

**ESTUDIO PARA LA SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES ÓPTIMOS PARA
EL FILTRADO Y REGULACIÓN DEL AIRE EN LA ETAPA DE SOPLADO DE
UNA MÁQUINA EXTRUSORA-SOPLADORA DE ENVASES PLÁSTICOS**

ANDRÉS EDUARDO LLANTÉN OROZCO

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN
DEPARTAMENTO DE FÍSICA, INGENIERÍA FÍSICA
POPAYÁN
2012**

**ESTUDIO PARA LA SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES ÓPTIMOS PARA
EL FILTRADO Y REGULACIÓN DEL AIRE EN LA ETAPA DE SOPLADO DE
UNA MÁQUINA EXTRUSORA-SOPLADORA DE ENVASES PLÁSTICOS**

ANDRÉS EDUARDO LLANTÉN OROZCO

Trabajo de grado para optar por el título de

Ingeniero Físico

Modalidad Pasantía

Director

M.Sc. LUIS FERNANDO ECHEVERRI

Docente

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN
DEPARTAMENTO DE FÍSICA, INGENIERÍA FÍSICA
POPAYÁN
2012**

Nota de Aceptación

Director _____
M.Sc. Luís Fernando Echeverri

Jurado _____
M.Sc. Jorge Washington Coronel

Jurado _____
Dr. Carlos Alberto Rincón

Fecha de sustentación: Popayán, 2 de Marzo de 2012.

CONTENIDO

| | |
|---|-----------|
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | 11 |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | 14 |
| 1. INTRODUCCION..... | 16 |
| 2. MOLDEO POR SOPLADO..... | 19 |
| 2.1. Extrusión-Soplado..... | 20 |
| 2.1.1. Etapa de alimentación..... | 21 |
| 2.1.2. Etapa de extrusión..... | 21 |
| 2.1.2.1. Cabezal..... | 22 |
| 2.1.2.2. Programación del precursor..... | 23 |
| 2.1.2.3. Propiedades del párison..... | 25 |
| 2.1.2.4. Acumulador..... | 26 |
| 2.1.3. Etapa de soplado..... | 26 |
| 2.1.3.1. Presión de soplado..... | 27 |
| 2.1.3.2. Cualidades del aire..... | 27 |
| 2.1.3.3. Pin de soplado..... | 27 |
| 2.1.3.4. Molde de soplado..... | 29 |
| 2.1.3.4.1. Temperatura del molde de soplado..... | 29 |
| 2.1.3.4.2. Materiales para la construcción de moldes de soplado..... | 30 |
| 2.1.4. Representación de la técnica Extrusión-Soplado..... | 30 |
| 2.1.5. Variantes adicionales en la técnica Extrusión-Soplado..... | 31 |
| 2.1.5.1. Máquinas tipo rotatorio..... | 31 |
| 2.1.5.2. Máquinas de extrusión intermitente..... | 32 |
| 2.2. Inyección-Soplado..... | 32 |

| | |
|--|-----------|
| 3. REQUERIMIENTOS..... | 34 |
| 3.1. Requerimientos de la empresa SISTAMCOL LTDA..... | 34 |
| | |
| 4. IDENTIFICACIÓN DE COMPONENTES Y SELECCIÓN EN LA UNIDAD DE SOPLADO..... | 35 |
| 4.1. Análisis morfológico..... | 35 |
| 4.2. Métodos de soplado..... | 36 |
| 4.2.1. Soplado por aguja..... | 36 |
| 4.2.2. Soplado por mandril..... | 37 |
| 4.2.3. Análisis morfológico..... | 39 |
| 4.2.4. Argumentos para la selección del método de soplado..... | 40 |
| | |
| 5. DISEÑO DE LA UNIDAD DE SOPLADO..... | 41 |
| 5.1. Base del soplador..... | 41 |
| 5.2. Cuerpo del soplador..... | 42 |
| 5.3. Varilla de soplado..... | 43 |
| 5.4. Punta de soplado..... | 45 |
| 5.5. Ensamblaje final del pin de soplado..... | 45 |
| 5.6. Análisis de moldeo por soplado..... | 47 |
| | |
| 6. IDENTIFICACIÓN Y SELECCIÓN DEL COMPRESOR DEL AIRE SEGÚN NECESIDADES..... | 53 |
| 6.1. Compresores de desplazamiento positivo..... | 53 |
| 6.1.1. Rotativo de lóbulos..... | 54 |
| 6.1.2. Rotativo de tornillos..... | 55 |
| 6.1.3. Rotativo de paletas..... | 56 |

| | |
|--|----|
| 6.1.4. Compresores alternativos..... | 57 |
| 6.2. Compresores dinámicos..... | 58 |
| 6.2.1. Compresores centrífugos..... | 58 |
| 6.2.2. Compresores axiales..... | 59 |
| 6.3. Otras clasificaciones..... | 60 |
| 6.3.1. Compresores alternativos de simple efecto..... | 61 |
| 6.3.2. Compresores alternativos de doble efecto..... | 61 |
| 6.3.3. Compresores alternativos mono cilíndricos..... | 62 |
| 6.3.4. Compresores alternativos bi cilíndricos..... | 62 |
| 6.4. Parámetros para la selección del compresor..... | 63 |
| 6.5. Determinación de la demanda de aire comprimido..... | 64 |
| 6.5.1. Factor de simultaneidad..... | 64 |
| 6.5.2. Factor de utilización..... | 65 |
| 6.5.3. Fugas..... | 66 |
| 6.5.4. Expansión..... | 66 |
| 6.5.5. Error..... | 67 |
| 6.5.6. Correcciones por altitud..... | 67 |
| 6.6. Cálculo de la demanda de aire sin correcciones para la etapa de soplado..... | 69 |
| 6.6.1. Determinación del factor de simultaneidad..... | 71 |
| 6.6.2. Cálculo del factor de utilización..... | 71 |
| 6.6.3. Corrección de consumo por fugas..... | 73 |
| 6.6.4. Corrección de consumo por expansión..... | 73 |
| 6.6.5. Corrección por error..... | 73 |
| 6.7. Cálculo de la demanda de aire con correcciones para la etapa de soplado..... | 74 |
| 6.7.1. Corrección por altitud..... | 74 |
| 6.8. Cálculo de la demanda de aire con correcciones y equipo adicional..... | 76 |
| 6.8.1. Corrección por altitud con equipo adicional..... | 77 |

| | |
|---|-----------|
| 6.9. Importancia de una presión adecuada..... | 78 |
| 6.10. Selección del compresor de aire..... | 78 |
| 6.10.1. Compresores descartados..... | 79 |
| 6.10.2. Análisis morfológico..... | 80 |
| 6.10.3. Argumentos para la selección del compresor de pistón..... | 82 |
| 6.10.4. Determinación de la presión máxima del compresor..... | 83 |
| 6.10.5. Modelo del compresor de pistón..... | 84 |
| 6.10.5.1. Marca Ingersoll Rand..... | 85 |
| 6.10.5.2. Marca BOGE..... | 85 |
| 6.10.5.3. Marca SFM..... | 86 |
| 6.10.5.3.1. Línea K..... | 86 |
| 6.10.5.3.2. Línea U.B..... | 86 |
| 6.11. Refrigeración del compresor..... | 87 |
| | |
| 7. DISEÑO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DEL AIRE COMPRIMIDO..... | 88 |
| 7.1. Condiciones de diseño..... | 88 |
| 7.2. Presión de operación..... | 89 |
| 7.3. Máxima caída de presión admisible..... | 89 |
| 7.4. Caudal o gasto..... | 89 |
| 7.5. Longitud efectiva de tubería..... | 90 |
| 7.6. Tipos de redes de distribución de aire comprimido..... | 90 |
| 7.6.1. Tubería principal..... | 90 |
| 7.6.2. Tubería de distribución..... | 90 |
| 7.6.3. Tubería de servicio..... | 91 |
| 7.7. Materiales de la tubería de la red de aire comprimido..... | 91 |
| 7.7.1. Tubería de cobre..... | 92 |
| 7.7.2. Tubería plástica..... | 93 |
| 7.7.3. Tubería de acero inoxidable..... | 93 |

| | |
|--|-----|
| 7.7.4. Tubería de acero al carbono-roscada..... | 94 |
| 7.7.5. Tubería de acero al carbono-soldada..... | 95 |
| 7.7.6. Selección de materiales para la red de tuberías..... | 96 |
| 7.7.7. Argumentos para la elección de la tubería..... | 97 |
| 7.7.7.1. Tubería principal y de distribución..... | 97 |
| 7.7.7.2. Tubería de servicio..... | 98 |
| 7.7.8. Código ASME B31.3..... | 98 |
| 7.8. Diámetro interno de la tubería..... | 99 |
| 7.8.1. Cálculo del diámetro interno de la tubería principal..... | 99 |
| 7.8.1.1. Marca Ingersoll Rand..... | 100 |
| 7.8.1.2. Marca BOGE..... | 101 |
| 7.8.1.3. Marca SFM..... | 101 |
| 7.8.1.3.1. SFM 11.33 K-17..... | 101 |
| 7.8.1.3.2. SFM 9.0 UB-20..... | 102 |
| 7.8.2. Diámetro nominal NPS (Nominal Pipe Size)..... | 103 |
| 7.8.2.1. NPS para el diámetro calculado..... | 104 |
| 7.8.2.2. Argumentos de selección NPS para el diámetro..... | 105 |
| 7.9. Causas de presiones bajas..... | 106 |
| 7.10. Fugas..... | 106 |
| 7.11. Conexión de redes y dispositivos neumáticos..... | 107 |
| 7.11.1. Características para identificar una rosca..... | 107 |
| 7.11.1.1. Forma de la rosca..... | 107 |
| 7.11.1.2. Paso de la rosca..... | 108 |
| 7.11.1.3. Diámetro externo..... | 108 |
| 7.11.1.4. Hilos por pulgada..... | 108 |
| 7.11.1.5. Ángulo de flanco y conicidad..... | 109 |
| 7.11.2. Normas de estandarización para roscas..... | 109 |
| 7.11.2.1. Norma NPT..... | 110 |
| 7.11.2.2. Norma BSP..... | 110 |

| | |
|---|-----|
| 7.11.2.3. Combinaciones macho-hembra..... | 111 |
|---|-----|

