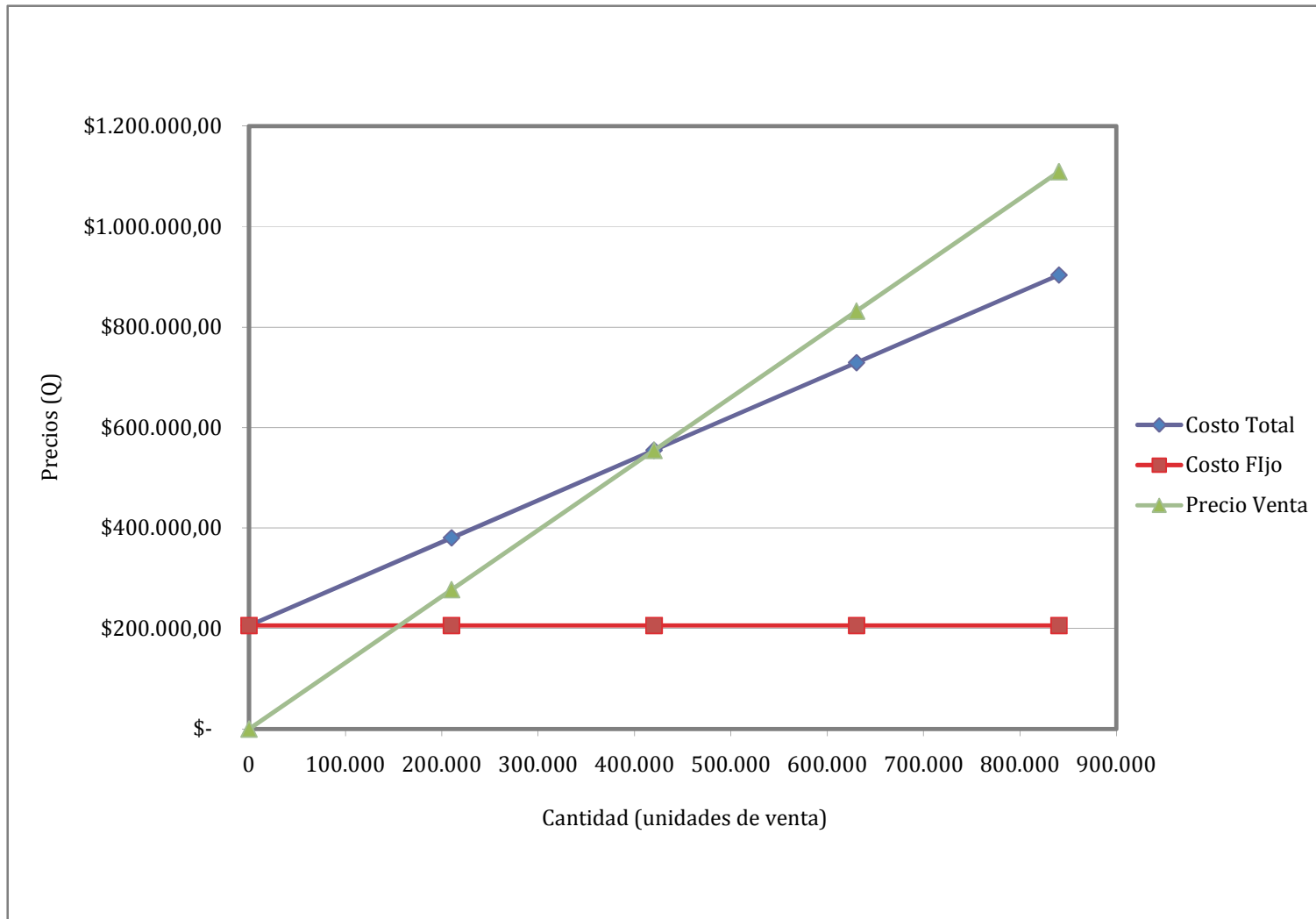
*Cuadro 60: Datos para la obtención del punto de equilibrio en forma gráfica para equipo nuevo*

Cantidad ventas	0	210,122	<b>420,245</b>	630,367	840,490
Precio ventas	Q0.00	Q277,361.63	Q554,723.27	Q832,084.90	Q1,109,446.53
Costo variable	Q0.00	Q174,401.63	Q348,803.27	Q523,204.90	Q697,606.53
Costo fijo	Q205,920.00	Q205,920.00	Q205,920.00	Q205,920.00	Q205,920.00
Costo total	Q205,920.00	Q380,321.63	Q554,723.27	Q729,124.90	Q903,526.53
Beneficio	- Q205,920.00	- Q102,960.00	Q0.00	Q102,960.00	Q205,920.00

Gráfica 14: Punto de equilibrio equipo actual



Gráfica 15: Punto de equilibrio equipo actual



## B. APÉNDICE 2

## 1. Tabla de conversiones

Viscosidad			
1	cp =	6.72E-04	lbf/pie s
1	cp =	1.00E-03	kg/ m s
Longitud			
1	m =	3.2808	pie
1	Pie =	12	plg
1	Plg =	0.0254	m
Presión			
1	Psi =	6,894.7	Pa
Densidad			
1	lb/ft <sup>3</sup> =	16.0521	kg/m <sup>3</sup>
Caudal			
1	cfm =	0.0283	m <sup>3</sup> /min
Área			
1	plg <sup>2</sup> =	0.0006	m <sup>2</sup>
1	psi =	6,894.7	Pa
Energía			
1	hp =	0.7457	kW

## 2. Tabla de densidades para aire comprimido

Temperatura (°F)	Presión (PSI)																
	0	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	120	140	150	200	250
30	0.081	0.109	0.136	0.192	0.247	0.302	0.357	0.412	0.467	0.522	0.578	0.633	0.743	0.853	0.909	1.185	1.46
40	0.08	0.107	0.134	0.188	0.242	0.295	0.35	0.404	0.458	0.512	0.566	0.62	0.728	0.836	0.89	1.161	1.431
50	0.078	0.105	0.131	0.185	0.238	0.291	0.344	0.397	0.451	0.504	0.557	0.61	0.717	0.823	0.876	1.142	1.408
60	0.076	0.102	0.128	0.18	0.232	0.284	0.336	0.388	0.44	0.492	0.544	0.596	0.7	0.804	0.856	1.116	1.376
70	0.075	0.101	0.126	0.177	0.228	0.279	0.33	0.381	0.432	0.483	0.534	0.585	0.687	0.789	0.84	1.095	1.35
80	0.074	0.099	0.124	0.174	0.224	0.274	0.324	0.374	0.424	0.474	0.524	0.574	0.674	0.774	0.824	1.075	1.325
90	0.072	0.097	0.121	0.171	0.22	0.269	0.318	0.367	0.416	0.465	0.515	0.564	0.662	0.76	0.809	1.055	1.301
100	0.071	0.095	0.119	0.168	0.216	0.264	0.312	0.361	0.409	0.457	0.505	0.554	0.65	0.747	0.795	1.036	1.278
120	0.069	0.092	0.115	0.162	0.208	0.255	0.302	0.348	0.395	0.441	0.488	0.535	0.628	0.721	0.768	1.001	1.234
140	0.066	0.089	0.111	0.156	0.201	0.246	0.291	0.337	0.382	0.427	0.472	0.517	0.607	0.697	0.742	0.967	1.193
150	0.065	0.087	0.109	0.154	0.198	0.242	0.287	0.331	0.375	0.42	0.464	0.508	0.597	0.686	0.73	0.951	1.173
200	0.06	0.081	0.101	0.142	0.183	0.244	0.265	0.306	0.347	0.388	0.429	0.47	0.552	0.634	0.675	0.879	1.084
250	0.056	0.075	0.094	0.132	0.17	0.208	0.246	0.284	0.322	0.361	0.399	0.437	0.513	0.589	0.627	0.817	1.088
300	0.052	0.07	0.088	0.123	0.159	0.195	0.23	0.266	0.301	0.337	0.372	0.408	0.479	0.55	0.586	0.764	0.941
400	0.046	0.062	0.078	0.109	0.141	0.172	0.203	0.235	0.266	0.298	0.329	0.36	0.423	0.486	0.518	0.675	0.832
500	0.041	0.056	0.07	0.098	0.126	0.154	0.182	0.21	0.238	0.267	0.295	0.323	0.379	0.436	0.464	0.604	0.745
600	0.038	0.05	0.063	0.089	0.114	0.14	0.165	0.19	0.216	0.241	0.267	0.292	0.343	0.394	0.42	0.547	0.675

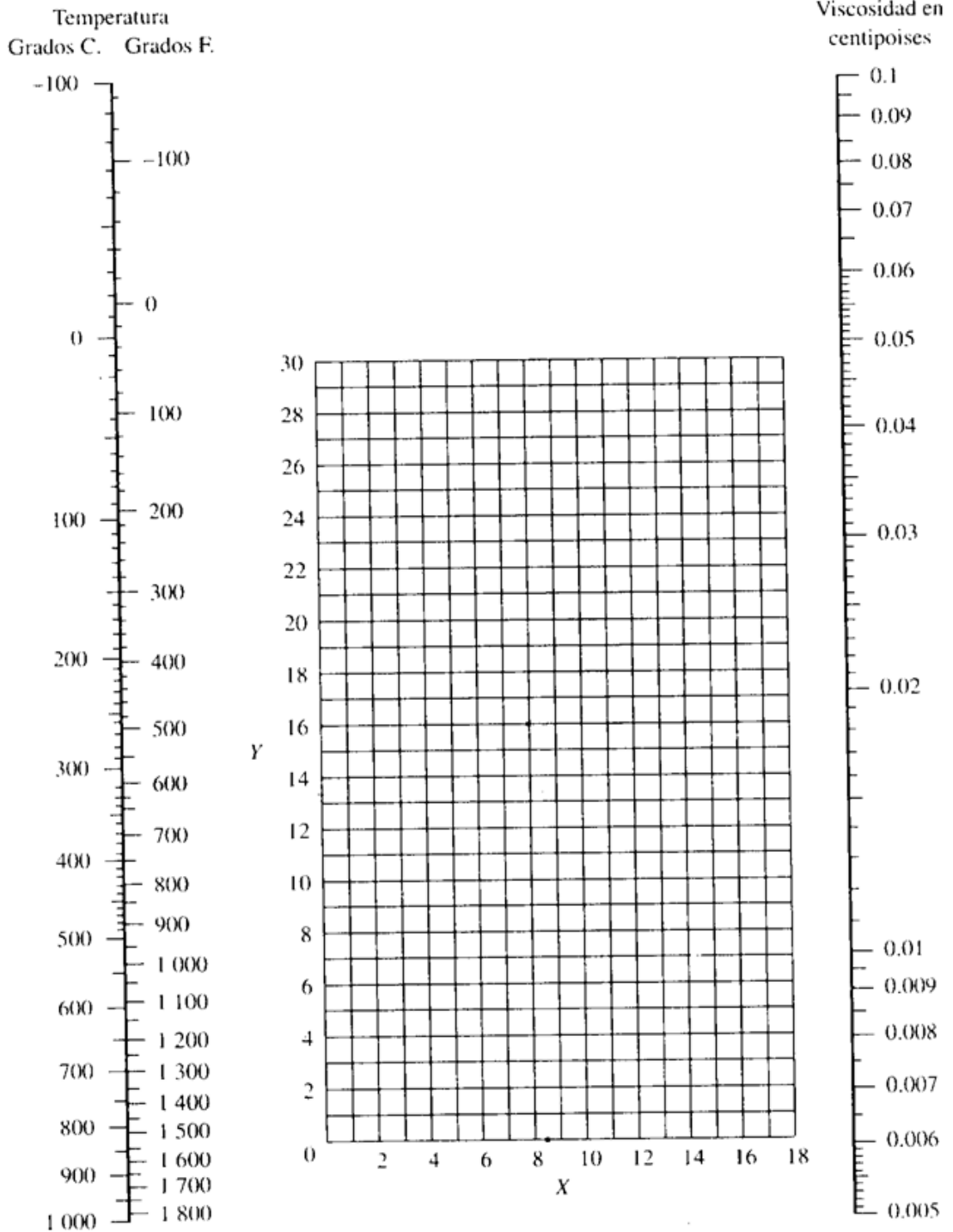
NOTA: Densidad basada en 14.696 psia de presión atmosférica y un peso molecular de 28.97g/mol

## 3. Tabla de Viscosidades de gases

No.	Gas	X	Y	No.	Gas	X	Y
1	Acido acético	7.7	14.3	29	Freón-113	11.3	14
2	Acetona	8.9	13.0	30	Helio	10.9	20.5
3	Acetileno	9.8	14.9	31	Hexano	8.6	11.8
4	Aire	11.0	20.0	32	Hidrógeno	11.2	12.4
5	Amoniaco	8.4	16.0	33	3H <sub>2</sub> + N <sub>2</sub>	11.2	17.2
6	Argón	10.5	22.4	34	Bromuro de hidrógeno	8.8	20.9
7	Benceno	8.5	13.2	35	Cloruro de hidrógeno	8.8	18.7
8	Bromo	8.9	19.2	36	Cianuro de hidrógeno	9.8	14.9
9	Buteno	9.2	13.7	37	Yoduro de hidrógeno	9.0	21.3
10	Butileno	8.9	13.0	38	Sulfuro de hidrógeno	8.6	18
11	Dióxido de carbono	9.5	18.7	39	Yodo	9.0	18.4
12	Disulfuro de carbono	8.0	16.0	40	Mercurio	5.3	22.9
13	Monóxido de carbono	11.0	20.0	41	Metano	9.9	15.5
14	Cloro	9.0	18.4	42	Alcohol metílico	8.5	15.6
15	Cloroformo	8.9	15.7	43	Óxido nítrico	10.9	20.5
16	Cianógeno	9.2	15.2	44	Nitrógeno	10.6	20
17	Ciclohexano	9.2	12.0	45	Cloruro de nitrosilo	8.0	17.6
18	Etano	9.1	14.5	46	Óxido nitroso	8.8	19
19	Acetato de etilo	8.5	13.2	47	Oxígeno	11.0	21.3
20	Alcohol etílico	9.2	14.2	48	Pentano	7.0	12.8
21	Cloruro de etilo	8.5	15.6	49	Propano	9.7	12.9
22	Éter etílico	8.9	13.0	50	Alcohol propílico	8.4	13.4
23	Etileno	9.5	15.1	51	Propileno	9.0	13.8
24	Flúor	7.3	23.8	52	Dióxido de azufre	9.6	17
25	Freón-11	10.6	15.1	53	Tolueno	8.6	12.4
26	Freón-12	11.1	16.0	54	2,3,3-Trimetilbutano	9.5	10.5
27	Freón-21	10.8	15.3	55	Agua	8.0	16
28	Freón-22	10.1	17.0	56	Xenón	9.3	23

(referencia Apéndice 8, Smith 2003)

Determinación de la viscosidad de gases



Viscosidades de gases y vapores a 1 atm; para las coordenadas, véase la tabla de la página anterior.

## 4. Tabla termodinámica de propiedades de especies puras

	Masa molar	$\omega$	$T_c / K$	$P_c / \text{bar}$	$Z_c$	$V_c$ $\text{cm}^3 \text{mol}^{-1}$	$T_b / K$
Metanol	32.042	0.564	512.6	80.97	0.224	118.	337.9
Etanol	46.069	0.645	513.9	61.48	0.240	167.	351.4
1-Propanol	60.096	0.622	536.8	51.75	0.254	219.	370.4
1-Butanol	74.123	0.594	563.1	44.23	0.260	275.	390.8
1-Hexanol	102.177	0.579	611.4	35.10	0.263	381.	430.6
2-Propanol	60.096	0.668	508.3	47.62	0.248	220.	355.4
Fenol	94.113	0.444	694.3	61.30	0.243	229.	455.0
Etilenglicol	62.068	0.487	719.7	77.00	0.246	191.0	470.5
Ácido acético	60.053	0.467	592.0	57.86	0.211	179.7	391.1
Ácido <i>n</i> -Butírico	88.106	0.681	615.7	40.64	0.232	291.7	436.4
Ácido benzoico	122.123	0.603	751.0	44.70	0.246	344.	522.4
Acetonitrilo	41.053	0.338	545.5	48.30	0.184	173.	354.8
Metilamina	31.057	0.281	430.1	74.60	0.321	154.	266.8
Etilamina	45.084	0.285	456.2	56.20	0.307	207.	289.7
Nitrometano	61.040	0.348	588.2	63.10	0.223	173.	374.4
Tetracloruro de carbono	153.822	0.193	556.4	45.60	0.272	276.	349.8
Cloroformo	119.377	0.222	536.4	54.72	0.293	239.	334.3
Diclorometano	84.932	0.199	510.0	60.80	0.265	185.	312.9
Cloruro de metilo	50.488	0.153	416.3	66.80	0.276	143.	249.1
Cloruro de etilo	64.514	0.190	460.4	52.70	0.275	200.	285.4
Clorobenceno	112.558	0.250	632.4	45.20	0.265	308.	404.9
Tetrafluoroetano	102.030	0.327	374.2	40.60	0.258	198.0	247.1
Argón	39.948	0.000	150.9	48.98	0.291	74.6	87.3
Kriptón	83.800	0.000	209.4	55.02	0.288	91.2	119.8
Xenón	131.30	0.000	289.7	58.40	0.286	118.0	165.0
Helio 4	4.003	-0.390	5.2	2.28	0.302	57.3	4.2
Hidrógeno	2.016	-0.216	33.19	13.13	0.305	64.1	20.4
Oxígeno	31.999	0.022	154.6	50.43	0.288	73.4	90.2
Nitrógeno	28.014	0.038	126.2	34.00	0.289	89.2	77.3
Aire <sup>†</sup>	28.851	0.035	132.2	37.45	0.289	84.8	
Cloro	70.905	0.069	417.2	77.10	0.265	124.	239.1
Monóxido de carbono	28.010	0.048	132.9	34.99	0.299	93.4	81.7
Bióxido de carbono	44.010	0.224	304.2	73.83	0.274	94.0	
Disulfuro de carbono	76.143	0.111	552.0	79.00	0.275	160.	319.4
Sulfuro de hidrógeno	34.082	0.094	373.5	89.63	0.284	98.5	212.8
Bióxido de azufre	64.065	0.245	430.8	78.84	0.269	122.	263.1
Trióxido de azufre	80.064	0.424	490.9	82.10	0.255	127.	317.9
Óxido nítrico (NO)	30.006	0.583	180.2	64.80	0.251	58.0	121.4
Óxido nitroso (N <sub>2</sub> O)	44.013	0.141	309.6	72.45	0.274	97.4	184.7
Cloruro de hidrógeno	36.461	0.132	324.7	83.10	0.249	81.	188.2
Cianuro de hidrógeno	27.026	0.410	456.7	53.90	0.197	139.	298.9
Agua	18.015	0.345	647.1	220.55	0.229	55.9	373.2
Amoniaco	17.031	0.253	405.7	112.80	0.242	72.5	239.7
Ácido nítrico	63.013	0.714	520.0	68.90	0.231	145.	356.2
Ácido sulfúrico	98.080	...	924.0	64.00	0.147	177.	610.0

Pseudoparámetros para  $y_{N_2} = 0.79$  y  $y_{O_2} = 0.21$ . Véase ecuaciones (6.88)-(6.90).