8. IDENTIFICACIÓN DE COMPONENTES Y SELECCIÓN EN LA UNIDAD DE TRATAMIENTO DE AIRE COMPRIMIDO.....

| | |
|--|------------|
| 8.1. Calidad y tratamiento del aire comprimido..... | 114 |
| 8.2. Calidad del aire requerida para la etapa de soplado..... | 114 |
| 8.3. Filtro de admisión atmosférico..... | 115 |
| 8.4. Secado del aire comprimido..... | 116 |
| 8.4.1. Secado por absorción..... | 117 |
| 8.4.2. Secado por adsorción..... | 118 |
| 8.4.3. Secado en frío..... | 119 |
| 8.5. Tratamiento final del aire del aire comprimido..... | 121 |
| 8.5.1. Filtro..... | 121 |
| 8.5.1.1. Principales partículas contaminantes del aire comprimido..... | 123 |
| 8.5.1.2. Filtro Coalescente..... | 123 |
| 8.5.2. Regulador de presión..... | 124 |
| 8.5.3. Lubricador..... | 125 |
| 8.6. Equipos y accesorios para el tratamiento del aire..... | 126 |
| 8.6.1. Secado del aire..... | 127 |
| 8.6.1.1. Análisis morfológico..... | 127 |
| 8.6.1.2. Argumentos del análisis morfológico..... | 129 |
| 8.6.1.3. Modelo del sacador por absorción..... | 129 |
| 8.6.2. Modelos de filtro de línea (filtro de partículas)..... | 130 |
| 8.6.2.1. Marca BOGE..... | 131 |
| 8.6.2.2. Marca Ingersoll Rand..... | 131 |
| 8.6.2.3. Marca PARKER..... | 132 |
| 8.6.3. Unidad FRL..... | 132 |

| | |
|---|------------|
| 8.6.3.1. Marca BOGE..... | 133 |
| 8.6.3.1.1. Versión compacta..... | 133 |
| 8.6.3.1.2. Versión propuesta..... | 134 |
| 8.6.3.2. Marca Ingersoll Rand..... | 135 |
| 8.6.3.3. Marca PARKER..... | 135 |
| 9. DISEÑO DE LA UNIDAD DE TRATAMIENTO DE AIRE COMPRIMIDO..... | 136 |
| 9.1. Elementos de seguridad y monitoreo..... | 137 |
| 9.1.1. Válvulas de seguridad e interrupción..... | 137 |
| 9.1.2. Manómetros..... | 139 |
| 9.1.3. Presostatos..... | 140 |
| 9.2. Diseño de la red de distribución de la red de aire comprimido..... | 141 |
| 9.3. Diseño del sistema neumático..... | 142 |
| 9.3.1. Componentes del sistema neumático..... | 144 |
| 10. CONCLUSIONES..... | 145 |
| 11. REFERENCIAS..... | 147 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 2.1. Máquina convencional de extrusión con husillo..... | 22 |
| Figura 2.2. Diagrama de un cabezal..... | 23 |
| Figura 2.3. Vista frontal de un cabezal típico de extrusión empleado para elaboración de párison..... | 23 |
| Figura 2.4. Programación del precursor..... | 24 |
| Figura 2.5. Distribución de espesores conseguida en una botella con precursor no programado y en una con precursor programado..... | 25 |
| Figura 2.6. Acumulador..... | 26 |
| Figura 2.7. Representación esquemática del moldeo por extrusión-soplado..... | 26 |
| Figura 2.8. Molde de soplado y producción del cuello de las botellas mediante compresión del material por el pin de soplado..... | 29 |
| Figura 2.9. Proceso de moldeo por extrusión-soplado..... | 31 |
| Figura 2.10. Máquina de extrusión-soplado tipo rotatorio..... | 32 |
| Figura 2.11. Técnica de inyección-soplado..... | 33 |
| | |
| Figura 4.1. Molde con sistema de soplado por aguja..... | 37 |
| Figura 4.2. Mandril superior calibrado..... | 38 |
| | |
| Figura 5.1. Base del soplador..... | 42 |
| Figura 5.2. Cuerpo del soplador..... | 43 |
| Figura 5.3. Varilla de soplado..... | 44 |
| Figura 5.4. Punta de soplado..... | 45 |
| Figura 5.5. Ensamblaje del soplador..... | 46 |
| Figura 5.6. Centrador del soplador..... | 46 |

| | |
|--|-----|
| Figura 5.7. Esquema general del ensamblaje del soplador y la placa soporte..... | 47 |
| Figura 5.8. Análisis de moldeo por soplado..... | 49 |
| Figura 6.1. Compresor de lóbulos..... | 54 |
| Figura 6.2. Compresor de tornillo..... | 55 |
| Figura 6.3. Compresor de paletas..... | 56 |
| Figura 6.4. Compresor tipo émbolo..... | 57 |
| Figura 6.5. Compresor de membrana..... | 58 |
| Figura 6.6. Compresor centrífugo..... | 59 |
| Figura 6.7. Compresor Axial..... | 60 |
| Figura 6.8. Compresor alternativo de simple efecto..... | 61 |
| Figura 6.9. Compresor alternativo de doble efecto..... | 61 |
| Figura 6.10. Compresión en una etapa y símbolo neumático..... | 62 |
| Figura 6.11. Compresor bi cilíndrico y símbolo neumático..... | 63 |
| Figura 7.1. Roscas paralelas y cónicas..... | 107 |
| Figura 7.2. Paso de la rosca..... | 108 |
| Figura 7.3. Diámetro externo..... | 108 |
| Figura 7.4. TPI (Hilos por pulgada)..... | 109 |
| Figura 7.5. Ángulo de flanco y ángulo de conicidad..... | 109 |
| Figura 7.6. Combinaciones BSP..... | 112 |
| Figura 8.1. Filtro de admisión..... | 116 |
| Figura 8.2. Secador de absorción..... | 118 |
| Figura 8.3. Secador por Adsorción..... | 119 |
| Figura 8.4. Secado en frío..... | 120 |
| Figura 8.5. Unidad de mantenimiento..... | 121 |
| Figura 8.6. Filtro..... | 122 |

| | |
|--|-----|
| Figura 8.7. Regulador de presión..... | 124 |
| Figura 8.8. Lubricador..... | 125 |
| Figura 9.1. Instalación típica de aire comprimido..... | 136 |
| Figura 9.2. Válvulas de seguridad e interrupción..... | 138 |
| Figura 9.3. Válvulas de seguridad e interrupción..... | 139 |
| Figura 9.4. Manómetro de Bourdon..... | 139 |
| Figura 9.5. Presostato típico..... | 140 |
| Figura 9.6. Diseño de la red de distribución del aire comprimido..... | 142 |
| Figura 9.7. Esquema del sistema neumático de soplado..... | 143 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|-----|
| Tabla 2.1. Dimensiones del perno de soplado en función del tamaño de la pieza..... | 28 |
| Tabla 4.1. Análisis morfológico de la técnica de Extrusión-Soplado..... | 39 |
| Tabla 6.1 Factor de simultaneidad..... | 65 |
| Tabla 6.2. Valores de la densidad de aire a diferentes alturas..... | 67 |
| Tabla 6.3. Consumos de aire comprimido de boquilla cilíndrica simple..... | 70 |
| Tabla 6.4. Consumos de aire comprimido sin correcciones..... | 71 |
| Tabla 6.5. Tiempos en la etapa de soplado..... | 72 |
| Tabla 6.6. Consumo de aire comprimido requerido corregido..... | 74 |
| Tabla 6.7. Consumo de aire comprimido corregido con equipo adicional..... | 77 |
| Tabla 6.8. Análisis morfológico para compresores Alternativos y Rotativos..... | 81 |
| Tabla 7.1 Recomendaciones admisibles de caídas de presión..... | 89 |
| Tabla 7.2. Presiones nominales de los materiales para tubos..... | 91 |
| Tabla 7.3. Análisis morfológico para materiales de tubería neumática..... | 96 |
| Tabla 7.4. Tabla de referencia NPS para SCH 40 con longitud de pared STD..... | 104 |
| Tabla 7.5. Asignación NPS para los diámetros calculados sin corregir..... | 104 |
| Tabla 8.1. Tipos de clases de calidad de aire conforme a ISO 8573-1:2001..... | 115 |
| Tabla 8.2. Descripción de equipos usados en el tratamiento de aire..... | 126 |
| Tabla 8.3. Análisis morfológico para método de secado..... | 128 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 9.1. Componentes a utilizar en la red de aire comprimido..... | 141 |
| Tabla 9.2. Componentes a utilizar en el sistema neumático..... | 143 |
| Tabla 9.3. Lista de componentes del sistema neumático..... | 144 |

INTRODUCCIÓN

La Industria de los plásticos y específicamente la orientada a la elaboración de recipientes para el embalaje de productos de cualquier tipo, se ha convertido en una de las más fuertes del mercado mundial. Los envases plásticos protegen los alimentos de una gran variedad de agentes externos, con la ventaja de la economía en su fabricación. Además facilita la clasificación, transporte, almacenaje, distribución del producto, ya sea en las grandes cadenas de almacenes o en pequeñas tiendas, y reciclaje.

El moldeo por soplado es el proceso más antiguo y todavía el más importante para la fabricación de dichos cuerpos huecos. La manufactura de los envases crece día a día gracias al proceso de modernización que ha sufrido la industria en general. Por lo anterior, se identifican distintas técnicas de moldeo por soplado como son la *extrusión-soplado*, *inyección-soplado*, *coextrusión-soplado* y *el moldeo por soplado 3D*, como la más reciente. La automatización de este proceso ha facilitado el incremento del uso del envase plástico en muchos campos de la economía.

La diversidad de maquinaria para este proceso, disponible en el mercado, es grande, donde el principio de funcionamiento es el mismo. Las diferencias radican, como por ejemplo; el grado de automatización, la capacidad de producción por ciclo, la técnica de moldeo por soplado usada, entre otras. Por lo tanto, los precios de dichos equipos pueden variar notablemente, alcanzando elevados costos, además del mantenimiento y refacciones.

Un gran reto para las industrias nacionales del plástico es poder reproducir estos equipos con buenos estándares de calidad y eficiencia, acordes a las necesidades de nuestro mercado nacional, con el fin de ofrecer dichos equipos, si no a bajo

costo, si a precios razonables para nuestros empresarios dedicados al procesamiento de los plásticos.

Viendo la posibilidad de recibir buenos ingresos económicos y generar empleo, algunas empresas caucanas han incursionado en el campo de la transformación de los termoplásticos, especialmente en la fabricación de envases plásticos. Las necesidades del mercado local y la competitividad son factores a tener en cuenta a la hora de escoger los equipos requeridos para entrar a competir en este campo tan disputado. Una de estas empresas caucanas es SISTAMCOL que tiene como eje de producción la fabricación y comercialización de líquidos para el aseo en el hogar, específicamente líquidos para pisos. La presentación del producto se hace en envases de polietileno de baja densidad (LDPE) fabricados por otras empresas especializadas en el tratamiento de los plásticos. Debido a la adquisición de los embalajes que debe hacer la empresa, el costo del producto de aseo final ofrecido al consumidor se incrementa. Esto se debe a que el precio del envase es alto no por su fabricación, sino por su transporte, teniendo en cuenta que se cobra por volumen más no por peso.

La empresa SISTAMCOL reconoció la necesidad de fabricar los envases para sus productos bajo la exigencia de enfrentar, con calidad y precios, un mercado muy competitivo. Por tal motivo, la empresa explora la posibilidad de actualizar una máquina extrusora-sopladora para la fabricación de sus envases plásticos, basándose en diseños mecánicos adquiridos y los estudios realizados que buscan la optimización de la máquina. Las etapas relevantes que se tuvieron en cuenta en los estudios, para la futura actualización, son la obtención del precursor (párison) mediante la extrusión del polímero y la elaboración de la pieza mediante el soplado de dicho precursor. Esta técnica de moldeo por soplado es conocida como extrusión-soplado.

Este trabajo se concentró en realizar el estudio sobre el proceso de moldeo por soplado en su etapa de filtrado y regulación de presión del aire de soplado. Variables físicas como la temperatura del cilindro y del molde, la presión del aire de soplado dentro del molde y la velocidad de giro del tornillo, como otras tantas, son claves en el proceso de elaboración del producto, siendo determinantes en su calidad. Debido al enfoque de este trabajo, es primordial controlar tanto la presión del aire que entra al molde, para que el material tome la forma adecuada, como su calidad mediante un buen filtrado. El análisis de las variables mencionadas, de la etapa a controlar y de los componentes requeridos para tal fin son determinantes para el estudio, ya que permitieron realizar una comparación de costos y beneficios. Con base en esta información, la empresa SISTAMCOL podrá tomar una decisión referente a la construcción de la máquina y poder solventar su necesidad.

Cabe mencionar la valiosa colaboración que se recibió por parte del SENA ASTIN ubicado en la ciudad de Cali, desde el punto de vista técnico para alcanzar el objetivo de este trabajo, que fue presentar a la empresa SISTAMCOL un estudio técnico-económico del proceso moldeo por soplado en su etapa de soplado y así determinar la viabilidad de la actualización de la maquina extrusora-sopladora.

2. MOLDEO POR SOPLADO

El moldeo por soplado es un proceso aplicado exclusivamente a materiales termoplásticos gracias a su comportamiento plástico y dúctil. Al emplear materiales con pesos moleculares elevados se logra que el cuerpo hueco tenga propiedades como alta resistencia al impacto, alta permeabilidad, resistencia UV y resistencia a la oxidación. Entre los termoplásticos más usados están el Polietileno (PE), Polietileno de baja y alta densidad (PEBD y PEAD, respectivamente), Polipropileno (PP), Poliestireno (PS), Policloruro de Vinilo (PVC), Poliamida (PA) y Tereftalato de Polietileno (PET). Mediante este proceso se obtiene variedad de embalajes que son utilizados para contener productos alimenticios, aceites, combustibles entre otros.

El proceso consiste básicamente en hacer expandir un precursor que se encuentra en el interior de un molde por medio de aire insuflado; el molde le da la forma al cuerpo hueco para luego ser expulsado de la máquina. Cabe anotar que este proceso se divide en las técnicas *extrusión-soplado* e *inyección-soplado*. Los termoplásticos más utilizados en la primera técnica son PEBD, PEAD, PVC, PS, PP y PA. En la técnica inyección-soplado, aunque son usados los termoplásticos anteriormente mencionados, se tiene preferencia por el PET.

Las técnicas de soplado se diferencian según la forma en que se obtiene el precursor (por extrusión o por inyección) y en como se usa el precursor, ya sea caliente o frío. A pesar de lo anterior, las etapas básicas del proceso son las mismas:

- ❖ Fundir el material
- ❖ Obtener el precursor
- ❖ Introducir el precursor hueco en el molde de soplado

- ❖ Insuflar aire dentro del precursor que se encuentra en el molde
- ❖ Enfriar la pieza moldeada
- ❖ Retirar la pieza del molde

Otras diferencias entre las técnicas de soplado son: con la primera técnica se pueden obtener velocidades de producción muy elevadas y los costes de producción son bajos, sin embargo se producen muchos recortes y el control del espesor de pared y de la distribución de espesores es muy limitado. Con la segunda técnica el control de espesor de las piezas es muy bueno y no se producen recortes, sin embargo solo se puede emplear para piezas relativamente pequeñas y el coste de producción es mucho mayor. En la última se obtienen piezas biorientadas y el precursor se fabrica por medio de alguna de las técnicas anteriores; se obtienen piezas con buen índice de transparencia, buenas propiedades mecánicas y de barrera (impermeable a gases), si bien el proceso es más caro que los anteriores. En nuestro trabajo nos concentraremos en la técnica de extrusión soplado ya que es la que utiliza la máquina para la cual está dirigido este estudio.

2.1 Extrusión-soplado

Los equipos de extrusión-soplado constan de una extrusora, una unidad de soplado y un molde de soplado. La extrusora cuenta con un sistema plastificador (cilindro-tornillo) con características que permitan obtener un fundido uniforme a la velocidad adecuada. Se requiere también de un cabezal al final de ésta, que proporcione un precursor (o *párison*) de forma tubular, con la sección transversal deseada.

2.1.1 Etapa de alimentación

El proceso inicia en esta etapa y consiste en introducir a través de una *tolva* o *alimentador* el material termoplástico en forma de pellets (pequeñas porciones de material aglomerado), depositándose en un extremo del cilindro de la máquina. La tolva se localiza a la entrada del proceso donde se ingresa el polímero, y permite la alimentación de la cámara de extrusión.

2.1.2 Etapa de extrusión

En esta etapa el termoplástico en forma de pellets sufre una transformación física, convirtiendo el material granulado en una pasta viscosa y homogénea, debido al calentamiento al cual es sometido. Esto se logra gracias a dos eventos; el primero, y tal vez el más importante, desde el interior por efecto de la fricción entre las partículas desplazadas, y el segundo desde el exterior por efecto de las resistencias calefactoras dispuestas en el exterior y a lo largo del cilindro. Un tornillo giratorio, alojado dentro del cilindro arrastra el material a través de él, sometiéndolo a un gradiente de temperatura adecuado para la plastificación. A medida que avanza el material sufre compactación debido al aumento progresivo del diámetro del tornillo (husillo). La pasta homogénea, tanto térmica como físicamente, es forzada a salir a través del *cabezal* que se encuentra unido a la extrusora, el cual desvía la masa hasta la dirección vertical para después hacerla pasar por una estrecha abertura con forma de corona circular llamada *boquilla* o *matriz*. Ésta le da al precursor la sección transversal deseada. Ver figura 2.1.