(Referencia Apéndice B Tabla B.1 (Smith 2003))





## 5. Tasas de recuperación aplicadas al costo inicial mediante el método SMARC,

Tasa de depreciación (%) para cada período de recuperación SMARC en años						
Año	n = 3	n = 5	n = 7	n = 10	n = 15	n = 20
1	33.33	20.00	14.29	10.00	5.00	3.75
2	44.45	32.00	24.49	18.00	9.50	7.22
3	14.81	19.20	17.49	14.40	8.55	6.68
4	7.41	11.52	12.49	11.52	7.70	6.18
5		11.52	8.93	9.22	6.93	5.71
6		5.76	8.92	7.37	6.23	5.29
7			8.93	6.55	5.90	4.89
8			4.46	6.55	5.90	4.52
9				6.55	5.91	4.46
10				6.55	5.90	4.46
11				3.28	5.91	4.46
12					5.90	4.46
13					5.91	4.46
14					5.90	4.46
15					5.91	4.46
16					2.95	4.46
17 - 20						4.46
21						2.23

(referencia Tabla 13.2 Tarquin)

## 6. Simbología de sistemas neumáticos según norma ISO 1219

La norma ISO 1219, establece los elementos básicos de los símbolos. Establece normas para la elaboración de los símbolos de poder fluido para su uso en componentes y en circuitos.

	Compresor de tornillo		Válvula de corte tipo mariposa		Secador desecante
	Manguera		Separador agua-aceite		Tanque
	Separador ciclónico		Intercambiador de calor		Válvula de alivio de presión
	Válvula tipo bola		Medidor de flujo		Brida para prueba
	Dren de condensados		Secador refrigerativo		Interruptor de presión
	Microfiltro con indicador electrónico de presión diferencial		Línea de aire comprimido		Compresor de pistón
	Microfiltro con indicador de presión diferencial		Línea de condensados		Válvula principal de alimentación de aire
	Filtro estéril		Línea eléctrica		Controlador
	Absorbedor de carbón activado		Manómetro		Dren de condensados (símbolo general)
	Secador de membrana con prefiltro		Compensador axial		Compensador axial

(referencia, Seminario Aire Comprimido Kaeser, 2008)

## 7. Diámetros mínimos de tubería de aire comprimido

Entrega (m <sup>3</sup> /min.)	Presión de Trabajo 7.5 bar			
	Longitud Tubería			
	hasta 50 m	hasta 100 m	hasta 200 m	más de 200m
hasta 0.5	3/4 "	1"	1 1/4"	Ver el nomograma
hasta 1.0	1"	1"	1 1/4"	
hasta 1.5	1"	1 1/4"	1 1/2"	
hasta 2.0	1 1/4"	1 1/2"	2"	
hasta 3.0	1 1/4"	1 1/2"	2"	
hasta 5.0	1 1/2"	2"	2"	
hasta 7.5	2"	2"	2"	
hasta 10.0	2"	2 1/2"	2 1/2"	Ver el nomograma
hasta 12.5	2 1/2"	2 1/2"	3"	
hasta 15.0	2 1/2"	2 1/2"	3"	
hasta 17.5	2 1/2"	3"	DN 100	
hasta 20	3"	3"	DN 100	
hasta 25	3"	DN 100	DN 100	
hasta 30	3"	DN 100	DN 100	
hasta 40	DN 100	DN 100	DN 125	

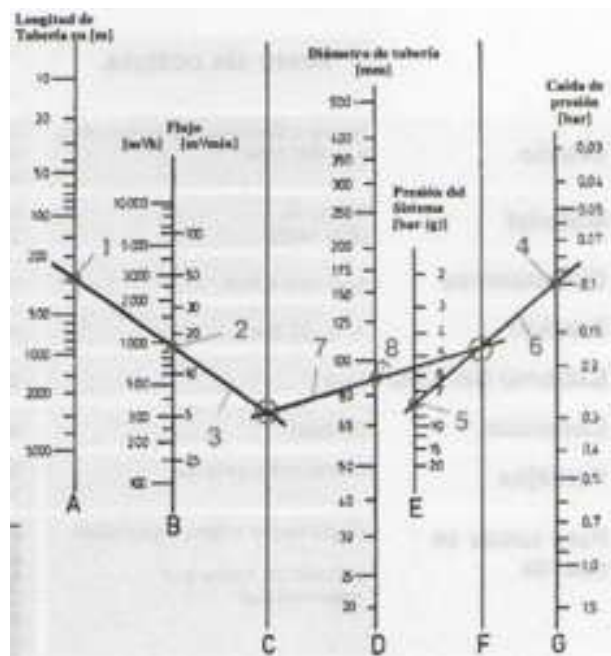
Nomograma para determinar el diámetro de la tubería

(pasos 1 a 8)

Fórmula General.

$$d_i = \sqrt[5]{\frac{1.6 \times 10^3 \times \dot{V}^{1.85} \times L}{\Delta p \times p_s}}$$

$d_i$  = Diámetro Interior (m)  
 $p_s$  = Presión del Sistema (en Pa)  
 $L$  = Longitud total (m)  
 $\dot{V}$  = Flujo (m<sup>3</sup>/s)  
 $\Delta p$  = Caída de presión (Pa)



(referencia, Seminario Aire Comprimido Kaeser, 2008)

## 8. Reglamento Buenas Prácticas de Manufactura, Anexo 3 de la resolución No. 93-2002 (COMIECO\_XXIV)

### Capítulo V: Tuberías y cañerías

Artículo 33: Todas las tuberías y cañerías fijas serán identificadas adecuadamente respecto al material que conducen. Para ellos se recomienda emplear letreros, código de colores, o la combinación de ambos y en todo caso dichas tuberías o cañerías serán construidas con materiales adecuados para proteger el fluido que conduzcan y prever que una eventual fuga no perjudique todas las áreas, además deberían estar libres de defectos que pudieran aportar contaminación a cualquier producto farmacéutico.

## 9. Serie de Informes Técnicos de la OMS, Comité de expertos de la OMS en especificaciones para las preparaciones farmacéuticas Informe 32

Primera Parte. Administración de la calidad en la industria farmacéutica: filosofía y elementos esenciales

### Capítulo 11: Instalaciones

Artículo 11.24: Las tuberías, artefactos lumínicos, puntos de ventilación, y otros servicios deben ser diseñados y ubicados de tal forma que no causen dificultades en la limpieza. Siempre que sea posible, por razones de mantenimiento, se debe tener acceso a los mismos desde fuera de las áreas de producción.

### Capítulo 12: Equipos

Artículo 12.1 *Principio*. Los equipos se deben diseñar, construir, adaptar, ubicar, y mantener de conformidad a las operaciones que se habrán de realizar. El diseño y ubicación de los equipos deben ser tales que se reduzca al mínimo el riesgo de que se cometan errores, y que se pueda efectuar eficientemente la limpieza y mantenimiento de los mismos, con el fin de evitar la contaminación cruzada, el polvo y la suciedad, y en general todo aquello que pueda influir negativamente en la calidad de los productos.

Artículo 12.3: La tubería fija debe tener carteles que indiquen su contenido y, si es posible, la dirección del flujo.

Artículo 12.4: Todas las tuberías y otros artefactos de servicios deben marcarse debidamente y, cuando se trata de gases y líquidos, debe prestarse especial atención a que se empleen conexiones o adaptadores que no sean intercambiables entre sí.

Artículo 12.10: Los equipos de producción no deben presentar riesgos para los productos. Las partes de los equipos de producción que entran en contacto con el producto no deben ser reactivos, aditivos, ni absorbentes, hasta tal punto que puedan influir en la calidad del producto.

Tercera parte. Pautas complementarias y de apoyo, Capítulo 17: Productos farmacéuticos estériles

Artículo 17.25: Debe mostrarse que los patrones de corriente de aire no presenten riesgo de contaminación, así por ejemplo, se debe tener especial cuidado para asegurar que las corrientes de aire no distribuyan partículas provenientes de personas, máquinas, u operaciones que generan partículas, hacia un área de mayor riesgo para los productos.

Artículo 17.32: Todos los equipos. Incluyendo esterilizadores, sistemas de filtración de aire, y sistema de tratamiento de agua. Incluso destiladores, deben ser sometidos aun plan de mantenimiento, y comprobación y control; debe registrarse la autorización de uso otorgada después del mantenimiento de los mismos.

## Compresores de tornillo Serie SXC "compact"

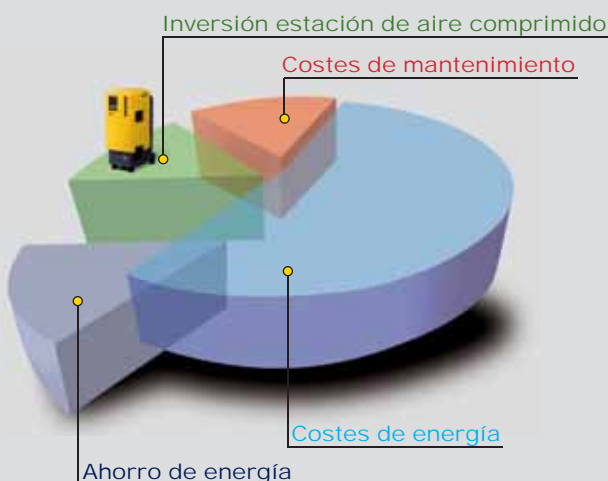
Con el reconocido PERFIL SIGMA 

Caudal desde 0,26 hasta 0,80 m<sup>3</sup>/min, presión 8 – 11 – 15 bar



## ¿Qué espera de su estación de aire comprimido?

El aire comprimido debe estar siempre disponible en la cantidad suficiente. La calidad del aire, su adecuación al uso y la eliminación de condensados son de igual importancia, pues mejoran la seguridad de servicio y reducen los costes de mantenimiento de las herramientas de aire comprimido, los controladores neumáticos, etc. Para ello necesita al menos dos potentes componentes básicos: un compresor y un secador de aire comprimido.



El paquete se completa con un depósito de aire comprimido.

Normalmente, cada componente necesita su propia superficie de instalación.

Pero con frecuencia es precisamente esa superficie lo que falta. Y cuando sobra, vale la máxima de que el espacio es dinero, por lo que lo ideal sería una estación de aire comprimido que ocupe el mínimo espacio posible.

## Concepto SXC

La serie SXC es la solución óptima para ahorrar espacio: el secador frigorífico y el depósito de aire comprimido están unidos al compresor de tornillo en una sola instalación y no necesitan espacio adicional. Además, el SXC ofrece las ventajas siguientes: alta fiabilidad, aire comprimido libre de condensado, bajo consumo energético, bajo nivel sonoro y una instalación sencilla.



- 1 Filtro de aire
- 2 Bloque compresor de tornillo
- 3 Motor de accionamiento
- 4 Refrigerador con ventilador
- 5 Regulación del compresor
- 6 Depósito de separación
- 7 Depósito de aire comprimido
- 8 Secador frigorífico

## SXC: la estación de aire comprimido "all-in-one"

### Innovación SXC

La serie SXC está formada por estaciones completas de aire comprimido que ocupan el mínimo espacio. El lema es "conexión y funcionamiento", pues el compresor de tornillo, el secador frigorífico y el depósito de aire comprimido forman, junto con la moderna carcasa de doble pared fabricada en PE sinterizado por centrifugación, una unidad lista para funcionar. La eficacia energética, la comodidad de mantenimiento, la larga vida útil y el ajuste óptimo de todos los componentes entre sí garantizan un uso fiable y económico durante años. El SXC es la solución ideal para los talleres que buscan una estación de aire comprimido compacta.



### Perfil Sigma: AHORRO DE ENERGÍA

El PERFIL SIGMA de los rotores, creación de KAESER, produce el mismo aire comprimido que otros perfiles convencionales, pero consumiendo de un 10 % a un 20 % menos de energía. Como resultado, estos equipos presentan los mejores datos de rendimiento de su clase.



### Regulación del compresor SIGMA CONTROL basic

El sistema SIGMA CONTROL basic, con su eficaz regulación de arranque-parada, garantiza el funcionamiento fiable y rentable de la instalación. Además, vigila continuamente la instalación SXC.



### Más silenciosos

El nuevo sistema de refrigeración permite una amortiguación sonora óptima con un excelente resultado térmico. Es posible mantener sin problemas una conversación a volumen normal al lado de un compresor SXC en funcionamiento.



### Refrigeración eficaz

Las instalaciones SXC se benefician de su pensada trayectoria del aire refrigerante. El ventilador controlado térmicamente por SIGMA CONTROL basic se ocupa del refrigerador de fluido. El motor de accionamiento tiene un ventilador propio montado en el eje. Por ello, SXC es idóneo para el servicio continuo.



### Potentes, económicos y silenciosos

Grandes bloques compresores de tornillo que funcionan a bajas revoluciones: KAESER KOMPRESSOREN usa estos bloques porque permiten conseguir un mejor aprovechamiento de la fuerza de accionamiento y, por tanto, un ahorro de energía. Así se garantiza que la potencia específica permanezca siempre en el campo óptimo. En las unidades SXC, la velocidad de giro se ajusta perfectamente al bloque compresor gracias a un accionamiento por correas. Las bajas velocidades de giro tienen otras ventajas, como por ejemplo un desgaste menor y, en consecuencia, mayor duración de todos los componentes asociados, y, naturalmente, una menor emisión sonora. Este último es un punto muy importante para aquellos compresores que se instalan en el mismo lugar de trabajo.

# SXC: la solución completa "all-in-one" ...



## ...con un compresor de tornillo que ahorra energía

Ahorrar energía también compensa en el caso de los compresores de tornillo pequeños. Por ejemplo, una reducción del 20 % en el consumo energético de una instalación de 5,5 kW y durante un tiempo de funcionamiento de 1000 h supone un ahorro de 1100 kWh y 0,66 toneladas menos de emisiones de CO<sub>2</sub> por año.



## ...con secador frigorífico

El secador frigorífico está aislado térmicamente e instalado debajo del compresor de tornillo. El corazón de la máquina es un intercambiador de calor de placas de acero inoxidable con separador de condensados integrado. El condensado se evacua de manera fiable por medio de un purgador electrónico de condensados ECO DRAIN. Con ello se garantiza un secado eficaz del aire comprimido.



## ...con depósito

Las instalaciones SXC están equipadas con un depósito de aire comprimido con recubrimiento interior. El depósito desempeña tres funciones: refrigeración del aire comprimido, separación previa del condensado y almacenamiento del aire comprimido. El condensado formado se evacua de manera segura y económica, tarea que se controla electrónicamente.



Vista interior:  
"all-in-one"  
Estación de aire comprimido SXC

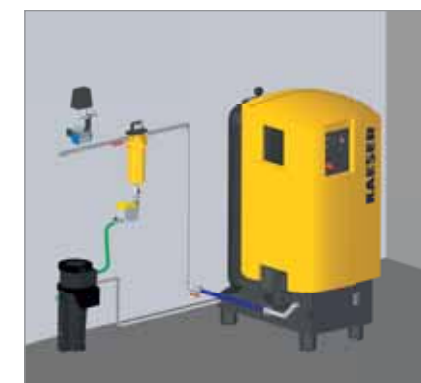
## Mantenimiento sencillo

Puede accederse fácilmente a todos los lugares de mantenimiento con sólo levantar la ligera carcasa. El purgador electrónico de condensados puede inspeccionarse a través de una rejilla. La instalación SXC cuenta con un diseño que facilita enormemente el mantenimiento.