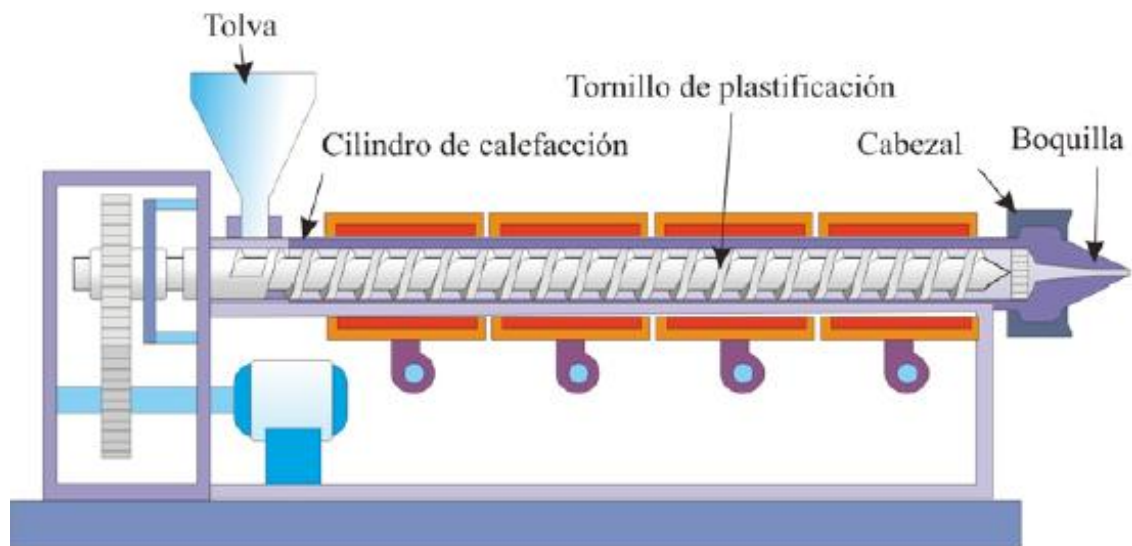


Figura 2.1. Máquina convencional de extrusión con husillo

2.1.2.1 Cabezal

Dentro de esta parte de la máquina que se encarga de hacer circular el material, encontramos varios componentes. El plato rompedor es el primer elemento del cabezal que tiene como función romper con el patrón de flujo en espiral que el tornillo imparte a uno longitudinal. El filtro que tiene la función de eliminar del material extruido partículas y/o grumos provenientes de impurezas, carbonización, pigmentos y/o aditivos, etc. El filtro consiste en una malla de acero inoxidable ya que las compuestas con cobre o bronce tienen un efecto catalítico sobre las reacciones termo-oxidativas. El torpedo cumple el objetivo de darle la forma de manga “hueca” al precursor. La boquilla le da al precursor el diámetro requerido. Hay dos tipos de boquillas *convergentes* o *divergentes* (figura 2.2) y la geometría de este depende del volumen y del tamaño de la boca del envase a producir. La manga plastificada o precursor, llamada en esta técnica *párisson*, sale del cabezal a través de la boquilla, lista para ser soplada.

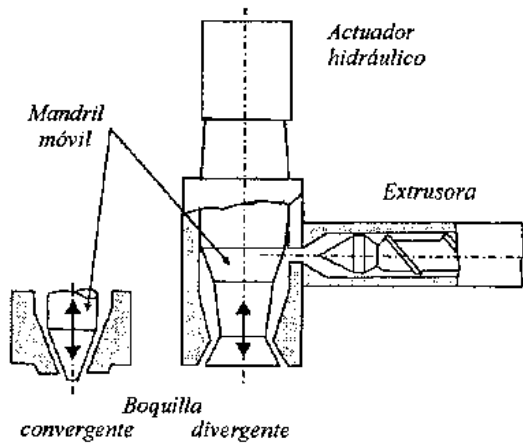


Figura 2.2. Diagrama de un cabezal

2.1.2.2 Programación del precursor [1]

En la figura 2.3 se puede observar la vista frontal de una boquilla fija de una máquina de extrusión-soplado para párison de espesor de pared no variable, útil para cuerpos huecos de perfil uniforme.

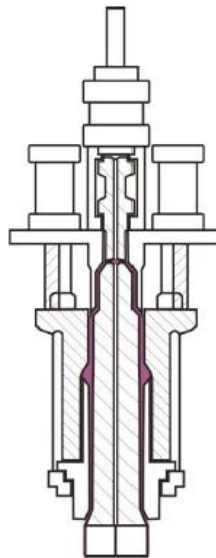


Figura 2.3. Vista frontal de un cabezal típico de extrusión empleado para elaboración de párison

Sin embargo, en muchos casos los cuerpos huecos no poseen perfil uniforme, por lo tanto se hace necesario regular el espesor de pared del párison extruido. Este espesor dependerá del tamaño de la boquilla y del mandril de la máquina de extrusión, por lo que el diseño de estas partes debe ser muy preciso. Cabe anotar que el mandril se mueve respecto a la boquilla mientras esta permanece fija (figuras 2.4.); se encarga de modificar el diámetro interno del precursor, y por tanto su espesor, lo que se conoce como *programación del precursor*.

Dicha programación tiene como finalidad obtener una distribución de espesor constante en la pared de los productos una vez moldeados, al contener más material en las partes de la pieza que se estirarán más durante el soplado (figura 2.5.).

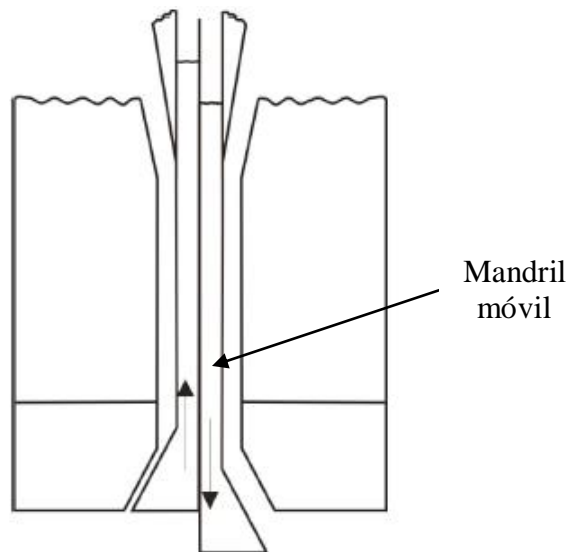


Figura 2.4. Programación del precursor

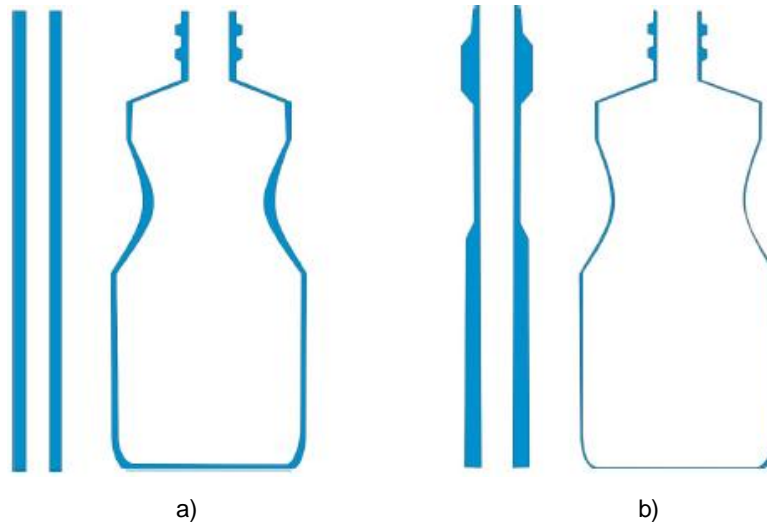


Figura 2.5. Distribución de espesores conseguida en una botella: a) con precursor no programado y b) con precursor programado

Existen otras posibilidades para modificar el espesor del precursor como variar la velocidad de extrusión y variar la presión en la extrusora.

2.1.2.3 Propiedades del párison

El párison debe tener una viscosidad alta y desarrollar una resistencia elevada a la deformación por efecto de la gravedad, mientras se encuentra colgando de la boquilla próximo a ser soplado.

Si no se reduce esta deformación que sufre el material cuando sale de la boquilla, provocarían un espesor muy grande en la parte inferior del precursor y deficiente en la parte superior, provocando piezas de calidad deficiente. Otra característica importante del párison es su extensibilidad que delimita su máxima relación de soplado que puede alcanzarse, y si las esquinas y ángulos podrían moldearse de manera adecuada.

2.1.2.4 Acumulador

También se puede realizar la extrusión de forma discontinua para determinadas formas de trabajo como embalajes de gran volumen, y para ello se utiliza un equipo auxiliar denominado *acumulador* que dosifica la carga de polímero en una cámara (ver figura 2.6).