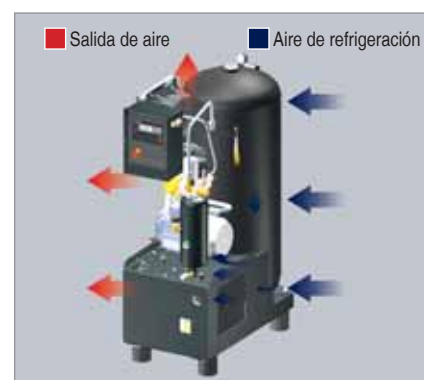
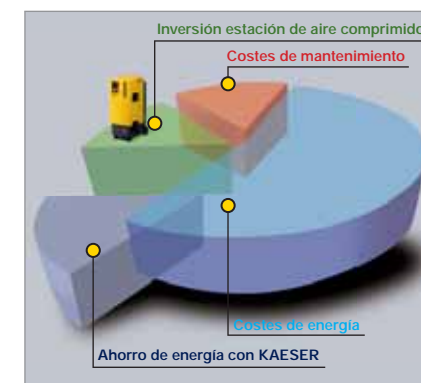
## Instalación muy sencilla

Los equipos SXC apenas requieren esfuerzo para su instalación: basta con establecer las conexiones eléctricas del compresor y el secador, así como la conexión para el tratamiento del condensado, y tendrá a su disposición aire comprimido tratado y adecuado para la aplicación.



## Económicos

El gasto de energía supone más de un 70 % de los costes totales de un compresor. Esto vale también para las unidades de menor tamaño. Esta es la razón por la cual KAESER trabaja con especial ahínco en la eficacia energética de sus máquinas, sirviéndose para ello de los últimos avances técnicos. Cada kWh ahorrado reduce las emisiones de CO<sub>2</sub> en 0,6 kg (de conformidad con el conjunto de centrales eléctricas alemanas).



## Refrigeración eficaz

Las soluciones innovadoras en materia de refrigeración son otro de los sellos distintivos de los compresores KAESER. A este respecto, las instalaciones SXC no constituyen una excepción, pues llevan instalados tres ventiladores que proporcionan una refrigeración óptima. Uno de los ventiladores (con motor de accionamiento independiente) refrigera el fluido del compresor de tornillo. La conexión y la desconexión se llevan a cabo a través de SIGMA CONTROL basic en función de la temperatura. El segundo ventilador está montado en el motor de accionamiento principal y garantiza la refrigeración de dicho motor. El tercer ventilador refrigera el fluidificador del secador frigorífico. Con este concepto se ha logrado una refrigeración fiable de las instalaciones SXC.

## Regulación adaptada a las necesidades

El sistema SIGMA CONTROL basic permite regular y vigilar con fiabilidad y visión de futuro, y ahorrando energía al mismo tiempo, instalaciones únicas en pequeñas empresas. Ofrece una regulación de arranque-parada del compresor totalmente automática con una diferencia de conmutación ajustable y es fácil y rápida de manejar. Una serie de pictogramas y una gran pantalla muestran el estado de la instalación. La supervisión de parámetros importantes, como la presión de la red, la temperatura final de compresión y el sentido de giro, aporta seguridad.



## Equipamiento

### Instalación completa

Lista para la puesta en marcha, completamente automática, superinsonorizada, aislada contra vibraciones, carcasa de doble pared de polietileno sinterizado por centrifugación

### Insonorización

Carcasa insonorizadora, elementos metálicos antivibraciones, doble aislamiento contra vibraciones



### Bloque compresor

De una etapa, con inyección de fluido refrigerante para una refrigeración óptima de los rotores; bloque compresor de tornillo original KAESER con PERFIL SIGMA

### Motor eléctrico

Motor de bajo consumo (Eff1), fabricación alemana, IP 54, Iso F como reserva adicional

### Accionamiento por correas trapezoidales

Correas elásticas sin mantenimiento; no necesitan retensado

### Circuito de fluido refrigerante y de aire

Filtro de aire seco en forma de panel; entrada con válvula de retención; válvula neumática de despresurización; depósito de fluido refrigerante con cartucho separador independiente; válvula de seguridad, válvula de retención/presión mínima, microfiltro en el circuito de fluido refrigerante

### Refrigeración

Refrigeración por aire; refrigerador de aluminio para fluido refrigerante con motor independiente para el ventilador, segundo ventilador en el eje del motor de accionamiento

### Depósito

Con recubrimiento interior, evacuación de condensado controlada electrónicamente

### Componentes eléctricos

Armario eléctrico IP 54; combinación automática de seguridad estrella-triángulo (a partir de 3 kW); disparador de sobretensión; transformador de control

### Secador frigorífico

Con intercambiadores de calor de placas de acero inoxidable, separador de condensados integrado, evacuación de condensado controlada electrónicamente, circuito de frío aislado

### SIGMA CONTROL basic

- Fácil y rápido de manejar con pictogramas y una gran pantalla
- Regulación de arranque-parada totalmente automática del compresor
- Supervisión de los parámetros de presión de la red, temperatura final de compresión, sentido de giro, motor de accionamiento y carga del compresor de frío

- Contador de horas de servicio, marcha en carga y funcionamiento del compresor



- Intervalo de mantenimiento ajustable, unidades de presión y de temperatura elegibles (bar/psi/MPa/°C/°F)

- Presión nominal de la instalación reducible para cada máquina

- Diferencia de conmutación ajustable
- Contacto libre de potencial Avería colectiva
- Transductor de presión electrónico

## Planificación exhaustiva

Estación de aire comprimido con SXC



- 1 Sistema completo SXC con compresor de tornillo
- 2 Microfiltro
- 3 Sistema de mantenimiento de la presión
- 4 Sistema de tratamiento del condensado Aquamat

Sólo las estaciones correctamente planificadas cumplen todas las expectativas de calidad, disponibilidad y eficacia que todo usuario tiene respecto a la producción de aire

comprimido moderna. Por ello, deje la planificación de su estación de aire comprimido en las manos expertas de KAESER KOMPRESSOREN.

## Dimensiones



## Datos técnicos SXC

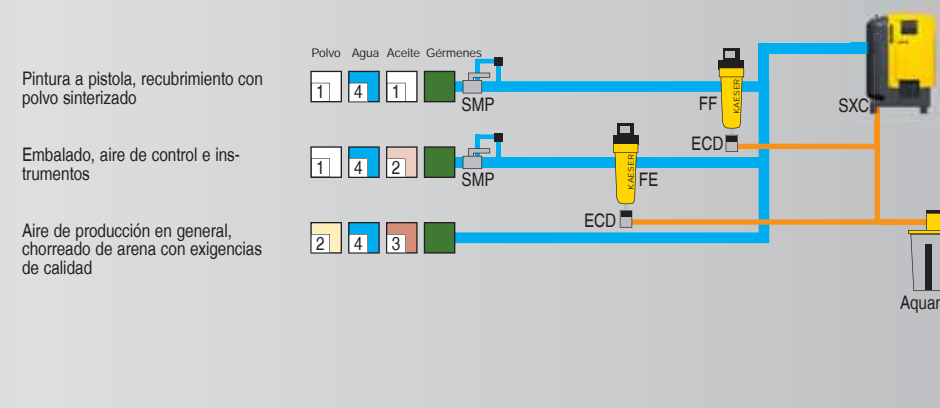
Modelo	Sobrepresión de servicio bar	Caudal *) instalación completa con sobrepresión de servicio m³/min	Sobrepresión máxima bar	Potencia nominal del motor kW	Consumo potencia secador frigorífico kW	Agente frigorífico	Punto de rocío °C	Presión diferencial secador frigorífico bar	Depósito de aire comprimido l	Medidas an x prof x al mm	Nivel sonoro **) dB(A)	Peso kg
SXC 3	7,5 10	0,34 0,26	8 11	2,2	0,25	R 134 a	+6	0,2	215	620 x 980 x 1480	65	285
SXC 4	7,5 10 13	0,45 0,36 0,26	8 11 15	3,0	0,25	R 134 a	+6	0,2	215	620 x 980 x 1480	66	285
SXC 6	7,5 10 13	0,60 0,48 0,37	8 11 15	4,0	0,30	R 134 a	+6	0,2	215	620 x 980 x 1480	67	290
SXC 8	7,5 10 13	0,80 0,67 0,54	8 11 15	5,5	0,30	R 134 a	+6	0,2	215	620 x 980 x 1480	69	300

\*) Datos de rendimiento según ISO 1217: 1996, anexo C; \*\*) Nivel sonoro según PN8NTC 2.3. Medición al aire libre a 1 m de distancia

## Elija el grado de tratamiento que se ajuste a sus necesidades:

Tratamiento del aire comprimido con secador frigorífico (punto de rocío +3 °C)

Ejemplos de uso: grados de tratamiento ISO 8573-1<sup>1)</sup>



### Explicaciones:

ECD = ECODRAIN  
Purgador electrónico de condensados regulado según nivel  
DHS = sistema de mantenimiento de la presión

FE = microfiltro  
Para eliminar neblinas de aceite y partículas sólidas  
Aquamat = sistema de tratamiento de condensados

FF = microfiltro  
Para eliminar aerosoles de aceite y partículas sólidas

### Sustancias extrañas al aire comprimido:

+	Polvo	-
+	Agua/condensado	-
+	Aceite	-
+	Gérmenes	-

### Grados de filtración:

Clase ISO 8573-1	Partículas sólidas/polvo <sup>1)</sup>		Humedad <sup>2)</sup>	Contenido total de aceite <sup>3)</sup>
	Tamaño máx. partículas µm	Densidad máx. partículas mg/m³		
0	Por ejemplo, posible para aire extrapuro y salas blancas; consulte a KAESER			
1	0,1	0,1	≤ - 70	≤ 0,01
2	1	1	≤ - 40	≤ 0,1
3	5	5	≤ - 20	≤ 1
4	15	8	≤ + 3	≤ 5
5	40	10	≤ + 7	-
6	-	-	≤ + 10	-
7	-	-	x ≤ 0,5	-
8	-	-	0,5 < x ≤ 5	-
9	-	-	5 < x ≤ 10	-

<sup>1)</sup> Según ISO 8573-1:1991 (la indicación de los contenidos de partículas no responde a la norma ISO 8573-1:2001, ya que los valores límite que ésta indica para la clase 1 quedan clasificados en la temática de salas blancas)

<sup>2)</sup> Según ISO 8573-1:2001



## Red de ventas y asistencia a nivel mundial: KAESER, siempre cerca de usted

Actualmente, Kaeser Kompressoren es uno de los fabricantes de compresores y sistemas de aire comprimido líderes en el mercado con más de 3500 empleados en todo el mundo, y está presente en los países industrializados más importantes del planeta a través de sus 38 filiales y 48 socios distribuidores.



Alemania	Chile	Eslovaquia	Indonesia				
Arabia Saudí	China	Eslovenia	Irlanda				
Argelia	Chipre	España	Islandia				
Argentina	Colombia	Estonia	Italia				
Australia	Corea	Filipinas	Japón				
Austria	Costa Rica	Finlandia	Jordania				
Bahrain	Croacia	Francia	Kazajstán	Mauricio	Panamá	Rusia	Tailandia
Bangladesh	Dinamarca	Gran Bretaña	Kenia	Mauritania	Perú	Serbia-Montenegro	Taiwán
Bélgica	E.A.U.	Grecia	Letonia	México	Polonia	Singapur	Túnez
Bielorrusia	Ecuador	Guatemala	Lituania	Noruega	Portugal	Sri Lanka	Turquía
Brasil	EE.UU.	Honduras	Luxemburgo	Omán	Qatar	Sudáfrica	Ucrania
Bulgaria	Egipto	Hungría	Malasia	Países Bajos	Rep. Checa	Suecia	Uruguay
Canadá	El Salvador	India	Marruecos	Pakistán	Rumania	Suiza	Vietnam



### KAESER COMPRESORES, S.L.

Pol. Ind. Malpica C/. E – Parcela 70 – E-50016 Zaragoza – ESPAÑA  
 Teléfono: 976 46 51 45 – Fax: 976 46 51 51 – Teléfono 24 h: 607 19 06 28  
 www.kaeser.com – E-Mail: info.spain@kaeser.com

## Filtros para Aire Comprimido



# Filtración para Incrementar Productividad

## Kaeser le da la Calidad de Aire que Requiere

El aire del ambiente contiene contaminantes que se filtran en el compresor. Estos contaminantes son concentrados durante la compresión y salen por el sistema de aire comprimido. Un sistema típico de compresión se contamina con partículas sólidas abrasivas como el polvo, residuos de tuberías y óxido, lubricantes del compresor, gotas de agua condensada, aceite y vapor de hidrocarburos.

Los sistemas de aire comprimido contaminados, aumentan los costos de operación al robar energía del sistema de aire. Dando como resultado reducción en eficiencia, daños a equipos operados con aire, mayor mantenimiento y costos de reparación; reduciendo la productividad.

La apropiada selección de los filtros Kaeser, en conjunto con el secador adecuado, removerá estos contaminantes. Esto permitirá al sistema de aire comprimido entregar la calidad de aire requerida para la aplicación requerida ya sea aire para fábrica, de instrumentación o para respirar.

## Filtros y Separadores de Alto Rendimiento

Diseñados y desarrollados utilizando las últimas innovaciones y tecnologías de fabricación, Kaeser le ofrece una nueva solución para la filtración de aire comprimido. Las carcasas de los filtros están diseñadas con áreas más amplias para asegurar una baja caída de presión y una fácil instalación, operación y mantenimiento. El resultado es un producto de alta calidad minimizando costos de operación.

## Kaeser Reduce los Costos del Aire Comprimido

Los filtros Kaeser remueven más contaminantes con menos caída de presión. Compare la caída de presión operacional de los filtros de la competencia, por cada 2 psi de caída de presión, los requerimientos de energía aumentan 1%.

Con una completa selección de tipos de filtros para aplicaciones específicas, tamaños, soporte y servicio técnico, Kaeser le ofrece una solución para todas las necesidades de calidad de aire comprimido.

¿Qué ocurre cuando no usa un filtro de aire?



Todo el aire ambiente contiene partículas sólidas y contaminantes



Todo contaminante que no sea filtrado del compresor desembarcará en la maquinaria o en el producto final



Los contaminantes corrompen y dañan al equipo operado con aire

## Características Estándar y Beneficios



- 1 Indicador de Presión Diferencial Tipo Regleta**  
Asegura una operación económica al cambiar de color cuando el elemento del filtro requiere ser reemplazado. Es estándar para filtros hasta 60 scfm (excepto KWA).
- 2 Elementos Codificados por Colores**  
Permite una fácil identificación. Los elementos están diseñados usando la última innovación y tecnología de fabricación.
- 3 Drenaje Interno Automático**  
Descarga eficientemente el condensado acumulado (excepto KWA y KFS250 en adelante).
- 4 Indicador de Presión Diferencial Tipo Manómetro**  
Máxímetro de gran apertura, y de fácil lectura que permite que la carcasa sea montada en cualquier dirección de flujo. Es estándar en filtros de 100 y mayores (excepto KWA).
- 5 Conexiones Modulares**  
Diseño de ahorro de espacio que permite que las carcassas sean conectadas en serie sin la necesidad de tubería adicional.
- 6 Indicador de Nivel de Líquido**  
Permite el monitoreo visual de nivel de líquidos además de verificar la operación del drenaje.

### Carcasas Modulares para Flujos de Hasta 780 scfm

- Fabricados de aluminio, zinc, y acero de alta calidad
- Recubrimiento (interior y exterior) con pintura electrostática a base de resinas para dar durabilidad y resistencia a la corrosión
- Todos los elementos filtrantes caben en las mismas carcassas
- Giro de 1/8 de vuelta para abrir y separar la carcasa de la cabeza del filtro (20 a 170 scfm)
- Conexión roscada para unidades de 250 scfm en adelante
- Flujo de aire optimizado a través de la carcasa minimiza caídas de presión

- La carcasa y la zona sin turbulencia debajo del elemento filtrante previenen que el condensado sea acarreado por el flujo de aire
- Advertencia de fuga audible
- Disponibilidad de soportes para montar en pared

### Operación Eficiente

- Última tecnología en filtración, dando como resultado mayor eficiencia y menor presión diferencial
- Tipos de filtros adicionales para aplicaciones críticas
- Máxima temperatura de entrada de 190 °F
- Máxima presión de operación de 250 psig (recipiente a presión, 225 psig)

- Fácil y eficiente reemplazo de elementos
- Filtro coalescente con nueva fibra de estructura horizontal-web
- Óptima eficiencia del filtro aunque exista bajo flujo de aire de hasta cinco por ciento del flujo nominal
- El elemento filtrante sella la carcasa
- Soportes de acero inoxidable, collares y capas resistentes a ácidos y aceites

## Opciones Premium



### 1 Monitor de Filtro

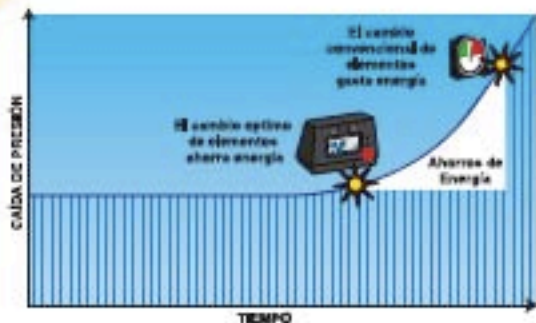
- Control por microprocesador y pantalla LCD
- Indica el reemplazo óptimo del elemento con base en:
  - tiempo de operación
  - presión diferencial
  - tipo de filtro
- Advertencia de reemplazo del filtro
- Continúa midiendo la presión diferencial

### 2 Set de Conexión de Filtro

Rápidamente evita el drenaje de condensados para un fácil mantenimiento sin interrumpir el suministro de aire.