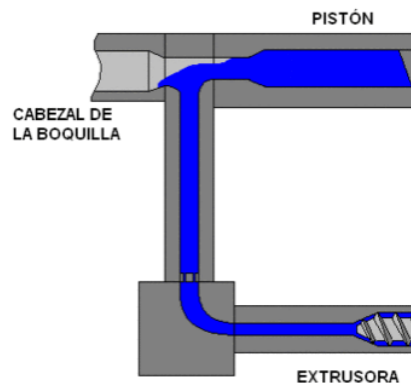


Figura 2.6. Acumulador

2.1.3 Etapa de soplado [1]

Es la etapa encargada de finalizar la técnica de extrusión-soplado produciendo el cuerpo hueco deseado por expansión del parison. El molde al encontrarse refrigerado produce un choque térmico con el parison cuando hacen contacto, debido a la diferencia de temperaturas entre ellos. Ver figura 2.7

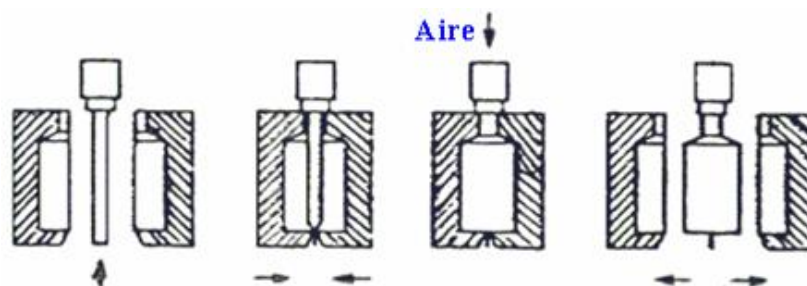


Figura 2.7. Representación esquemática del moldeo por extrusión-soplado

2.1.3.1 Presión de soplado

Normalmente, la presión del aire de soplado que se emplea para insuflar el párison está comprendida entre 5 y 10 bares [2]. En ocasiones si se utiliza una presión de aire demasiado grande puede ocurrir que el precursor se agujeree, mientras que si la presión es demasiado baja el precursor no reproduce con exactitud la forma del molde. En general se puede decir que interesa una presión de aire de soplado moderadamente alta para que se pueda conseguir un tiempo de soplado mínimo (resultando en velocidades de producción más elevadas) y piezas terminadas que reproduzcan fielmente la superficie del molde. Sin embargo, se debe tener cuidado con provocar tensiones y enfriamiento en la zona del plástico sobre la que actúa el aire.

2.1.3.2 Cualidades del aire

Existen cualidades primordiales a tener en cuenta respecto a la calidad del aire durante la etapa de soplado. Una de ellas es la humedad del aire de soplado ya que ésta puede provocar marcas sobre la superficie interior del producto. Esta apariencia defectuosa es particularmente desagradable en artículos de paredes delgadas. Para prevenir este problema se suele emplear aire seco. Otra es la “pureza”, haciendo referencia a la menor cantidad de partículas externas al aire, como el polvo.

2.1.3.3 Pin de soplado

Es el encargado de entrar al conjunto molde-párison e insuflar el aire a presión, obligando a que el párison se ensanche hasta que su superficie exterior haga contacto con la interior de la cavidad del molde, captando los pormenores de esta.

El pin de soplado debe tener una longitud adecuada. Si es demasiado largo puede ocurrir que el aire se “enfoque” contra una zona caliente del plástico determinada, provocando defectos en esta zona.

Es indispensable controlar la entrada del aire, lo que se hace mediante un tamaño adecuado del orificio de entrada del aire. Si el canal de entrada es demasiado pequeño, el tiempo de soplado requerido será excesivamente largo, o la presión ejercida sobre el precursor no será adecuada para reproducir los detalles del molde. Para evitar esto, se han establecido unas reglas generales en la determinación del tamaño óptimo del orificio de entrada de aire, en función del tamaño de la pieza, como se muestra en la tabla 2.1. [1]

Tabla 2.1. Dimensiones del perno de soplado en función del tamaño de la pieza

| Diámetro del orificio (mm) | Capacidad de la pieza (L) |
|---------------------------------------|--------------------------------------|
| 1.6 | 1 |
| 4 | 1 – 4 |
| 13 | 4 - 200 |

Para producir cuellos de botella moldeadas por soplado de elevada calidad, se han desarrollado pines que comprimen el material en esta zona del molde. En estos procesos, el pin de soplado se introduce dentro del precursor caliente, comprimiendo en exceso el plástico dentro del cuello, llenando el interior de los canales del molde y formando una superficie lisa en su interior, tal como lo muestra la figura 2.8.

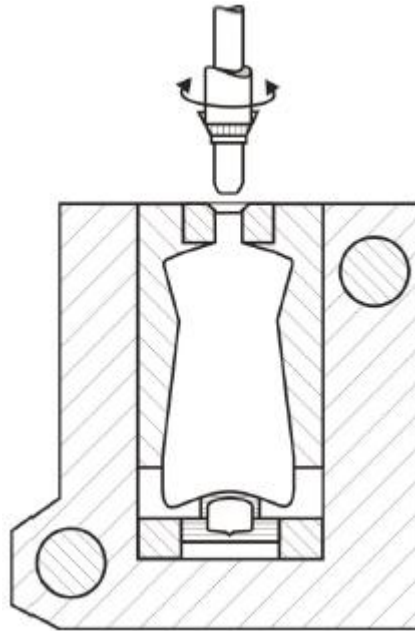


Figura 2.8. Molde de soplado y producción del cuello de las botellas mediante compresión del material por el pin de soplado

2.1.3.4 Molde de soplado

El molde es la pieza encargada de darle la forma al producto terminado y se encuentra dividido en dos piezas. Al cerrar el molde, uno de los extremos del parison queda cerrado herméticamente debido al pinzamiento que ejercen las partes del molde y en el otro extremo se introduce el pin de soplado.

2.1.3.4.1 Temperatura del molde de soplado

Las paredes del molde se encuentran refrigeradas por agua a una temperatura constante, por lo general de 4 a 8°C, a través de conductos en su interior. Se debe propender por un diseño óptimo de dichos conductos para lograr una refrigeración

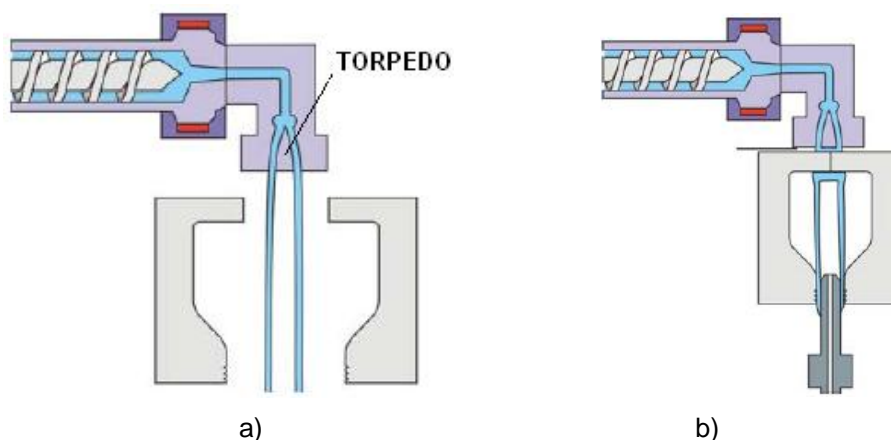
adecuada y uniforme del molde. La pieza se enfría en el molde de donde es extraída una vez que ha adquirido la consistencia apropiada.

2.1.3.4.2 Materiales para la construcción de moldes de soplado

Puesto que los moldes en soplado no tienen que soportar elevadas presiones la cantidad de materiales disponibles para su construcción es grande. Para piezas pequeñas se emplean moldes de aluminio, acero, aleaciones de cobre-berilio. Los moldes de aluminio presentan muy buena conductividad térmica, son fáciles de fabricar pero su durabilidad no es muy elevada. En comparación los moldes de acero son más duraderos y rígidos, y los de Cu/Be son los que presentan menor conductividad térmica. Los moldes de aluminio son los más empleados pues son los que presentan mejor equilibrio entre la conductividad térmica, duración y costo.

2.1.4 Representación de la técnica Extrusión-Soplado

La siguiente sucesión de imágenes (figura 2.9.) representan la etapa de soplado. Se observa como el *torpedo*, parte importante del cabezal de extrusión, le da la forma tubular “hueca” al precursor extruido o párison.



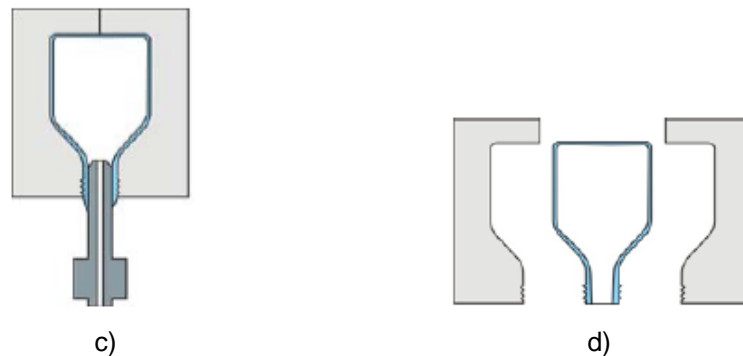


Figura 2.9. Proceso de moldeo por extrusión-soplado: a) Introducción del parison en el molde de soplado. b) Introducción de aire mediante pin de soplado. c) Enfriamiento de la pieza en el interior del molde. d) Extracción del cuerpo hueco obtenido

2.1.5 Variantes adicionales en la técnica Extrusión-Soplado

Se puede realizar algunas variantes a la técnica mencionada, pero el principio sigue siendo el mismo. Las variantes buscan mejorar la eficiencia del proceso, obteniendo por ciclo más producto o mejorar los tiempos de producción.

2.1.5.1 Máquinas tipo rotatorio

Los moldes van montados sobre una rueda que gira (figura 2.10.). Los moldes se cierran alrededor del parison, que se extruye de forma continua, y conforme la rueda gira desplaza los moldes hacia la zona de soplado y enfriamiento. Este equipo de rotatorio puede constar hasta de 20 moldes proporcionando un elevado rendimiento; los elevados costos del material y la complejidad del sistema limitan este tipo de máquina.

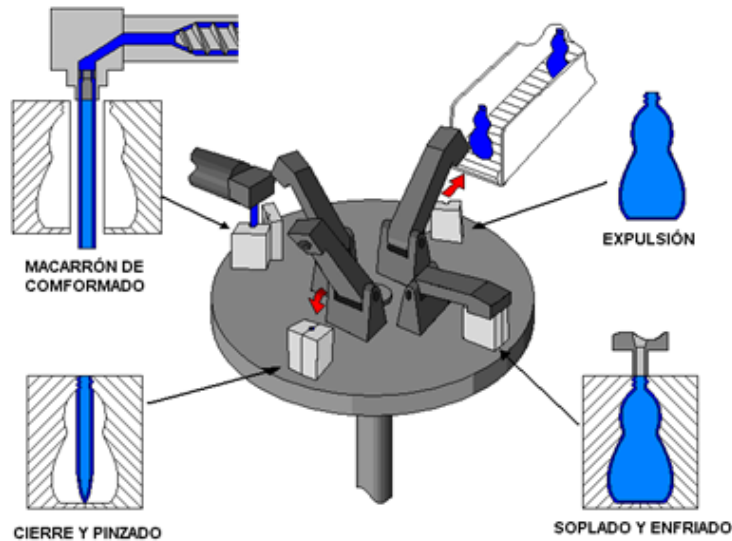


Figura 2.10. Máquina de extrusión-soplado tipo rotatorio

2.1.5.2 Máquinas de extrusión intermitente

Estas máquinas almacenan el material fundido generado por la extrusora mientras la pieza moldeada está siendo soplada y enfriada. Cuando el molde está abierto, el fundido acumulado es forzado a través de la boquilla para fabricar el parison. La ventaja de la extrusión intermitente es que el fundido almacenado puede usarse para producir grandes precursores rápidamente. Esto es importante al emplear materiales en los que el fundido carece de resistencia y para fabricar artículos muy grandes tales como bidones de más de 200 L de capacidad, tanques de combustible o envases industriales.

2.2 Inyección-Soplado

Tiene el mismo principio de funcionamiento que la técnica anteriormente descrita, con la diferencia que el polímero fundido no se pasa directamente a la unidad de

soplado. El precursor extruido es forzado a entrar a un molde de inyección para producir una preforma similar a un tubo de ensayo. Posteriormente la preforma se calienta y se introduce en el molde que alberga la geometría deseada; en ocasiones se hace un estiramiento de la preforma inyectada, y después se insufla con aire, consiguiendo la expansión del material y la forma final del cuerpo hueco. Los equipos de inyección-soplado constan de una unidad de inyección, una unidad de soplado y un molde de soplado (figura 2.11.).

La ventaja de usar la técnica mencionada radica en que después de inyectar el precursor y obtener la preforma, esta se puede almacenar indefinidamente para luego ser “recalentada” y soplada.

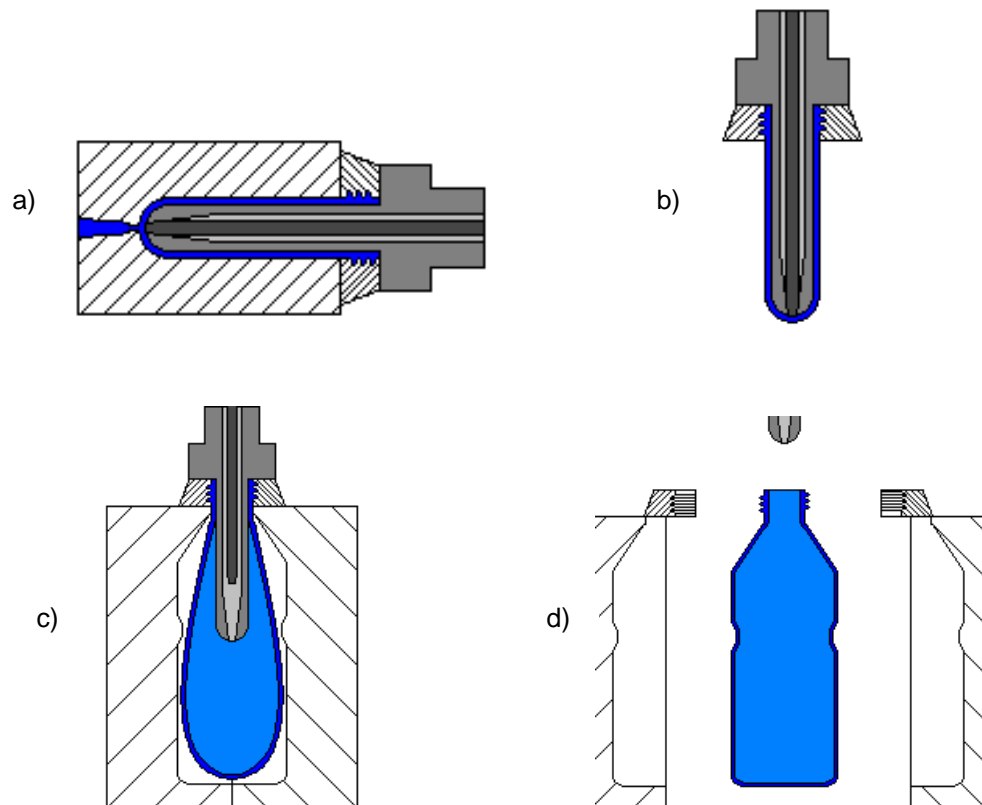


Figura 2.11. Técnica de inyección-soplado: a) Inyección del material dentro del molde para producir el perfil de la preforma. b) Preforma obtenida. c) Preforma insuflada. d) Cuerpo hueco.

3. REQUERIMIENTOS

3.1 Requerimientos de la empresa SISTAMCOL LTDA.

Se presentan a continuación los requerimientos mínimos que la empresa SISTAMCOL necesita en la máquina a construir, las cuales deben ser tenidas en cuenta en el estudio:

- ❖ La máquina a ensamblar realice el proceso de moldeo por soplado de cuerpos huecos por medio de la técnica Extrusión-Soplado.
- ❖ La materia prima a utilizar para la fabricación de los cuerpos huecos será pellets de polietileno de alta densidad (PEAD ó HDPE, por sus siglas en inglés).
- ❖ El cuerpo hueco (envase) requerido por la empresa inicialmente sea de 1 L de capacidad.
- ❖ Componentes robustos y confiables bajo cualquier tipo de condiciones en el ambiente y así garantizar un ciclo de trabajo continuo.
- ❖ Minimizar costos en los componentes que se requiera, sin perjudicar el óptimo desempeño de la máquina. Al hacer esto, también se debe tener en cuenta que no se vea reducida la eficiencia de esta misma, ni que a largo plazo resulte más costoso su mantenimiento consecuencia de los desgastes y la mala elección de los componentes.

4. IDENTIFICACIÓN DE COMPONENTES Y SELECCIÓN EN LA UNIDAD DE SOPLADO

El mercado ofrece una amplia gamma de componentes y métodos para efectuar la función de soplado. Esta diversidad hace necesario establecer una(s) regla(s) de identificación y selección de aquellos componentes apropiados para el cumplimiento de los requerimientos previamente establecidos.

Para realizar una adecuada selección de los componentes y métodos idóneos en la etapa de soplado del aire, utilizamos una técnica para toma de decisiones llamada “análisis morfológico”.

4.1 Análisis Morfológico

Método analítico-combinatorio cuyo objetivo es resolver problemas mediante el análisis de las partes que lo componen. Se basa en la concepción que cualquier objeto de nuestro pensamiento está compuesto o integrado por un cierto número de elementos y en la consideración que estos tienen identidad propia y pueden ser aislados. [3]

El análisis morfológico trata de explorar de manera sistemática los futuros posibles a partir del estudio de todas las combinaciones resultantes de la descomposición de un sistema.

Nuestro análisis morfológico consistió en elaborar tablas que comparan ventajas y desventajas entre las distintas opciones propuestas respecto a cierta consideración (atributos). En las columnas se ubicaron las opciones de componentes a utilizarse para el sistema que se esté analizando y en los renglones los diferentes atributos que se deben tener en cuenta y que sirven de comparación.

Cada una de las opciones es valorada numéricamente para cada atributo comparado; dicho valor numérico se asigna en función de las cualidades y respuesta técnica.