### 3 Eco-Drain

- Sonda electrónica que no se desgasta sin piezas móviles
- Descarga condensados lentamente, sin desperdiciar aire comprimido
- Auto chequeos electrónicos con interruptor de prueba de alarma automática, y contacto de alarma libre de voltaje
- LEDs para suministro de energía y alarma



## Accesorios para Filtros



**Herrajo para Pared**

Disponible para carcacas desde 28 hasta 790 scfm



**Manómetro de Presión**

Disponible para carcacas desde 28 hasta 790 scfm

Disponible para carcacas desde 28 hasta 790 scfm



**Adaptador para Drenaje Interno y Drenaje Externo**

Disponible para carcacas desde 20 hasta 790 scfm



**Kit de Conexión Maníen**

Disponible para carcacas desde 250 hasta 790 scfm (cabezas resacas)



**Kit de Conexión Neóelar**

Disponible para carcacas desde 20 hasta 170 scfm (cabeza tipo-bayoneta)

## Otros Productos para el Tratamiento de Aire



**Drenajes Automáticos (AMD)** Kaeser son confiables y requieren un mínimo mantenimiento.

Estas trampas pueden remover la humedad de separadores, tanques, interenfriadores, postenfriadores, secadores y filtros.



Los **Aquamat de (CMS)** Kaeser separan aceite y agua para una evacuación

apropiada. Los CMS cumplen con los requerimientos EPA de concentración de aceite en desperdicio de agua.



**Eliminador de Niebla de Aceite (OME)** Kaeser elimina aerosoles de aceite y agua así como grandes cantidades de agua del sistema de aire comprimido.



**Secadores Refrigerativos Seco** Kaeser disponibles para capacidades de 20 a 480 scfm. El control cíclico provee una máxima eficiencia al utilizar una masa térmica como almacenamiento.

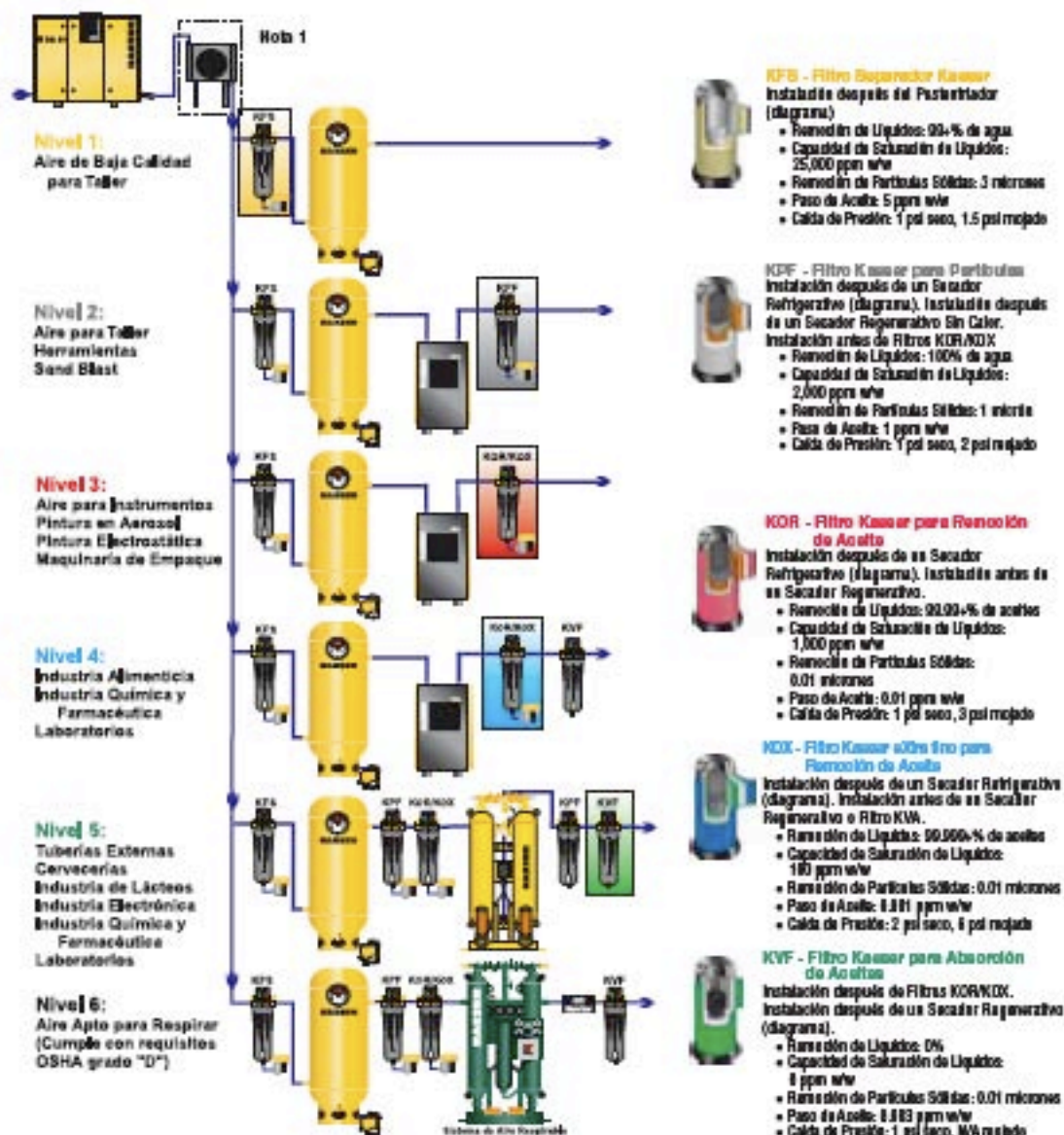
**Secadores Desecantes (KAD, KEP, KBP)** Kaeser proveen aire extremadamente seco para aplicaciones que requieren remoción completa de agua y vapores. Llegan a puntos de rocío de hasta -150 °F.



**Secadores de Membrana (KMD)** Kaeser provee una supresión de punto de rocío sin

requerir energía externa o mantenimiento regular. Estos secadores son ideales para aplicaciones de punto de uso y son fáciles de instalar con una simple conexión de tuberías.

# Seis Niveles de Calidad de Aire Comprimido



**Nota 1:** Todos los Compresores de Tornillo Kaeser incluyen postenfriador integrado. Para aplicaciones que no cuentan con postenfriador o cuando la temperatura de descarga de aire comprimido sea de 110 °F o mayor, deberá instalarse uno como se muestra en el dibujo de arriba.

**Nota 2:** Los elementos de los filtros KPS/DPR/KOR/DX, deberán ser reemplazados cuando la presión diferencial sea de 10 psig (línea roja en el manómetro de presión diferencial) o anualmente, lo que ocurra primero. Los elementos filtrantes KVF, deberán ser reemplazados cada 1,000 horas de operación o anualmente, lo que ocurra primero. Kaeser recomienda que el condensado sea procesado con los sistemas Kaeser para tratamiento de condensados (CMS) los cuales proporcionan un método seguro y económico para evacuar apropiadamente la mezcla de aceite y agua.

# Especificaciones Técnicas

## Tipo de Filtro

- KFS - Filtro Separador Kasser (carcasa reemplazable)
- KPF - Filtro Kasser para Partículas (elemento con malla sobrepuesta)
- KOR - Filtro Kasser para Remoción de Aceite (Aplicaciones Estándar - elemento rojo)
- KOX - Filtro Kasser ultra-Fino para Remoción de Aceite (Aplicaciones Críticas - elemento azul)
- KVF - Filtro Kasser para Absorción de Vapor (elemento verde)

Modelo	Flujo a 100 psig (cfm)	Conexión	Características Estándar de los Filtros					Presión Máx. de Trabajo (psig)	Dimensiones Ancho x Alto (pulgadas)	Peso (lbs)
			KFS	KPF	KOR	KOX	KVF			
<b>Carcasa Tipo Modelo</b>										
(Tipo de Filtro) - 20	20	3/4" NPTF	1	1	1	1	1	250	4 1/2 x 11 1/2	8
(Tipo de Filtro) - 35	35	3/4" NPTF	1	1	1	1	1	250	4 1/2 x 11 1/2	8 1/2
(Tipo de Filtro) - 60	60	3/4" NPTF	1	1	1	1	1	250	4 1/2 x 13 1/2	8 1/2
(Tipo de Filtro) - 100	100	1" NPTF	2	2	2	2	2	250	5 1/2 x 15 1/2	9 1/2
(Tipo de Filtro) - 170	170	1" NPTF	2	2	2	2	2	250	5 1/2 x 19 1/2	10 1/2
(Tipo de Filtro) - 250	250	1 1/2" NPTF	4	2	2	2	2	250	6 1/2 x 23	10 1/2
(Tipo de Filtro) - 375	375	1 1/2" NPTF	4	2	2	2	2	250	6 1/2 x 27 1/2	11 1/2
(Tipo de Filtro) - 485.2	485	2" NPTF	5	3	3	3	7	250	7 1/2 x 31 1/2	28
(Tipo de Filtro) - 485.2.5	485	2 1/2" NPTF	5	3	3	3	7	250	7 1/2 x 31 1/2	28
(Tipo de Filtro) - 625	625	2 1/2" NPTF	5	3	3	3	7	250	7 1/2 x 37	33
(Tipo de Filtro) - 780	780	2 1/2" NPTF	5	3	3	3	7	250	7 1/2 x 43	38
<b>Receptáculos Presión</b>										
(Tipo de Filtro) - 1000P	1,000	3" NPTM	8	8	8	8	9	225	16 x 48	91
(Tipo de Filtro) - 1250P	1,250	3" NPTM	8	8	8	8	9	225	16 x 48	91
(Tipo de Filtro) - 1875P	1,875	3" NPTM	8	8	8	8	9	225	16 1/2 x 49	128
(Tipo de Filtro) - 2500P	2,500	4" Brida	8	8	8	8	9	225	20 x 52 1/2	179
(Tipo de Filtro) - 3125P	3,125	4" Brida	8	8	8	8	9	225	20 x 52 1/2	182
(Tipo de Filtro) - 5000P	5,000	6" Brida	8	8	8	8	9	225	24 x 54 1/2	271
(Tipo de Filtro) - 6875P	6,875	6" Brida	8	8	8	8	9	225	28 x 62 1/2	518
(Tipo de Filtro) - 8750P	8,750	6" Brida	8	8	8	8	9	225	28 x 62 1/2	527
(Tipo de Filtro) - 11875P	11,875	8" Brida	8	8	8	8	9	225	22 x 69 1/2	789
(Tipo de Filtro) - 16250P	16,250	8" Brida	8	8	8	8	9	225	30 x 68	918
(Tipo de Filtro) - 21250P	21,250	10" Brida	8	8	8	8	9	225	48 x 71	1412

- 1 - Drenaje Interno Automático, Indicador de Presión Diferencial Tipo Regleta, Indicador de Nivel de Líquido.
- 2 - Drenaje Interno Automático, Máximo de Presión Diferencial, Indicador de Nivel de Líquido.
- 3 - Drenaje Interno Automático, Máximo de Presión Diferencial.
- 4 - Drenaje Manual, Manómetro de Presión Diferencial, Indicador de Nivel de Líquido (drenaje externo disponible como opción para drenado automático).
- 5 - Drenaje Manual, Manómetro de Presión Diferencial (drenaje externo disponible como opción para drenado automático).
- 6 - Drenaje Manual, Indicador de Nivel de Líquidos (no requiere drenaje).
- 7 - Drenaje Manual, (no requiere drenaje).
- 8 - Tapón para Drenado, Manómetro de Presión Diferencial y Kit de Instalación (drenaje externo disponible como opción para drenado automático).
- 9 - Tapón para Drenado (se recomienda la instalación de un drenaje manual).

## Dimensionamiento

Para establecer la capacidad máxima de flujo del filtro a presiones diferentes de 100 psig, multiplique el flujo nominal por el Factor de Corrección correspondiente a la presión mínima a la entrada del filtro. No seleccione filtros con base al tamaño de la tubería. Utilice la capacidad de flujo y la presión de operación.

Presión Mínima de Admisión (psig)	20	30	40	60	80	100	120	150	200	250
Factor de Corrección	0.30	0.39	0.48	0.65	0.82	1.00	1.17	1.43	1.87	2.31

Nota: Temperatura máxima de aire de entrada 150°F.

Especificaciones sujetas a cambios sin previo aviso.

Guadalajara, México



Guatemala, Guatemala



Bogotá, Colombia



Santiago, Chile



Bolebrland, Canada



Fredericksburg, EEUU



San Salvador, El Salvador



Sao Paulo, Brasil



Buenos Aires, Argentina



## Los Especialistas en Aire Comprimido

Kaeser es el especialista en sistemas de aire comprimido. Nuestros centros de servicio a nivel mundial y nuestra garantía de repuestos de 24 horas, nos permiten ofrecer una disponibilidad de equipos inigualable. Los clientes de Kaeser pueden confiar en el mejor apoyo pos-venta en la industria. Kaeser está comprometido a ofrecer sistemas de aire de alta calidad para sus necesidades específicas de aire comprimido.

**KAESER  
COMPRESORES**

*Construidos para toda la vida.*

*Oficinas Principales:*  
P.O. Box 846  
Fredericksburg, Virginia 22404  
Phone 540-898-5500  
Fax 540-898-5520  
[www.kaeser.com](http://www.kaeser.com)



# FICHA TECNICA

## R134 a

El gas refrigerante R134a es un HFC que sustituye al R12 en instalaciones nuevas. Como todos los refrigerantes HFC no daña la capa de ozono. Tiene una gran estabilidad térmica y química, una baja toxicidad y no es inflamable, además de tener una excelente compatibilidad con la mayoría de los materiales.

No es miscible con los aceites tradicionales del R12 (mineral y alquilbencénico); en cambio su miscibilidad con los aceites poliésteres (POE) es completa, por lo que debe utilizarse siempre con este tipo de aceites.

R134a es un refrigerante alternativo al R12 para el retrofitting de la instalación o para instalaciones nuevas. Es muy utilizado en el aire acondicionado de los automóviles y en refrigeradores

domésticos. También se utiliza mucho en chillers del sector industrial y comercial además del transporte frigorífico en temperaturas positivas.

### Toxicidad y almacenamiento:

R134a es una sustancia con muy poca toxicidad. El índice por inhalación LCL0 de 4 horas en ratas es inferior a 500.000 ppm y el NOEL en relación a problemas cardíacos es aproximadamente 75.000 ppm. En exposiciones durante 104 semanas a una concentración de 10.000 ppm no se ha observado efecto alguno. Los envases de R134a deben ser almacenados en lugares frescos y ventilados lejos de focos de calor. Los vapores de R134a son más pesados que el aire y suelen acumularse cerca del suelo.