La máxima calificación la da el número de opciones que están en comparación en cada tabla, es decir, si en una tabla hay tres opciones por escoger, la mayor calificación que se puede dar es de tres. Esto permite evitar errores en el “peso” de cada atributo. Es posible encontrar la misma calificación para dos o más opciones en juego o que algún valor numérico no sea tenido en cuenta. Las opciones de mejor respuesta para cierta consideración obtendrá la máxima calificación.

A continuación se muestra el análisis morfológico realizado a los componentes a identificar en las unidades de interés.

4.2 Métodos de soplado

Existen dos métodos claramente identificados que son el soplado por aguja y el soplado por mandril.

4.2.1. Soplado por aguja

En este caso se usa una aguja hipodérmica de diámetro pequeño, para introducir el aire. Este proceso fue uno de los primeros métodos utilizados, claro está, que solo se puede utilizar en donde el párison se encuentra sujeto por el molde y perfectamente sellado. Lo anterior no permite elaborar perfectamente el cuello de botella.

En la forma más común, el mecanismo de la aguja de soplado se encuentra integrado a la mitad del molde (figura 4.1.). Una vez que el molde se cierra la

aguja atraviesa la pared del párison y le inyecta el aire. Con el plástico todavía caliente la aguja es retirada y el agujero, causado por la aguja se cierra solo.

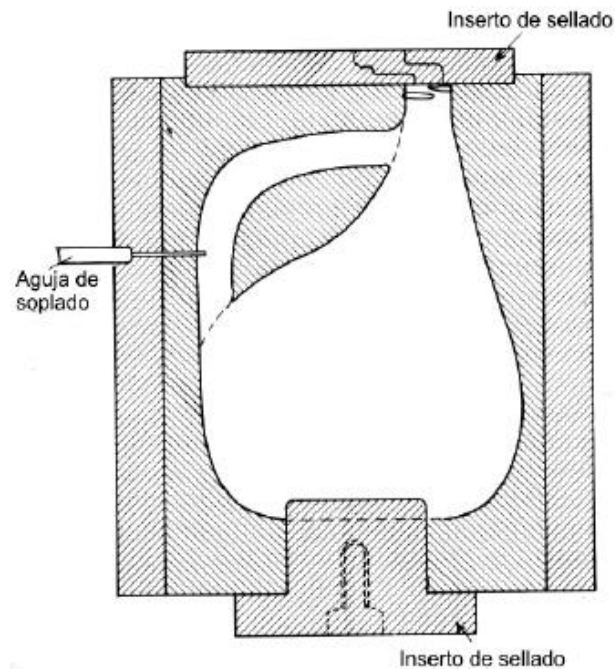


Figura 4.1. Molde con sistema de soplado por aguja (Blow Molding of Plastics)

4.2.2. Soplado por mandril

Como su nombre lo indica, se utiliza un mandril, el cual se inserta en el agujero del párison caliente. Se hace pasar aire a través del mandril para poder inflar la botella. En algunos casos el mandril de soplado puede estar integrado al cabezal de extrusión. Hay tres variantes de este sistema: soplado por la parte inferior, soplado por la parte superior sin calibrar y calibrado.

En el soplado por la parte inferior, el mandril está ubicado en la base del molde, con lo que al momento de formar el cuello de la botella, este se forma por la parte

inferior del molde. Este sistema es utilizado para la producción de contenedores largos, así como también en aplicaciones donde el cuello está separado de la línea central del componente.

En el otro caso, el mandril entra por la parte superior (figura 4.2.) del molde e inyecta el aire a presión. El sistema calibrado es usado cuando se utiliza una tapa que va a sellar con la parte interior del cuello de la botella o también cuando se utiliza un tapón que se introduce en el cuello de la botella y requiere de un ajuste. En el sistema sin calibrar la tapa sella en la parte exterior del cuello de la botella. La diferencia entre estos dos sistemas es que en el calibrado el mandril le da una medida exacta a la parte interior del cuello de la botella y en el sin calibrar, no.

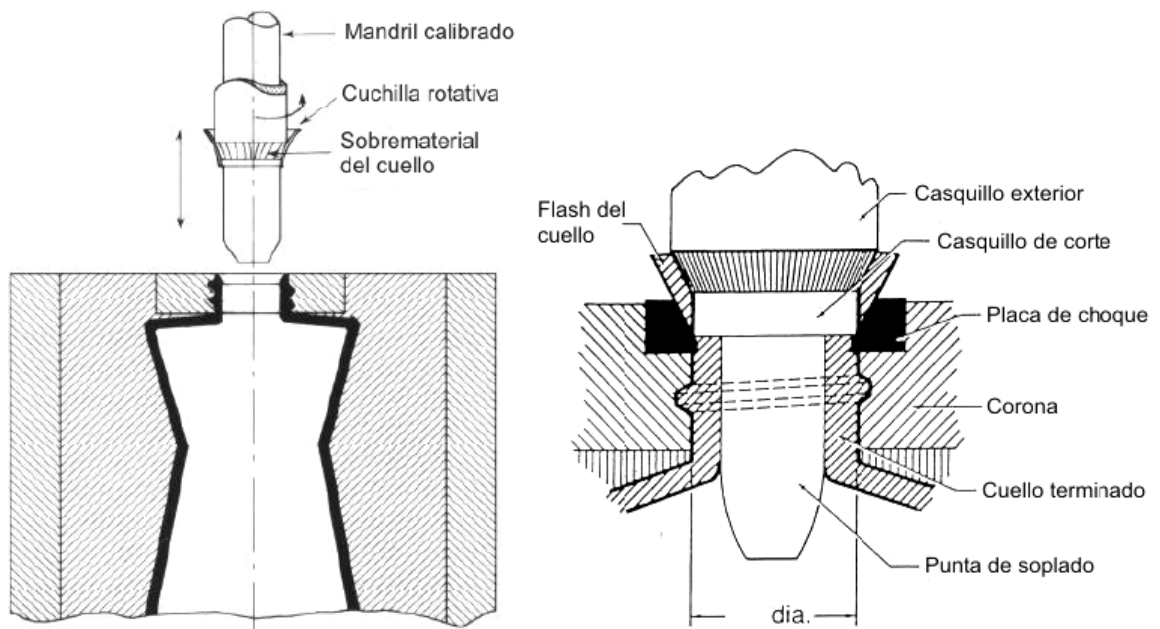


Figura 4.2. Mandril superior calibrado

4.2.3 Análisis Morfológico

En la tabla 4.1 se muestran los resultados del análisis morfológico hecho al método de soplado para la técnica “*Extrusión-Soplado*”.

Tabla 4.1. Análisis morfológico de la técnica de Extrusión-Soplado

| OPCIONES CONSIDERACIONES | SOPLADO POR AGUJA | SOPLADO POR MANDRIL | | |
|--|----------------------|---------------------|-----------|-----------------|
| | | INFERIOR | SUPERIOR | |
| | | | CALIBRADO | SIN CALIBRAR |
| Menor costo en la fabricación del molde de soplado | 2 | 4 | 3 | 4 |
| Mayor volumen del cuerpo hueco producido | 3 | 4 | 4 | 4 |
| Mejor terminación en cuello de botella | 2 | 3 | 4 | 3 |
| Funcionalidad del cuello a la hora de taparlo | 2 | 4 | 3 | 4 |
| Mejor opción de colocación en la máquina | 4 | 3 | 2 | 2 |
| Intercambiabilidad de las puntas | N.A. | 4 | 4 | 4 |
| TOTAL | 13 | 22 | 20 | 21 |

4.2.4 Argumentos para la selección del método de soplado

Teniendo como base el resultado de la tabla se pueden concluir que el método más adecuado a utilizar en la técnica extrusión-soplado es el *soplado por mandril inferior*. Las razones por las cuales se llegó a este resultado fueron:

- Teniendo en cuenta que se desea fabricar un cuerpo hueco de tapa “normal”, el método de soplado por aguja presenta la desventaja que se requiere de un paso o etapa adicional para poder obtener un cuello aceptable. Otra desventaja es que el molde se encarece un poco por la complejidad del diseño y la manufactura.
- El método de soplado por mandril calibrado, remueve el exceso de material en la parte superior, debido al ajuste que se le da al mandril respecto al molde. En el sistema sin calibrar se requiere un proceso extra para quitar el exceso de material, sin embargo la ventaja del calibrado no justifica ese gasto adicional que se debe hacer en el pin de soplado, ya que el exceso de material se puede hacer manualmente.
- Por las características del producto a fabricar y por funcionalidad, se utilizará el sistema de mandril de soplado inferior.

5. DISEÑO DE LA UNIDAD DE SOPLADO

La unidad de soplado consiste en el *soplador*, el sistema de refrigeración de éste y el sistema de posicionamiento. Cabe aclarar que no es prioridad de este trabajo de grado realizar el estudio del sistema de posicionamiento del soplador o pin de soplado, sin embargo, puede de manera alterna realizarse este estudio.

El soplador consta básicamente de 4 partes: la base del soplador, el cuerpo, la varilla de soplado y la punta de soplado. El sistema de refrigeración consiste en un ducto que atraviesa al pin de soplado con el fin de refrigerarlo, ya que este se encuentra permanentemente en contacto con el párison.

5.1. Base del soplador

La base del soplador (figura 5.1.), es de forma robusta en la parte superior, para que pueda soportar la fuerza de empuje que ejerce el aire cuando inicia el proceso de soplado. Su tamaño es bastante grande, lo que permite que el soplador tenga buena rigidez.