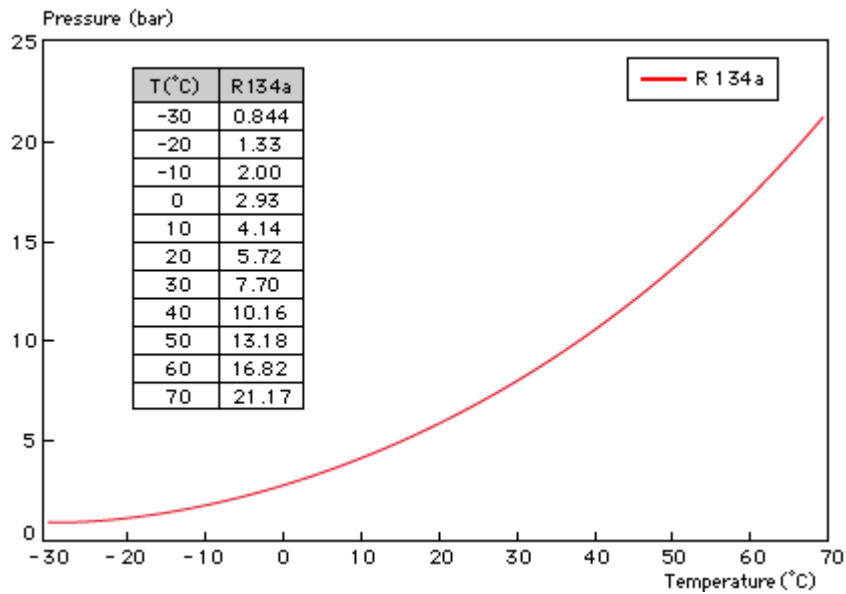
PROPIEDADES FISICAS		R 134A
Formula química		CH <sub>2</sub> F-CF <sub>3</sub>
Nombre químico		1,1,1,2- Tetrafluoroetano
Peso molecular	(Kg/Kmol)	102
Punto de ebullición	(°C)	-26.2
Punto de congelación	(°C)	-101
Temperatura crítica	(°C)	101.1
Presión crítica	(bar)	40.67
Densidad crítica	(Kg/l)	0.51
Densidad del líquido (25°C)	(Kg/l)	1.206
Densidad del líquido (0°C)	(Kg/l)	1.293
Densidad del vapor (25°C)	(Kg/m <sup>3</sup> )	32.25
Densidad del vapor (0°C)	(Kg/m <sup>3</sup> )	14.41
Presión de vapor (25°C)	(bar)	6.657
Presión de vapor (0°C)	(bar)	216.4
Viscosidad del líquido (25°C)	(cP)	0.202
Presión superficial (25°C)	(mN/m)	7.9
Solubilidad del R134a en agua	(%)	0.15
Capacidad volumétrica refrig. (-25°C)	(Kg/m <sup>3</sup> )	1192.11
Inflamabilidad		No

### COMPATIBILIDAD CON LOS MATERIALES

ELASTOMEROS				PLASTOMEROS			
	C	PC	NC		C	PC	NC
Goma Butílica	X			Propileno	X		
Neopreno	X			PVC	X		
Buna N	X			Polietileno	X		
Buna S		X		Nylon	X		
Goma fluorada			X	Poliestireno		X	
Goma natural	X			PTFE	X		
Goma siliconada		X		Poliacetileno	X		
Goma EPDM	X			Resina epoxi	X		
Polisulfúrica	X			ABS		X	

**C = Compatible PC = Poco Compatible NC = No Compatible**

### GRAFICO DE PRESION / TEMPERATURA



TEMP. (°C)	PRESION ABSOLUTA (bar)		DENSIDAD (Kg/m³)		ENTALPIA (kJ/Kg)		ENTROPIA (kJ/Kg.K)	
	BURBUJA	ROCIO	BURBUJA	ROCIO	BURBUJA	ROCIO	BURBUJA	ROCIO
-40	0.51	0.51	1413.94	2.76	149.45	375.65	0.8008	1.7710
-35	0.66	0.66	1399.95	3.50	155.53	378.93	0.8266	1.7646
-30	0.84	0.84	1385.72	4.39	161.67	382.20	0.8521	1.7590
-25	1.06	1.06	1371.24	5.45	167.88	385.45	0.8773	1.7540
-20	1.32	1.32	1356.46	6.71	174.16	388.69	0.9023	1.7497
-15	1.63	1.63	1341.36	8.19	180.51	391.90	0.9270	1.7458
-10	2.00	2.00	1325.92	9.92	186.93	395.07	0.9515	1.7425
-5	2.42	2.42	1310.10	11.92	193.43	398.20	0.9759	1.7395
0	2.92	2.92	1293.86	14.23	200.00	401.28	1.0000	1.7369
5	3.49	3.49	1277.17	16.89	206.65	404.30	1.0240	1.7346
10	4.14	4.14	1259.99	19.93	213.38	407.25	1.0478	1.7325
15	4.88	4.88	1242.27	23.40	220.20	410.13	1.0714	1.7306
20	5.71	5.71	1223.96	27.34	227.11	412.92	1.0950	1.7288
25	6.65	6.65	1205.00	31.81	234.11	415.62	1.1184	1.7272
30	7.70	7.70	1185.33	36.88	241.21	418.20	1.1417	1.7256
35	8.88	8.88	1164.89	42.61	248.42	420.67	1.1650	1.7240
40	10.18	10.18	1143.58	49.08	255.74	423.01	1.1882	1.7223
45	11.62	11.62	1121.32	56.40	263.19	425.20	1.2114	1.7206
50	13.20	13.20	1197.98	64.66	270.77	427.23	1.2346	1.7187



Universidad del Valle de Guatemala

# MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Compresor Kaeser Airtower 5C

TRABAJO DE GRADUACIÓN: DISEÑO DE UN SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO QUE  
CUMPLA CON LAS BUENAS PRÁCTICAS DE MANUFACTURA NORMA 92

Marisol Pereira Cabrera

Guatemala

2009

# CONTENIDO

Página

LISTA DE CUADROS ..... **iii**

LISTA DE ILUSTRACIONES..... **iii**

## Capítulos

I. INTRODUCCIÓN..... **1**

II. OBJETIVO..... **1**

III. RESPONSABLES..... **2**

A. PERSONAL DE MANTENIMIENTO ..... 2

B. PERSONAL DE PRODUCCIÓN ..... 2

C. PERSONAL DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD ..... 2

IV. ESPECIFICACIONES DE EQUIPO..... **3**

A. COMPRESOR AIRTOWER 5C ..... 3

B. PANEL DE CONTROL (SIGMA CONTROL BASIC)..... 6

C. FILTRO KOR Y KVF ..... 7

V. INSTRUCCIONES DE OPERACIÓN ..... **10**

A. OBJETIVOS ..... 10

B. COMPRESOR AIRTOWER 5C ..... 10

3. MENSAJES DE ALARMAS Y PRECAUCIÓN ..... 11

C. FILTROS KOR Y KVF ..... 14

VI. INSTRUCCIONES DE MANTENIMIENTO..... **16**

A. OBJETIVOS ..... 16

B. COMPRESOR AIRTOWER 5C ..... 16

C. FILTROS KOR Y KVF ..... 18

VII. REFERENCIAS ..... **19**

VIII. APÉNDICE..... **20**

A. PIEZAS DE REPUESTO PARA LA REPARACIÓN Y SERVICIO ..... 20

B. LISTA DE PIEZAS DE REPUESTO PARA LA REPARACIÓN Y SERVICIO..... 21

## LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración	Página
FIGURA 1: PARTES DE COMPRESOR AIRTOWER 5C.....	3
FIGURA 2: PARTES DE PANEL DE CONTROL .....	6
FIGURA 3: DIMENSIONES DE FILTROS.....	7
FIGURA 4: PIEZAS DE REPUESTO Y REPARACIÓN COMPRESOR AIRTOWER 5C .....	20

## LISTA DE CUADROS

Cuadro	Página
CUADRO 1: ESPECIFICACIONES DE EQUIPO COMPRESOR AIRTOWER 5C.....	4
CUADRO 2: ESPECIFICACIONES DE SECADOR REFRIGERATIVO.....	5
CUADRO 3: ESPECIFICACIONES DE FILTRO DE REMOCIÓN DE ACEITE DE ALTA EFICIENCIA .....	7
CUADRO 4: ESPECIFICACIONES DE FILTRO DE REMOCIÓN DE ACEITE DE ALTA EFICIENCIA .....	8
CUADRO 5: ESPECIFICACIONES DE FILTRO DE VAPORES DE ACEITE .....	9
CUADRO 6: MENSAJES DE ALARMA SIGMA CONTROL .....	11
CUADRO 7: MENSAJES DE PRECAUCIÓN SIGMA CONTROL .....	13
CUADRO 8: INSTRUCCIONES GENERALES DE MANTENIMIENTO COMPRESOR AIRTOWER 5C.....	16
CUADRO 9: INSTRUCCIONES GENERALES DE MANTENIMIENTO FILTROS KOR Y KVF .....	18
CUADRO 10: LISTA DE PIEZAS DE REPUESTO Y MATERIALES DE FUNCIONAMIENTO DEL COMPRESOR AIRTOWER 5C.....	21

# I. INTRODUCCIÓN

En el presente manual se expone la operación y el mantenimiento del compresor KAESER AITOWER 5C.

Está diseñado para ayudar al operador a obtener un correcto entendimiento de los principios necesarios a tener en cuenta en la operación, por lo que se recomienda una atenta y completa lectura del mismo antes de comenzar la utilización del equipo y así poder alcanzar un óptimo aprovechamiento de todas sus funciones.

Además de la operación contiene el área de mantenimiento el cual puede resumirse en: capacidad de producir con calidad, seguridad y rentabilidad, además si es adecuado, tiende a prolongar la vida útil de los bienes, a obtener un rendimiento aceptable de los mismos durante más tiempo y a reducir el número de fallas.

## II. OBJETIVO

### A. Objetivo general

1. Dar a conocer la operación del equipo de aire comprimido para evitar mal uso del equipo.
2. Dar a conocer el mantenimiento del equipo que se debe seguir para prolongar su la vida de uso.

### III. RESPONSABLES

#### A. Personal de mantenimiento

1. Gerente de mantenimiento: Encargado de la verificación y realización del mantenimiento
2. Operador de mantenimiento: Encargado del mantenimiento

#### B. Personal de producción

1. Gerente de producción: Encargado de verificar que los equipos estén en buen funcionamiento.
2. Supervisor de producción: Encargado de verificar e informar si los equipos estén en buen funcionamiento
3. Operador de producción: Encargado de verificar e informar si los equipos estén en buen funcionamiento

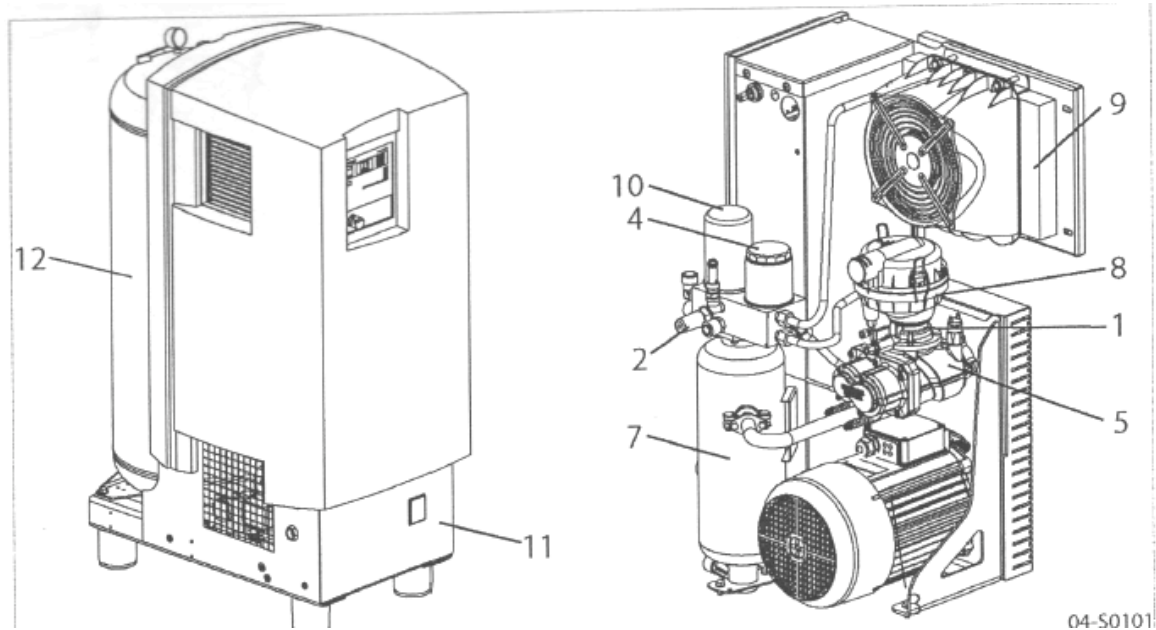
#### C. Personal de aseguramiento de calidad

1. Gerente de aseguramiento de calidad: Encargado de
2. Inspectores de aseguramiento de calidad: Encargado de verificar procedimientos de mantenimiento

## IV. ESPECIFICACIONES DE EQUIPO

### A. Compresor AirTower 5C

Figura 1: Partes de compresor AirTower 5C



- |                                       |                                  |
|---------------------------------------|----------------------------------|
| 1. Válvula de admisión                | 7. Tanque separador de aceite    |
| 2. Válvula de cheque (presión mínima) | 8. Filtro de aire                |
| 3. Motor del compresor                | 9. Refrigerante                  |
| 4. Filtro de aceite                   | 10. Cartucho separador de aceite |
| 5. Unidad compresora                  | 11. Secador refrigerativo        |
| 6. Control                            | 12. Deposito de aire             |

## V. INSTRUCCIONES DE OPERACIÓN

### A. Objetivos

1. Establecer una metodología para la ejecución correcta y segura del compresor AIRTOWER 5C.
2. Conocer este procedimiento para adoptar medidas previas para que se ejecuten los trabajos en condiciones seguras en lo que corresponde al manejo del equipo.
3. El personal a cargo de cada una de las actividades conozca el procedimiento de manejo del equipo.

### B. Compresor AirTower 5C

#### 1. Encendido y apagado:

##### a. Encendido

- 1) Encender la fuente de alimentación desconectando los dispositivos.
- 2) Después que el controlador ha llevado a cabo una prueba automática, el controlador (LED controller ON) se ilumina continuamente. (ver figura 2)
- 3) Pulse la tecla <<Encendido (ON)>> (ver figura 2)
- 4) Después se enciende la luz de la máquina de encendido (LED machine ON) y se ilumina continuamente. (ver figura 2)
- 5) El motor del compresor se enciende tan pronto como la presión del sistema sea menor que el punto de ajuste de presión (presión de paro y arranque).

##### b. Apagado

- 1) Pulse la tecla <<Apagado (OFF)>>. (ver figura 2)
- 2) El motor del compresor y del secador se apagan inmediatamente. La máquina estará lista para operar en cuanto la luz de la máquina de encendido (LED machine ON) se elimine. La máquina puede ser encendida nuevamente. (ver figura 2)
- 3) Apagar la fuente de alimentación desconectando los dispositivos.
- 4) Cuando el equipo ya está desconectado de la fuente de alimentación se apaga la luz del controlador (LED controller ON). (ver figura 2)

*NOTA: El secador esta siempre encendido en cuanto la máquina esté conectada.*

## 2. Apagado de emergencia y luego encendido

### a. Apagado



- 1) Presionar el botón de emergencia. (ver figura 2)
- 2) El botón permanece cerrado.
- 3) El sistema de presión del compresor es ventilado y la máquina se ve impedida para volver a empezar.

### b. Encendido




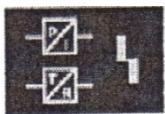
- 1) Girar el botón de emergencia en la dirección de las flechas para desactivarlo.
- 2) Presión la tecla de reinicio para poder reiniciar algún mensaje de alarma.
- 3) La maquina puede iniciar nuevamente

## 3. Mensajes de alarmas y precaución

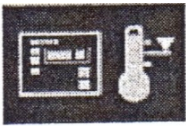
*Cuadro 6: Mensajes de alarma Sigma Control*

Código	Diagrama	Significado	Acción a tomar
1		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Botón de PARADA DE EMERGENCIA presionado.</li> <li>- La puerta de acceso esta abierta o se ha removido el panel de control</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Desactivar el botón de emergencia.</li> <li>- Cerrar la puerta de acceso o colocar en su lugar el panel de control</li> </ul>
2		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alarma de motor</li> <li>- Protección de sobrecarga de la unidad de motor o ventilador.</li> <li>- Alarma en el convertidor de frecuencia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Comprobar la protección contra sobrecarga de paro y arranque / sobrecarga del motor.</li> <li>- Cambiar el cartucho separador de aceite.</li> <li>- Compruebe mínima presión y válvula de retención.</li> </ul>





Continua Cuadro 6

Código	Diagrama	Significado	Acción a tomar
3		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Incorrecta la dirección de rotación de motor.</li> <li>- correas de transmisión rotas.</li> <li>- Interruptor de presión defectuoso.</li> <li>- No ventilación correcta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Intercambio de líneas de transmisión.</li> <li>- Cambio de correas de transmisión.</li> </ul>
4		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Temperatura máxima ha sido excedida.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Limpiar el enfriador.</li> <li>- Mantener la suficiente distancia entre la entrada de aire de refrigeración y de escape y las aberturas de la pared.</li> <li>- Comprobar el nivel de aceite de refrigeración.</li> <li>- Asegúrese que la temperatura ambiente permisible no se supere.</li> <li>- Cambie el filtro de aceite</li> </ul>
5		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fallo en el secador refrigerativo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Limpiar el condensador refrigerante.</li> <li>- Garantizar una ventilación adecuada.</li> <li>- Instalar un ventilador extractor.</li> </ul>
6		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Defectuosa de entrada analógica (sensor de presión o temperatura</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Comprobar líneas y conexiones.</li> </ul>

Continúa Cuadro 6

Código	Diagrama	Significado	Acción a tomar
7		- La temperatura máxima admisible del controlador está elevada.	- Garantizar una ventilación adecuada. - garantizar que la temperatura ambiente permisible no se supere.
8	----	Espacio para agregar alguna variable	-----

Cuadro 7: Mensajes de precaución Sigma Control

Código	Diagrama	Significado	Acción a tomar
S		- Intervalo de mantenimiento ha transcurrido	- Llevar a cabo mantenimiento.
P		- Presión actual	- Verificar dirección de rotación del motor.
T		- La máquina está por debajo de la temperatura mínima permitida.	- Elevar la temperatura del cuarto.
i		- Comprobar que la válvula de seguridad está encendida.	- Verificar la válvula de seguridad. - Desactivar el modo de chequeo.

## C. Filtros KOR y KVF

**NOTA:** No se recomiendan temperaturas arriba de 49°C cuando se filtran líquidos ya que puede disminuir la eficiencia de filtración debido a que el aceite presente se encuentra en forma de vapor y pasa a través del filtro condensándose posteriormente en las tuberías. Para el filtro KVF si se opera por encima de 38°C puede experimentar una vida útil menor de 1,000 horas debido al gran contenido de vapor de aceite.

### 1. Drenado de líquidos (filtro KOR)

- a. Despresurizar lentamente para prevenir daños al elemento.
- b. Dren manual: Girar la conexión estriada que se encuentra en la parte inferior del vaso del filtro hacia la derecha (en sentido de las manecillas del reloj) para abrir, y a la izquierda para cerrar (en contra de las manecillas del reloj)

### 2. Puntos de verificación de la operación

- a. Verificar flujo, presión y temperatura para asegurarse que los filtros operen dentro de las condiciones de diseño.
- b. Para filtro KOR:
  - 1) Verificar caída de presión a través del filtro (si la caída de presión es mayor a 0.42kgf/cm<sup>2</sup> (6 psig), el indicador se encuentra en zona roja lo que indica que debe reemplazarse el elemento filtrante.
  - 2) El elemento se deberá cambiar cuando menos una vez al año o cuando se encuentre en la zona roja.
  - 3) Verificar que no exista una reducción repentina de caída de presión, esto puede ser por fuga en el sello de la tapa superior del elemento o por fuga a través del elemento del filtro debido a daños físicos.
  - 4) Verificar que el filtro esté instalación verticalmente, es necesario para asegurar el drenado del cartucho.
  - 5) Verifique que los drenes manuales sean drenados periódicamente o que los drenes automáticos funcionen correctamente.
- c. Para filtro KVF:
  - 1) Verifique que no exista un olor aceitoso abriendo la válvula manual, si existe verificar lo siguiente:
    - i. Se agotó la capacidad de adsorción del elemento.
    - ii. Fuga del sello de la tapa del elemento.

- iii. Fuga a través del elemento filtrante debido a daños físicos.
- iv. Presencia de líquidos debido a la falta o falla de los pre-filtros.
- v. Flujo, presión y temperatura más allá de la capacidad del filtro.
- vi. Presencia de impurezas gaseosas que no pueden ser adsorbidas por el carbón activado.

**PRECAUCIÓN:** EL METANO, MONÓXIDO DE CARBONO, BIÓXIDO DE CARBONO Y VARIOS GASES INORGÁNICOS NO PUEDEN SER REMOVIDOS POR UN FLTRO KVF.

## VI. INSTRUCCIONES DE MANTENIMIENTO

### A. Objetivos

1. Optimización de la disponibilidad del equipo productivo.
2. Disminución de los costos de mantenimiento.
3. Optimización de los recursos humanos.
4. Maximización de la vida de la máquina

### B. Compresor AirTower 5C

*Cuadro 8: Instrucciones generales de mantenimiento compresor AirTower 5C*

Equipo	Actividad	Frecuencia	Responsable
Compresor AirTower 5C	Verificar nivel de aceite refrigerante	Semanal	Operador / Personal mantenimiento
Secador refrigerativo	Verificar el drenaje de condensado	Semanal	Operador / Personal mantenimiento
Depósito de aire	Drenar el condensado manualmente	Semanal	Operador / Personal mantenimiento
Unidad compresora	Verificar unidad de correa del compresor	Cada 1,000 horas	Operador / Personal mantenimiento
Filtro de aire	Verificar limpieza del filtro de aire	Cada 1,000 horas	Operador / Personal mantenimiento
Equipo AirTower 5C	Verificar la limpieza de la malla protectora del filtro	Cada 1,000 horas	Operador / Personal mantenimiento
Ventilador	Limpieza del ventilador	Cada 1,000 horas	Operador / Personal mantenimiento
Secador refrigerativo	Limpieza del condensador	Cada 1,000 horas	Operador / Personal mantenimiento
Filtro de aire	Cambio de filtro de aire	Cada 3,000 horas o anualmente	Personal mantenimiento
Depósito de aire	Llevar a cabo mantenimiento general	Cada 3,000 horas o anualmente	Personal mantenimiento

Continua Cuadro 8

Equipo	Actividad	Frecuencia	Responsable
Filtro de aceite	Cambiar el filtro de aceite	Cada 3,000 horas o anualmente	Personal mantenimiento
Equipo AirTower 5C	Verificar todas la conexiones eléctricas estén ajustadas	Anualmente	Personal mantenimiento
Unidad compresora	Verificar la válvula de alivio de presión	Anualmente	Personal mantenimiento
Depósito de aire	Verificar la válvula de alivio de presión	Anualmente	Personal mantenimiento
Equipo AirTower 5C	Verificar la función de apagado de seguridad de sobrecalentamiento	Anualmente	Personal mantenimiento
Ventilador de unidad compresora	Revisar el ventilador para detectar fuga	Anualmente	Personal mantenimiento
Cartucho separador de aceite	Cambiar cartucho separador de aceite	Arriba de las 3,000 horas o cada 3 años	Personal mantenimiento
Unidad compresora	Cambio de la correa	Arriba de las 6,000 horas	Personal mantenimiento
Aceite refrigerante de la unidad compresora	Cambio de aceite lubricante (M-460)	2,000 horas y después a las 3,000 horas	Personal mantenimiento
Equipo AirTower 5C	Revisar de válvulas	Arriba de 12,000 horas	Personal mantenimiento
Unidad compresora	Revisar los cojinetes del motor	Arriba de 12,000 horas o cada 3 años	Personal mantenimiento
Equipo AirTower 5C	Revisar de mangueras	Arriba de 36,000 horas o cada 8 años	Personal mantenimiento

## C. Filtros KOR y KVF

### 1. Reemplazo de elemento filtrante

*Cuadro 9: Instrucciones generales de mantenimiento filtros KOR y KVF*

Equipo	Actividad	Frecuencia	Responsable
Filtro KOR y KVF	Reemplazo completo de elemento filtrante	Cuando el indicador se encuentre en la zona roja o una vez al año	Personal mantenimiento

*NOTA: Filtro KOR y KVF: se reemplaza el elemento filtrante completo.*

#### a. Filtro KOR:

- 1) Caída de presión inicial (seco): 0.07 a 0.14 kgf/cm<sup>2</sup> (1 a 2 psi)
- 2) Caída de presión operacional: Cuando se satura el filtro la caída de presión incrementará de 0.14 a 0.42 kgf/cm<sup>2</sup> (2 a 6 psi)
- 3) Aumentará la caída de presión cuando el elemento se satura con partículas sólidas.
- 4) Para lograr la máxima eficiencia del filtrado, reemplace el elemento cuando la presión alcance 0.42 kgf/cm<sup>2</sup> (6 psi), cuando el indicador se encuentre en la zona roja o una vez al año (lo que ocurra primero)

*NOTA: La caída de presión se puede incrementar temporalmente cuando se restablece el flujo después de haberse interrumpido. La caída de presión se restablecerá antes de 1 hora.*

*NOTA: Durante la operación normal, se formará una banda de aceite en la parte inferior del hule espuma. Si se forman gotas por encima de esta banda, indica que los líquidos se están acumulando más rápido de lo que pueden ser drenados y que se requiere prefiltración.*

#### b. Filtro KVF

- 1) Capacidad de absorción: 1000 horas de trabajo con flujo nominal.
- 2) La vida útil del elemento termina cuando se detecta olor en el aire después del filtro.

## 2. Procedimiento para el reemplazo del elemento

*NOTA: El filtro es un dispositivo sujeto a presión, despresurizar antes de realizar cualquier mantenimiento. Si el filtro no se ha despresurizado antes de desarmarlo, sonará una alarma audible cuando comience a separar el vaso de la cabeza. Si esto ocurre interrumpa el desarmado, cierre el flujo de aire y despresurice completamente el filtro antes de continuar.*

- a. Cierre el flujo de aire o apague la fuente de aire comprimido.
- b. Despresurice el filtro abriendo lentamente el dren manual.
- c. Separe el vaso
  - 1) Montaje de Bayoneta: Empuje el vaso hacia arriba, gire el vaso 1/8 de vuelta a la izquierda y jale el vaso hacia abajo.
- d. Limpie el vaso del filtro.
- e. Reemplace el elemento.
  - 1) Separe el elemento usado y deséchelo.
  - 2) Asegúrese que el sello O que se encuentra dentro de la tapa superior del elemento esté en su lugar e instale el cartucho en la cabeza del filtro.

*NOTA: Para filtro KOR y KVF no tomar los elementos de la cubierta de hule espuma exterior, tómelos únicamente por la tapa inferior.*

- f. Asegúrese que el sello O se encuentra en la cabeza del filtro y el resorte en las cabezas con montaje de bayoneta estén en su lugar y ensamble el vaso y la cabeza.

*NOTA: Asegurese de lubricar generosamente los sellos O.*

*NOTA: Las puntas del resorte deberán apuntar hacia abajo para prevenir que el resorte interfiera al momento de ensamblar el filtro.*

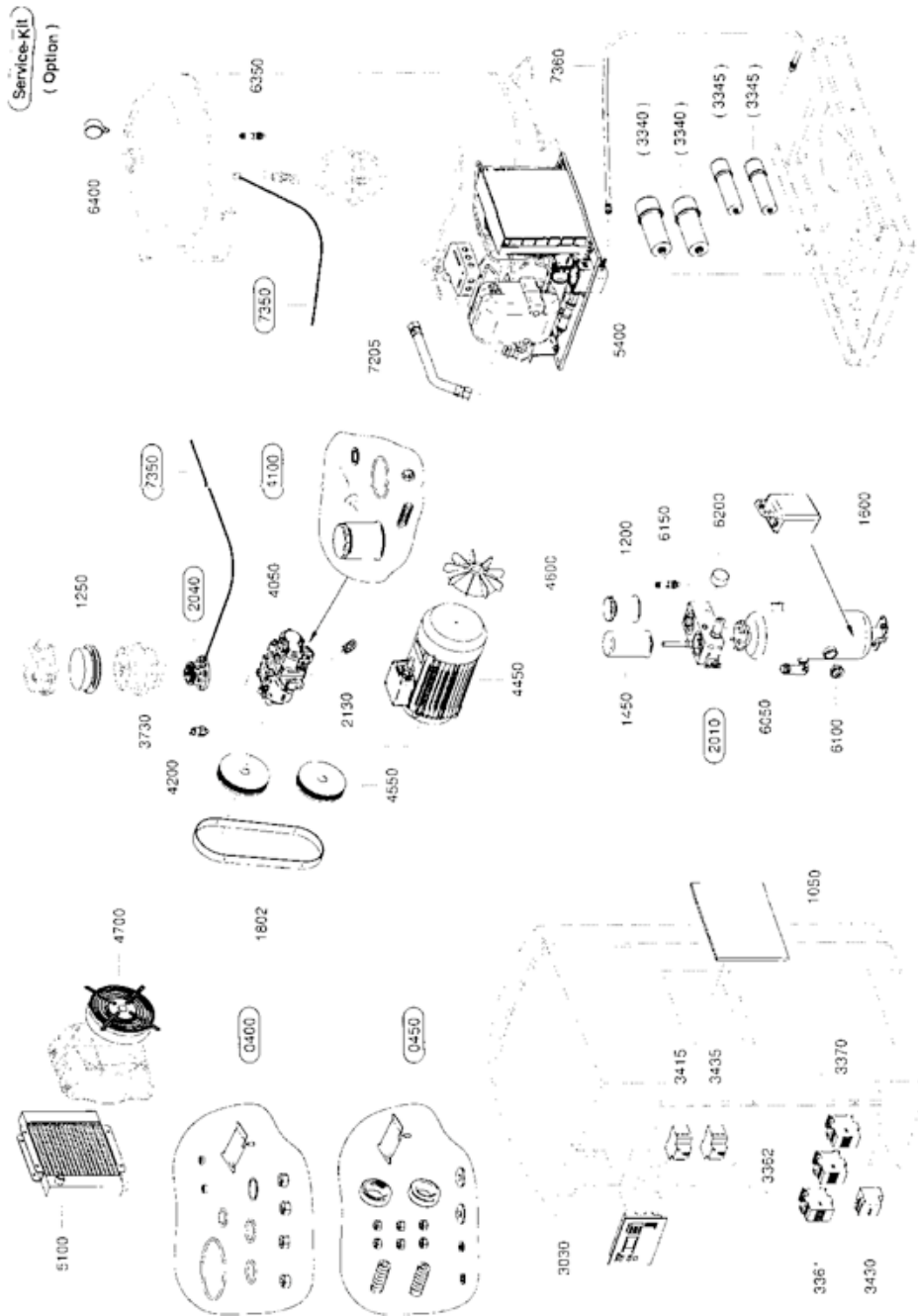
## VII. REFERENCIAS

1. Kaeser Compressor, *Service Manual Screw Compressor AIRTOWER 3C-7.5C, Tri-Voltage.*
2. Kaeser Compressor, *Instruction manual Compressed air filters.*

# VIII. APÉNDICE

## A. Piezas de repuesto para la reparación y servicio

Figura 4: Piezas de repuesto y reparación compresor AirTower 5C



SEG-2019\_01

## B. Lista de piezas de repuesto para la reparación y servicio

*Cuadro 10: Lista de piezas de repuesto y materiales de funcionamiento del compresor AirTower 5C*

Código	Nombre	Código	Nombre
0400	Kit de sellado	3435	Interruptor de protección de motor
0450	Kit de sello	3730	Interruptor de seguridad de presión
1050	Malla del filtro de partículas	3732	Tapa protectora
1200	Filtro de aceite	4050	Unidad compresora SIGMA
1250	Filtro de aire	4100	Kit de instalación de unidad compresora
1450	Cartucho separador de aceite	4200	Polea superior
1600	Aceite lubricante de unidad compresora	4450	Motor de unidad compresora
1802	Correa de unidad compresora	4451	Kit de motor
2010	Válvula de seguridad	4550	Polea inferior
2022	Kit de mantenimiento (MP/CV)	4600	Rueda del ventilador
2024	Kit de revisión (MP/CV)	4700	Unidad de ventilación
2122	Kit de mantenimiento, para válvula de ventilación	5100	Refrigerante
2040	Válvula de entrada	5400	Secador refrigerativo
3030	Controlador Sigma Control	6050	Tanque separador de aceite
3340	Encendedor de condensador	6100	Indicador de nivel de aceite
3345	Funcionamiento del condensador	6150	Válvula de alivio de presión
3361	Contactador	6200	Manómetro
3362	Contactador	6350	Válvula de alivio del depósito de aire
3370	Contactador	6400	Manómetro del depósito de aire
3415	Contactador	7205	Línea de aire (manguera)
3430	Protección contra sobrecarga	7350	Kit para línea de control
		7360	Línea de aire (manguera)

Cuadro 1: Especificaciones de equipo Compresor Airtower 5C

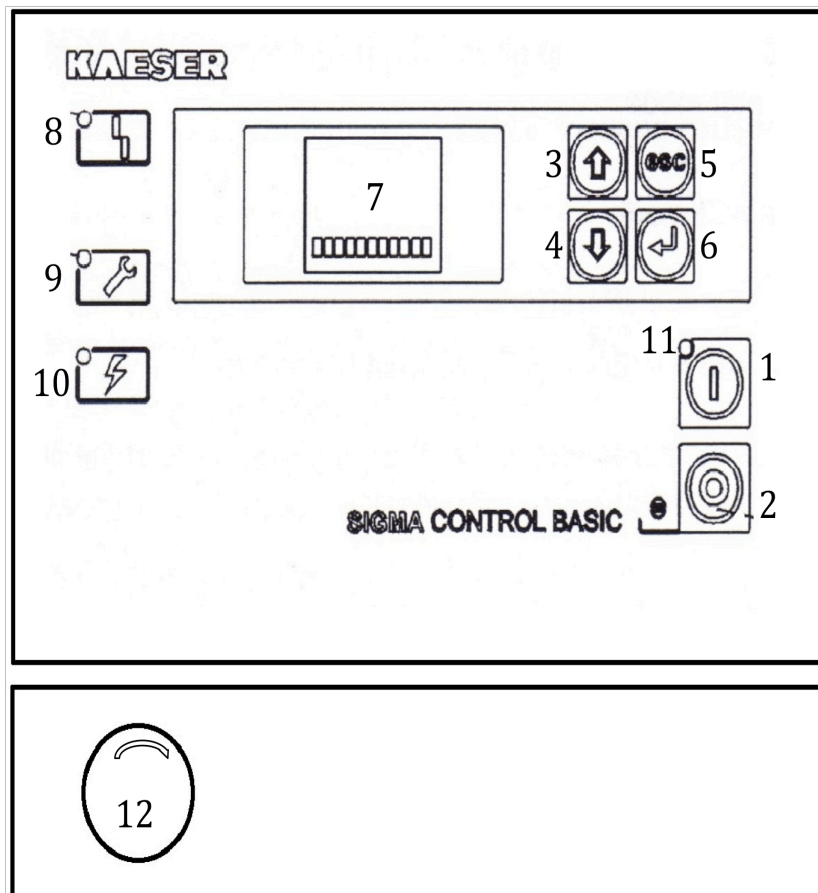
Característica	Valor
Modelo	Airtower 5C
Artículo No.	100696.0
Año	1 /2008
No. Serie	1013
Presión máxima de trabajo	125 psi
Entrega de aire a una presión máxima de trabajo de 125 psig (FAD)	21 cfm
Voltaje	230V $\pm$ 10%
Hz/RPM para 125 psig	60 HZ / 3520 RPM
Fase	230
HP	5
Peso	639 lb
Temperatura mínima de corte	40 °F
Temperatura típica de descarga del compresor	167-200°F
Temperatura máxima de descarga del compresor (sistema de seguridad automático de apagado)	230°F
Máxima presión de trabajo para 125 psig	145 psig
Carga total del aceite refrigerante	3.2 qt
Aumento de volumen del aceite refrigerante	0.13 qt
Tipo de lubricante	M-460
Nivel sonoro de compresor	68 dB(A)
Rango de temperatura ambiente	18 - 30°C
Ajuste de presión de desconexión	115 psig
Ajuste de presión de conexión	110 psig
Volumen de depósito de aire comprimido	53 gal
Presión máxima de trabajo en depósito de aire comprimido	160 psig
Presión de ajuste para la válvula de seguridad del depósito de aire comprimido	145 psig
Capacidad de la válvula de seguridad del depósito de aire comprimido	40 pcm
Modelo de Control sigma	7.7005.3
Presión de desconexión en el control sigma	115 psig
Diferencia de presión en el control sigma	10 psig

Cuadro 2: Especificaciones de secador refrigerativo

Característica	Valor
Modelo de secador refrigerativo	Airtower CT8
Serie No. del secador	1036
Artículo No. del secador	1.8088.00100
Voltaje del secador	115V
Unidad APC	5.5
Año	2008
Presión de punto de rocío con una referencia a una presión de trabajo de 100 psig	1.6 psi
Presión máxima permitida de trabajo	232 psig
Tipo de refrigerante del secador	R134a
Potencial de calentamiento global del refrigerante del secador	1300 GWP
Cantidad de carga máxima del refrigerante del secador	0.4 Kg.
Presión máxima de trabajo permitida para el refrigerante del secador	261 psig
Interruptor de seguridad de presión (cierre a una presión) del secador	261 psig
Modelo de trampa automática de drenado	ECO DRAIN 30
No. de parte de trampa automática de drenado	8.2561.00030
Voltaje de trampa automática de drenado	115V

## B. Panel de control (Sigma Control Basic)

Figura 2: Partes de panel de control



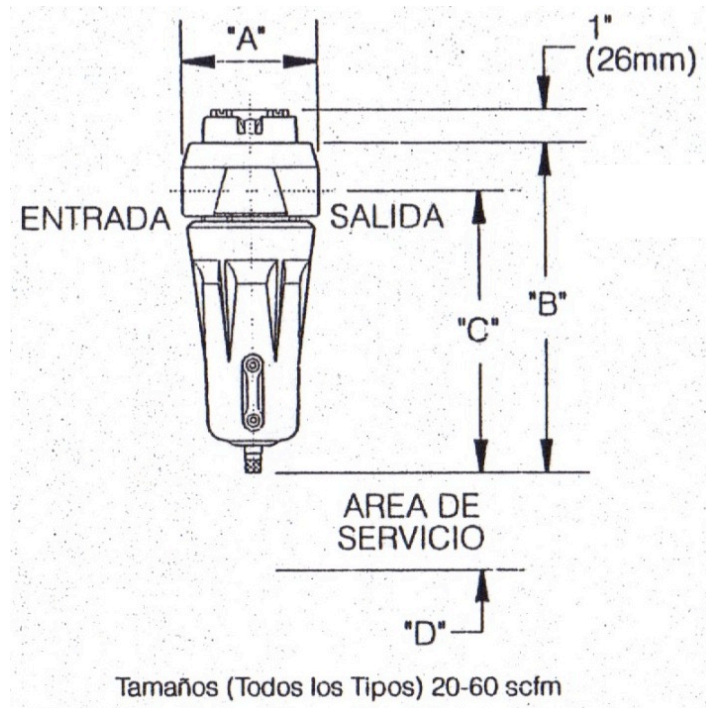
- |                             |   |
|-----------------------------|---|
| 1. <<Encendido (ON)>>       | 9. Precaución (Warning LED), amarillo   |
| 2. <<Apagado (OFF)>>        | 10. Luz indicadora que el equipo está encendido color verde (LED controller ON) |
| 3. <<ABAJO (DOWN)>>         | 11. Luz indicadora de maquina esta encendida color verde (LED machine ON )      |
| 4. <<ARRIBA (UP)>>          | 12. Botón de apagado de emergencia  |
| 5. <<SALIDA>>               |   |
| 6. <<ENTER>>                |   |
| 7. Pantalla de despliegue   |   |
| 8. Alarma (Alarm LED), rojo |   |

Cuadro 3: Especificaciones de filtro de remoción de aceite de alta eficiencia

Característica	Valor
Modelo	Controller Sigma Control
Voltaje	24V DC
Flujo de corriente (controlador estandar)	1.3 A
Flujo de corriente con tarjeta de expansión	2.5 A
Transductor de presión para presión de salida	0/4 -20 mA
Conexión para el transductor de presión	2-wire
Térmometro de resistencia (detección)	PT100 (DIN IEC 751)
Conexión del termómetro de resistencias	2-wire
Hardware	Monitoreo de temperatura interna, monitoreo de flujo de voltaje interno para 24V.

### C. Filtro KOR y KVF

Figura 3: Dimensiones de filtros



Cuadro 4: Especificaciones de filtro de remoción de aceite de alta eficiencia

Característica	Valor
Modelo	KOR 35
Tipo	Filtro coalescente de alta eficiencia Indicador de nivel
Color de hule espuma	Rojo
Remoción de partículas sólidas (tamaño máximo en micrones)	0.01
Eficiencia de remoción de líquidos (en condiciones nominales)	99.99+% de aceite
Carga máxima de líquidos	1,000 ppm w/w aerosoles
Contenido de aceite remanente	0.008 ppm w/w aerosoles
Flujo máximo a 100 psig (7 kgf/cm <sup>2</sup> )	35scfm (105m <sup>3</sup> /hr)
Elemento de reemplazo	OR 35 o OR 35SS
Conexión de entrada /salida NPT	3/8 plg
Dimensiones "A" (ver figura 2)	105mm (4.13 plg)
Dimensiones "B" (ver figura 2)	255mm (10.05 plg)
Dimensiones "C" (ver figura 2)	224mm (8.59 plg)
Dimensiones "D" (ver figura 2)	76mm (3.00 plg)
Peso	2.04 Kg. (4.5 lb)
Presión máxima de trabajo	Vasos: 21.1 kg/cm <sup>2</sup> (300 psig) Líquido: 17.6 kg/cm <sup>2</sup> (250 psig)
Temperatura máxima de operación	66°C (150°F)
Material de cabeza	Zinc
Material del vaso	Aluminio
Material indicador de nivel de líquidos	Isoplast

\*El filtro KOR debe utilizarse como prefiltro (antes del secador desecante o de una membrana); como postfiltro (después de un secador refrigerativo, después de un secador desecante por variación de presión sin calor, para recocción de aceite en el punto de uso)

Cuadro 5: Especificaciones de filtro de vapores de aceite

Característica	Valor
Modelo	KVF 35
Tipo	Filtro de adsorción de carbón activado Indicador de nivel
Color de hule espuma	Verde
Remoción de partículas sólidas (tamaño máximo en micrones)	0.01
Eficiencia de remoción de líquidos (en condiciones nominales)	Remueve vapores únicamente
Carga máxima de líquidos	No deben existir líquidos
Contenido de aceite remanente	0.003 ppm w/w vapores
Flujo máximo a 100 psig (7 kgf/cm <sup>2</sup> )	35scfm (105m <sup>3</sup> /hr)
Elemento de reemplazo	OR 35 o OR 35SS
Conexión de entrada /salida NPT	3/8 plg
Dimensiones "A" (ver figura 1)	105mm (4.13 plg)
Dimensiones "B" (ver figura 1)	255mm (10.05 plg)
Dimensiones "C" (ver figura 1)	224mm (8.59 plg)
Dimensiones "D" (ver figura 1)	76mm (3.00 plg)
Peso	2.04 Kg. (4.5 lb)
Presión máxima de trabajo	Vasos: 21.1 Kg./cm <sup>2</sup> (300 psig) Líquido: 17.6 Kg./cm <sup>2</sup> (250 psig)
Temperatura máxima de operación	66°C (150°F)
Material de cabeza	Zinc
Material del vaso	Aluminio
Material indicador de nivel de líquidos	Isoplast

\*Postfiltro de un grado 3 y grado 5 para aplicaciones que requieran aire libre de aceite.

Universidad del Valle de Guatemala

MANUAL DE MÉTODOS DE ANALISIS DE AIRE  
COMPRIMIDO

TRABAJO DE GRADUACIÓN: DISEÑO DE UN SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO QUE  
CUMPLA CON LAS BUENAS PRÁCTICAS DE MANUFACTURA NORMA 92

Marisol Pereira Cabrera

Guatemala

2009

# CONTENIDO

Página

LISTA DE ILUSTRACIONES.....	iii
-----------------------------	-----

## Capítulos

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS.....	1
III. RESPONSABLES .....	2
A. DEPARTAMENTO DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD .....	2
B. DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN.....	2
IV. MÉTODO DE ANÁLISIS.....	3
A. MÉTODO POR MICROBIOLOGÍA (ANÁLISIS DE PRESENCIA DE BACTERIAS).....	3
B. MÉTODO POR MICROBIOLOGÍA (ANÁLISIS DE PRESENCIA DE HONGOS Y LEVADURAS) .....	4
C. MÉTODO POR CONTEO DE PARTÍCULAS .....	5
V. CRONOGRAMA DE ANÁLISIS .....	6
A. MÉTODO POR MICROBIOLOGÍA (ANÁLISIS DE PRESENCIA DE BACTERIAS).....	6
B. MÉTODO POR MICROBIOLOGÍA (ANÁLISIS DE PRESENCIA DE HONGOS Y LEVADURAS) .....	6
C. MÉTODO POR CONTEO DE PARTÍCULAS .....	6
VI. REFERENCIAS.....	7
VII. APÉNDICE.....	8
A. MEDIOS DE CULTIVO PREPARADOS EN PLACA CATÁLOGO 7174 AGAR SOYA TRIPTICASEINA DE MCD LAB.....	8
B. MEDIOS DE CULTIVO PREPARADOS EN PLACA CATÁLOGO 7034 AGAR DEXTROSA SABOURAUD, DE MCD LAB.....	10
C. MANUAL DE OPERACIÓN EQUIPO CONTADOR DE PARTÍCULAS .....	12

## LISTA DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN

PÁGINA

FIGURA 1: PARTES DEL CONTADOR DE PARTÍCULAS..... 13

# I. INTRODUCCIÓN

El aire es una mezcla gaseosa compuesta de nitrógeno, oxígeno y diversos gases como lo son argón, xenón, dióxido de carbono, entre otros. Se considera como contaminación del aire a la adición de cualquier sustancia que altere las propiedades físicas o químicas, teniendo así un aire cuyos componentes pueden ser diversos.

Para un sistema de aire comprimido, la contaminación existe en la tubería si hay alguna corrosión interna, en los filtros para la retención de aceite, en vapores saturados y están dejando pasar hacia la línea de distribución aceite y si el secador está en mal funcionamiento el aire tiene un cierto porcentaje de humedad mayor, lo que provoca que haya cierto grado de contaminación con la presencia de hongos, bacterias adheridas a partículas de polvo o contenidas en gotitas microscópicas de líquido, por lo que se hace necesario implementar estrategias de control y monitoreo de la calidad de aire, con el fin de proteger no solo el producto terminado si no que el equipo del cual depende.

# II. OBJETIVOS

## A. Objetivo general

1. Determinar la calidad del aire comprimido utilizado en un sistema de filtración a presión en área estéril para verificar el cumplimiento de los parámetros establecidos en las buenas prácticas de manufactura.

## B. Objetivos específicos

1. Determinar la condición de calidad de aire comprimido a través de muestreo de partículas
2. Determinar la condición de calidad de aire comprimido a través de análisis microbiológico.

### III. RESPONSABLES

#### A. Departamento de aseguramiento de calidad

##### 1. Gerencia de aseguramiento de calidad

Velar porque se realice el análisis y verificar que se esté siguiendo el procedimiento adecuado en la realización del análisis del aire

##### 2. Inspectores de calidad encargados del área estéril

Realización del análisis del aire comprimido cumpliendo los procedimientos adecuados.

#### B. Departamento de producción

##### 1. Gerencia de producción

Velar porque se cumpla calidad en la realización de procedimientos.

##### 2. Supervisión de producción

Mantener el control de limpieza en las áreas de producción, en especial en procesos en los que se utilicen aire comprimido, tomando en cuenta los procedimientos de producción de cada producto.

## IV. MÉTODO DE ANÁLISIS

### A. Método por microbiología (análisis de presencia de bacterias)

En el método de análisis de presencia de bacterias se utilizará el método del Agar Casoy o método de sedimentación, este es un medio de cultivo universal ya que es exento de sustancias indicadoras e inhibidoras, así como es utilizado por ser análisis de un amplio espectro de aplicaciones así como la detección de la Escherichia Coli por la fluorescencia, después de incubar de 18 a 24 horas a 35°C.

Para la formación de este agar se trabaja una base nutritiva para un adecuado cultivo de microorganismos exigentes, y por esta razón es utilizado como base de fabricación de medios especiales de cultivo; para la realización de este agar se utiliza peptona de caseína, peptona de harina de soya, cloruro de sodio y agar; el contenido de peptonas de soya y caseína proporciona los nutrientes necesarios para el desarrollo de microorganismos tanto aerobios como anaerobios, el cloruro de sodio mantiene un equilibrio osmótico.

En la realización del método es necesario preparar el agar, luego verterlo en placas en una capa gruesa, después se distribuye homogéneamente, pero hay que tomar en cuenta que para *esterilizarlo no se debe autoclavar*, estas placas deben presentar un color tenue hasta verde pálido, si hay alguna coloración el medio de cultivo debe desecharse. Hay que tomar en cuenta que el medio de cultivo si esa recién preparado es muy inhibitor, por lo cual se recomienda utilizarlo en caso de contaminación intensa; por otro lado para poder la aparición de las colonias se hace notar a las 48 horas de cultivo; además se recomienda que se tenga un almacenamiento como máximo de 4 días a una temperatura de 4°C, al terminar este tiempo el cultivo pierde su potencia inhibitor, y en este momento se puede utilizar el agar para realizar análisis en un área con una ligera contaminación.

La técnica a utilizar es por medio de placa, en la cual se quita la tapa a una placa de Petri con Agar Casoy, de modo que queda expuesta al aire durante un tiempo controlado de 30 minutos, durante este tiempo algunas partículas ya sean de polvo o de agua con microorganismos sedimentarán sobre la superficie del agar, después se cierra la placa y se incuba por 48 horas. Aunque este método es muy tosco se obtiene un cultivo de los diferentes tipos de microorganismos presentes en el aire.

Este método corresponde a las recomendaciones de la United States Pharmacopoeia XXI (1985) a la European Pharmacopoeia II (1980) y a la Farmacopea Alemana.

*NOTA: Se recomienda realizar este método en un tanque presurizado teniendo una presión máxima de 206,840 Pa (30 PSI), teniendo un volumen conocido (respecto al volumen del tanque presurizado).*

*NOTA: VER APÉNDICE 1, PARA REFERENCIA DE PREPARACIÓN DE AGAR.*

## B. Método por microbiología (análisis de presencia de hongos y levaduras)

En el análisis microbiológico del aire puede consistir en un recuento en placa de microorganismos aerobios que puede complementarse con una investigación de la presencia de determinados organismos patógenos.

Para este método se utilizará la técnica de Agar Dextrosa Sabouraud, el cual es un medio utilizado para el cultivo de hongos y levaduras.

Este agar es una modificación a la fórmula original del Agar de Dextrosa, este como se dijo anteriormente es un medio utilizado para el cultivo de hongos patógenos, particularmente aquellos asociados con infecciones de piel. Por tener una alta concentración de dextrosa la acidez del pH hacen a éste un medio selectivo para hongos, se adiciona ciclohexilamina, estreptomycin y penicilina, con el cual se obtiene un excelente medio para el aislamiento primario de dermatofitos (hongos filamentosos que causan infecciones en la piel, el pelo y las uñas tanto del ser humano como de los animales); este medio también es utilizado para evaluar hongos en alimentos; también se utilizan peptonas que proveen la fuente de nitrógeno y carbono para el crecimiento de los microorganismos, así como la dextrosa una fuente energética y el agar como agente solidificante.

La técnica a utilizar es por medio de placa, en la cual se quita la tapa a una placa de Petri con Agar Dextrosa Sabouraud, de modo que queda expuesta al aire durante un tiempo controlado (15 a 30 minutos). Durante este tiempo algunas partículas ya sean de polvo o de agua con microorganismos quedaran sobre la superficie del agar. Después se cierra la placa y se incuba. Este método permite obtener cultivo de los diferentes tipos de microorganismos presentes en el aire.

*NOTA: Se recomienda realizar este método en un tanque presurizado teniendo una presión máxima de 206,840 Pa (30 PSI), teniendo un volumen conocido (respecto al volumen del tanque presurizado).*

*NOTA: VER APÉNDICE 2, PARA REFERENCIA DE PREPARACIÓN DE AGAR*

## C. Método por conteo de partículas

El método de conteo de partículas se utilizará en un área crítica, la cual se define como crítica, ya que contiene los productos esterilizados, por lo que al exponerse son vulnerables a la contaminación. Para mantener la esterilidad del producto, es esencial que el entorno en el que las operaciones asépticas que se llevan a cabo, deben mantener un control y una adecuada calidad. Uno de los aspectos de la calidad del medio ambiente es el de partículas contenido en el aire. Las partículas son importantes porque pueden entrar en un producto como un contaminante extraño y pueden también contaminarlo biológicamente al actuar como un vehículo para microorganismos.

Como el aire que se va a utilizar es un aire comprimido directo hacia el producto, es necesario que no se corran riesgos al tener cierta cantidad de partículas por metro cúbico, por lo que es necesario tener un rango de partículas no mayor a 0.5 micras y que sea representativo normalmente no más de 1 pie cúbico, este nivel de calidad de aire se clasificará como Clase 100 o como Clase 5 según normas ISO.

Por lo que para el sistema de medición de partículas se recomienda que las mediciones sean para confirmar la limpieza del aire comprimido, de esta manera el conteo de partículas debe colocarse en una orientación demostrando para obtener una muestra significativa y la vigilancia periódica debería ser realizada durante cada turno de producción.

Para poder realizar este monitoreo se puede utilizar un tanque presurizado, esterilizado previamente, en el cual se coloca el medidor de partículas en el interior del mismo, y agregando aire comprimido a una presión no mayor de 206,840 Pa (30 PSI), esto con el fin de tener una muestra representativa y así realizar una medición en el cual se conocen las condiciones con el cual se va a trabajar y tomar la muestra.

El monitoreo de partículas es necesario para cumplir los requisitos de Buenas Prácticas de Manufactura. Las áreas limpias deberán ser validadas para demostrar una limpia clasificación y seguimiento de producto para demostrar que no está contaminado. El nivel de seguimiento varía en función de la clasificación de la aplicación del aire comprimido,

*NOTA: Se recomienda realizar este método en un tanque presurizado teniendo una presión máxima de 206,840 Pa (30 PSI), teniendo un volumen conocido (respecto al volumen del tanque presurizado).*

*NOTA: VER APÉNDICE 3, PARA REFERENCIA DE EQUIPO PROPUESTO DE MEDICION.*

## V. CRONOGRAMA DE ANÁLISIS

### A. Método por microbiología (análisis de presencia de bacterias)

Dos veces a la semana (martes y jueves) antes de iniciar labores en el área estéril, ingresar las cajas en cada área (pesado de materia prima, fabricación y llenado) dejar las cajas abiertas por 15 ó 30 minutos.

### B. Método por microbiología (análisis de presencia de hongos y levaduras)

Dos veces a la semana (lunes y miércoles) antes de iniciar labores en el área estéril, ingresar las cajas en cada área (pesado de materia prima, fabricación y llenado) dejar las cajas abiertas por 15 ó 30 minutos.

### C. Método por conteo de partículas

Dos veces al mes, al inicio de cada semana (día lunes).

## VI. REFERENCIAS

1. DIBICO, Catálogo 1303, *Medio de cultivo Bacteriología general, Agar de soya y tripticaseina con mug*, Mexico D.F 2002.
2. Dirección General de salud ambiental, *Manual Microbiológico de Análisis Alimento*, Lima Perú, actualización 2001, [http://74.125.47.132/search?q=cache:V-LxEIW\\_X00J:bvs.minsa.gob.pe/archivos/DIGESA/61\\_MAN.ANA.MICROB.pdf+agar+casoy&hl=es&ct=clnk&cd=38&gl=gt](http://74.125.47.132/search?q=cache:V-LxEIW_X00J:bvs.minsa.gob.pe/archivos/DIGESA/61_MAN.ANA.MICROB.pdf+agar+casoy&hl=es&ct=clnk&cd=38&gl=gt)
3. MCD LAB, *Medios de Cultivo preparados en placa Catálogo 7034 Agar Dextrosa Sabouraud*, actualización 2009, México D.F. <http://www.mcd.com.mx/>
4. MCD LAB, *Medios de Cultivo preparados en placa Catálogo 7174 Agar Soya Trypticaseina*, actualización 2009, México D.F. <http://www.mcd.com.mx/>
5. Particle Measuring System, *Basic Guide to Particle Counters and Particle Monitoring*, actualización 2008, [http://www.pmeasuring.com/wrap/filesApp/BasicGuide/file\\_1/basicguide.pdf](http://www.pmeasuring.com/wrap/filesApp/BasicGuide/file_1/basicguide.pdf)
6. Particle Measuring System, *Particle monitoring in high pressure gas lines*, actualización 2008, [www.pmeasuring.com](http://www.pmeasuring.com)

## VII. APÉNDICE

A. Medios de cultivo preparados en placa Catálogo 7174 Agar Soya  
Trypticaseina de MCD LAB

## AGAR SOYA TRIPTICASEINA



### USO

El Agar Soya Tripticaseína es un medio utilizado para promover el crecimiento de microorganismos fastidiosos y adicionado de sangre para observa reacciones hemolíticas.

### EXPLICACIÓN

El Agar de Soya Tripticaseína provee un excelente soporte de crecimiento para organismo aerobios y anaerobios, según lo demostró Leavit en 1955. Este medio es recomendado en los procedimientos microbiológicos de control de aguas , cosméticos y en la industria farmacéutica. De acuerdo con la Farmacopea. Clínicamente se utiliza para diferenciar especies de Haemophylus debido a que no contiene los factores X y V requeridos para su crecimiento. Así mismo este medio puede ser utilizado como base para preparar medios suplementados como el Agar Sangre y Agar Glosa Chocolate. En este medio las peptonas proveen la fuente de nitrógeno y minirales. El azúcar de la Peptona de Soya provee la fuente de carbohidratos. El Cloruro de Sodio tiene su función en el balance osmótico y el Agar es incorporado como agente solidificante.

### FORMULA

Peptona de Caseína	15.0
Peptona de Soya	5.0
Cloruro de Sodio	5.0
Agar Bacteriológico	15.0
pH	7.3 ± 0.2

### PREPARACIÓN

#### Método:

Suspender 40 g del medio en un litro de agua purificada. Calentar con agitación suave hasta su completa disolución y hervir durante un minuto. Esterilizar en autoclave a 121°C ( 15 libras de presión) durante 15 minutos. Dejar enfriar a una temperatura entre 45-50°C y vaciar en placas de Petri estériles.

Para preparar Agar Sangre, adicionar ascéticamente sangre desfibrinada estéril al 5% después de esterilizar y enfriar el medio.

### RESULTADOS

**Almacenamiento:** 2-30°C.

**Caducidad:** 5 años en frasco cerrado.

**Presentación:** Frasco con 450 g  
Caja con 20 sobres para un litro  
Medio preparado en paquete con 10 placas  
Medio preparado en caja con 10 Tubos

### BIBLIOGRAFÍA

1. Leavit., J.M. Naidorf and P. Shugaefsky. 1955. The undetected anaerobe in endodontic, a sensitive medium for detection of both aerobes and anaerobes. The NY.J. Dentist. 25:377-382
2. Curry.,A. S.,G.G., Joyce, and G.N. Mc Ewwn,Jr. 1993. CTFA Microbiology guidelines. The cosmetic,Toiletry and Fragance . Association. Inc. Washington,DC.
3. The United States Pharmacopeia. 1995. Microbiological test, p. 168-1686. The United States pharmacopeia, 23<sup>rd</sup> Ed.United States Pharmacopeis Convection. Rockesville, MD.



B. Medios de cultivo preparados en placa Catálogo 7034 Agar Dextrosa Sabouraud, de MCD LAB

## AGAR DEXTROSA SABOURAUD



**USO** El Agar Dextrosa Sabouraud es un medio utilizado para el cultivo de hongos y levaduras.

**EXPLICACIÓN** El Agar de Dextrosa Sabouraud es una modificación a la fórmula original del Agar de Dextrosa desarrollado por Raymond Sabouraud. Este medio es utilizado para el cultivo de hongos patógenos, particularmente de aquellos asociados con infecciones de piel. La alta concentración de dextrosa y la acidez del pH hacen a éste un medio selectivo para hongos. Con la adición de cicloheximida, estreptomycin y penicilina, se obtiene un excelente medio para el aislamiento primario de dermatofitos. Este medio es también utilizado para la determinación microbiológica en cosméticos y para evaluar la presencia de hongos en alimentos. En este medio las peptonas proveen la fuente de carbono y nitrógeno para el crecimiento de los microorganismos, la dextrosa actúa como fuente de energía y el agar es agregado como agente solidificante.

**FORMULA**

Dextrosa	40.0
Peptona de Caseína	5.0
Digerido Pancreático de Tejido Animal	5.0
Agar Bacteriológico	15.0
pH	5.6 ± 0.2

**PREPARACIÓN**

**Método:**  
Suspender 65 g del medio en un litro de agua purificada. Calentar con agitación suave hasta su completa disolución y hervir durante un minuto. Evitar el sobrecalentamiento. Esterilizar en autoclave a 121°C (15 libras de presión) durante 15 minutos. Dejar enfriar a una temperatura entre 45-50°C y vaciar en placas de Petri estériles.

**Procedimiento:**

1. Sembrar las muestras tan pronto lleguen al laboratorio siguiendo las recomendaciones para su proceso y siembra.
2. Incubar las placas o tubos sembrados en una atmósfera húmeda a 25-30°C.
3. Examinar los cultivos semanalmente para reportar resultados de crecimiento. Los cultivos deberán dejarse en incubación hasta por 6 semanas antes de reportarse como negativos.

**RESULTADOS** En las muestras positivas se observa el crecimiento de hongos y levaduras con su morfología colonial típica o confluencia de colonias.

**Almacenamiento:** 2-30° C.

**Caducidad:** 5 años en frasco cerrado.

**Presentación:** Frasco con 450 g  
Caja con 20 sobres para un litro  
Medio preparado en paquete con 10 placas  
Medio preparado en caja con 10 Tubos

**BIBLIOGRAFÍA**

1. Sabouraud. R. 1892. Ann. Dermatol. 3:1061
2. MacFaddin J. 1985. Media for isolation-cultivation-identification-maintenance of medical bacteria. Vol. I. Williams and Wilkins, Baltimore.
3. United States Pharmacopial Convention.1995. The United Staes pharmacopeia. 23 ed. The United States Pharmacopeial Convention, Rockville, MD.
4. Larone, D.H. 1995. Medical important fungi, a guide to identification. 3<sup>rd</sup> ed. American Society for Microbiology, Wasington D.C.
5. Jarett, L., and A.C. Sonnenwirth (ed.) 1980. Gradwohl's clinical laboratory methods and diagnosis, 8<sup>th</sup> ed, CV Mosby.
6. Davison, A. M., E.S. Dowding, and A.H.R., Buller.1992. Hyphal fusions in dermatophytes. Can. J. Res. 6:1



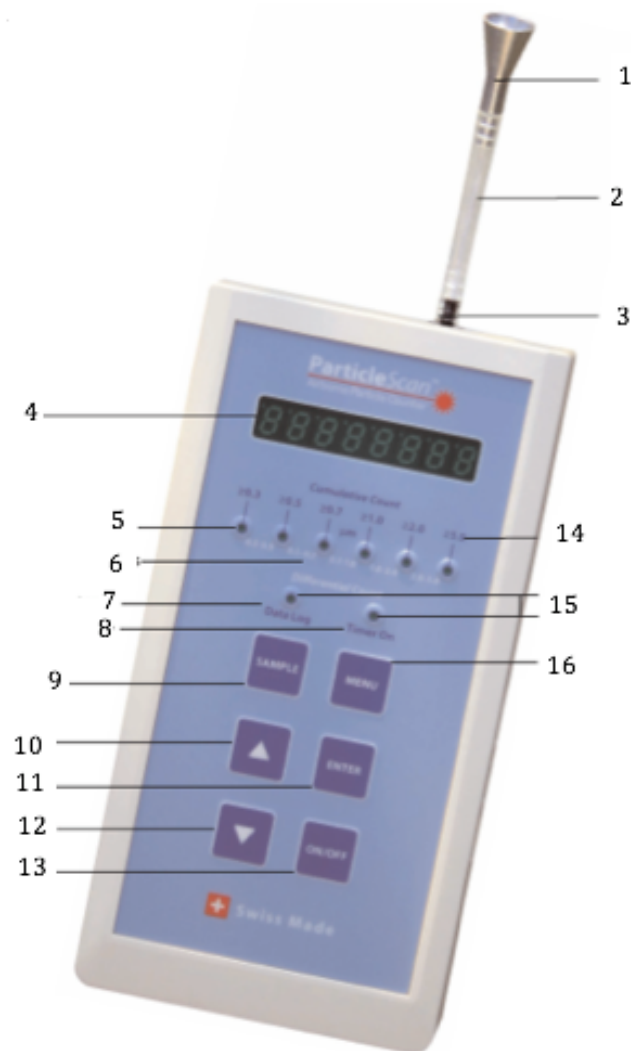
## C. Manual de operación equipo contador de partículas

### 1. Especificaciones técnicas

*Cuadro 1: Especificaciones técnicas del equipo ParticleScan*

Especificación	Valor
Modelo	ParticleScan CR
Mínimo de sensibilidad	0.3 $\mu\text{m}$
Caudal	0.1 cfm
Coincidencia perdida < 5%	2 millones de partículas por pie cúbico
Tamaños de muestras	0.3, 0.5, 0.7, 1.0, 2.0, 5.0 ( $\mu\text{m}$ )
Tiempo de muestreo	1-255 segundos (seleccionable por el usuario)
Conteo de muestra	Partículas por pie cubico, partículas por litro, partículas por metro cubico (1000 L)
Despliega	8-dígitos LED
Fuente de laser	Laser diode, 680 nm
Alarma acústica	1 - 9'999'999 partículas por canal
Potencia	115V, 60Hz or 230V, 50Hz
Dimensiones	19.5 x 10.0 x 5.5 cm (7.75 x 4.0 x 2.25 pulgadas) 0.8 kg (1.8 lb)

Figura 1: Partes del contador de partículas



- |  |   |
|--|---|
| 1. Sonda isocinética                   | 11. Botón ENTRAR [ENTER]  |
| 2. Tubo Tygon                          | 12. Botón ABAJO [DOWN]  |
| 3. Tobera de admisión                  | 13. ENCENDIDO / APAGADO [ON / OFF]  |
| 4. Pantalla                            | 14. Acumulativo Conde Rangos  |
| 5. Indicadores de tamaño de partículas | 15. Indicador de batería baja (cuando el botón de registro de datos y el indicador de tiempo automático se enciendan los dos al mismo tiempo) |
| 6. Cuenta diferencial de rangos        | 16. Botón MENU  |
| 7. Registro de datos de indicadores    |   |
| 8. Indicador de tiempo automático      |   |
| 9. Botón MUESTRA [SAMPLE]              |   |
| 10. Botón ARRIBA [UP]                  |   |

## 2. Operación

### a. Preparación del contador de partículas

- 1) Retire la tapa roja de la tobera de admisión.
- 2) Tome la sonda isocinética y adjúntelo con el tubo fin a la tobera de admisión.

### b. Encendido y apagado

- 1) Para encender la ParticleScan, pulse y mantenga pulsado el interruptor ON / OFF durante 2 segundos. Cuando el dispositivo está encendido, sonará un pitido corto y mostrar [PARO] [*STANDBY*] en la pantalla. (ver Figura 1)
- 2) Para apagar el dispositivo, pulse y mantenga pulsado el interruptor ON / OFF durante 2 segundos. Cuando la maquina está apagada, se oirá un pitido corto y la pantalla se apagará o mostrar [CARGA] [*Charging*] cuando está conectado al adaptador de corriente. (ver Figura 1)

### c. Muestreo de partículas

- 1) Para hacer una medición, encienda el equipo y pulse la tecla [MUESTRA] [*SAMPLE*]. El equipo contará hacia atrás mientras toma la primera muestra del aire, y a continuación muestra el primer resultado, puede haber algún retraso por unos segundos hasta que comienza la cuenta regresiva ya que el equipo realiza una rutina interna de calibración. El número en la pantalla representa el número de partículas calculadas a estar presentes por pie cúbico, litro o metro cúbico (1000 litros) de aire, dependiendo de la unidad de concentración seleccionada. (ver Figura 1)
- 2) La pantalla del equipo se actualizará a intervalos regulares, como está seleccionado en el menú de tiempo de muestra, y el tiempo estándar de toma de muestra es de 6 segundos.
- 3) Para detener la toma de medidas, pulse la tecla [MUESTRA] [*SAMPLE*] una vez. El último resultado de la medición ahora está congelado en la pantalla. (ver Figura 1)

### D. Toma de muestra en diferentes tamaños de canales

El ParticleScan tiene seis canales de tamaño que permite al usuario tener en cuenta acumulada por seis diferentes rangos de tamaños de partículas y en forma diferencial que cuenta para cinco diferentes rangos de tamaño.

- 1) Para detener la toma de medidas, pulse la tecla [MUESTRA] [*SAMPLE*] una vez. El último resultado de la medición ahora está congelado en la pantalla. (ver Figura 1)

- 2) Cuando el contador es encendido, se mostrará la concentración de partículas por pie cúbico (cu. pies) de aire para la Cuenta de Rango Acumulado ( $> 0.3\mu\text{m}$ ).
- 3) Para cambiar el tamaño del canal a la siguiente gama de tamaños de partículas, simplemente pulse la tecla [ARRIBA] [UP]. El indicador del rango de tamaño cambiará de "> 0.3" a "> 0.5". (ver Figura 1)
- 4) Pulsando repetidas veces la tecla [ARRIBA] [UP] se desplazará por todos los diferentes rangos de tamaños, primero los de conteo acumulativo y después a través de todos los diferenciales. (ver Figura 1)