El aire comprimido entra la base del soplador, la cual tiene una ranura que sirve para colocar un o-ring. Éste tiene como finalidad evitar la fuga de aire comprimido tras un sellamiento.

Existe otra ranura adicional en la base del soplador que permite colocar un centrador, con el fin de ajustar de manera perfecta con el molde. Esta ranura se conoce como *ranura de centrado*. Para poder ensamblarse con el cuerpo del soplador, lleva una rosca y una ranura lo que permite que el cuerpo del soplador quede concéntrico a la base.

Para que se pueda apretar la base con el cuerpo del soplador, existe otra ranura para meterle una llave y de esa manera se ensamble fácilmente (*Ranura de apriete*).

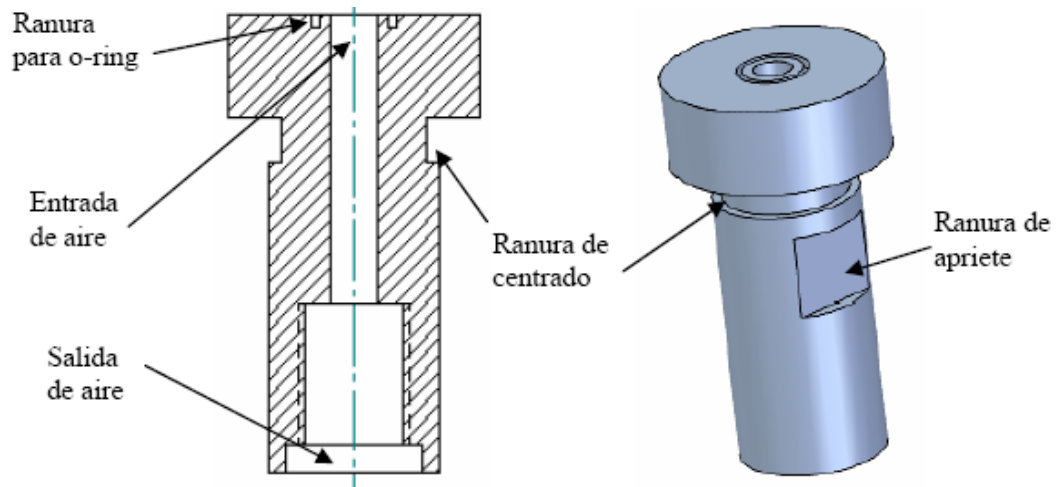


Figura 5.1. Base del soplador

5.2. Cuerpo del soplador

El cuerpo del soplador (figura 5.2.) es donde se lleva a cabo el enfriamiento del sistema, ya que está en constante contacto con el plástico caliente. Al incrementar su temperatura puede sufrir variaciones geométricas lo que conllevaría a problemas con el funcionamiento del soplador. Por el cuerpo del soplador, pasa la varilla de soplado que sirve para que el aire que pasa por ésta se enfríe y así también ayude al enfriamiento del plástico.

La parte superior del cuerpo del soplador lleva un escalón para que entre la varilla de soplado, de esta forma la varilla asienta y crea un sello para evitar que por ahí se fugue el agua de enfriamiento.

De igual manera que la base del soplador, el cuerpo, va roscado en la parte inferior y lleva una ranura para que quede perfectamente concéntrico. En la parte superior va roscado para ensamblarlo con la base. Lleva unos cortes que forman un hexágono para poder apretar el cuerpo de soplador con las otras partes.

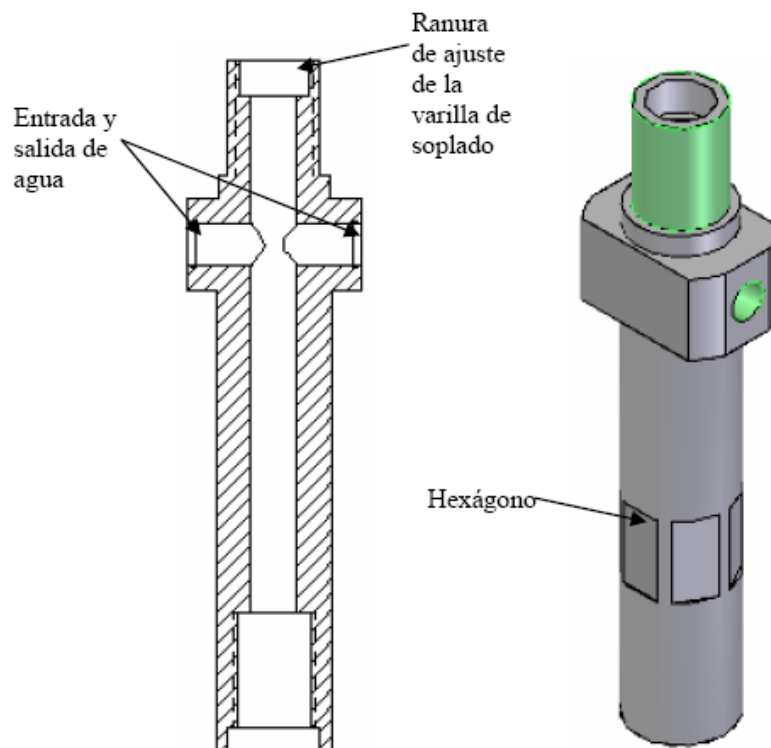


Figura 5.2. Cuerpo del soplador

5.3. Varilla de soplado

La función de la varilla de soplado (figura 5.3.) es transportar el aire a presión, a través del cuerpo y llevarlo hasta la punta de soplado. La varilla lleva o-ring en la parte superior y en la parte inferior, para que el sello sea perfecto y no se llegue a mezclar el agua con el aire de soplado. En la parte superior lleva dos o-rings porque es donde hay mayor presión de agua.

La varilla de soplado es de forma circular pero en dos lados, lleva unos rebajes para que por ahí pueda circular el agua, en la parte inferior lleva una muesca, lo que permite que el agua pueda pasar de un lado al otro. Mediante esta configuración el soplador es simple y se facilita la manufactura.

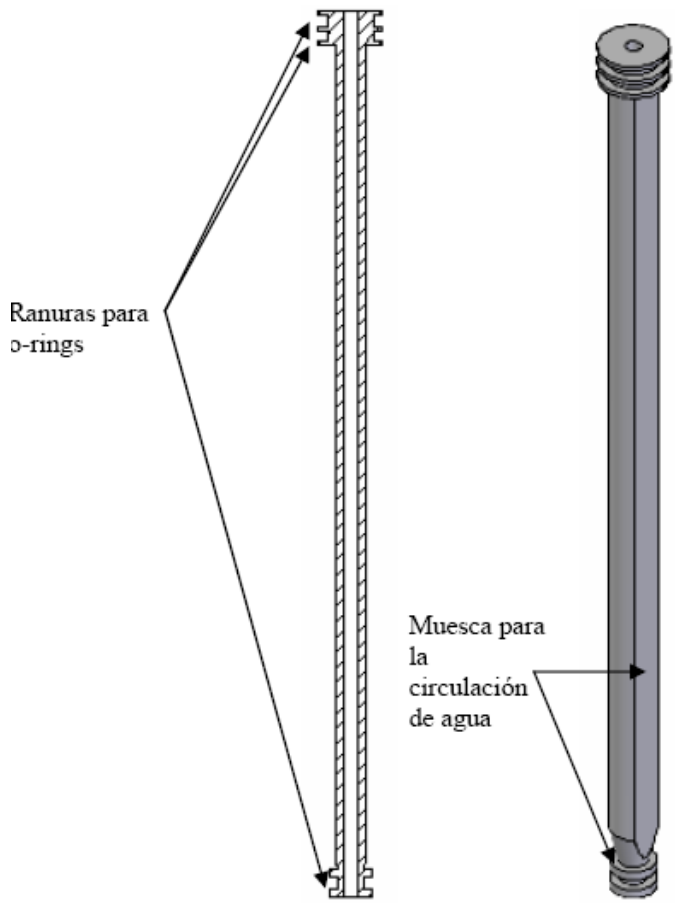


Figura 5.3. Varilla de soplado

5.4. Punta de soplado

La punta de soplado (figura 5.4.) entra al “cuello de la botella” e inyecta el aire a presión al molde; en este caso la punta de soplado no se diseñó para una botella calibrada y su forma es cilíndrica. En la parte inferior de la punta lleva una conicidad para que se pueda introducir fácilmente en el párison.

La punta de soplado es la única parte del sistema de soplado que se puede cambiar en el caso de que se cambie el molde.

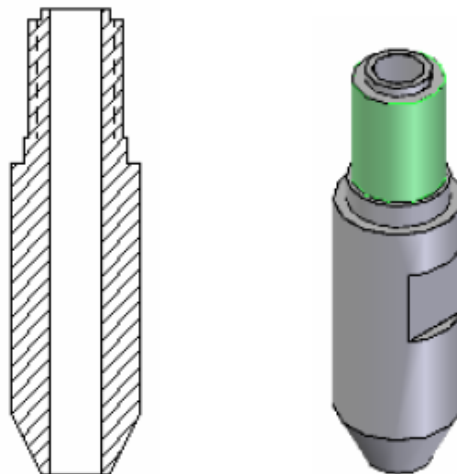


Figura 5.4. Punta de soplado

5.5. Ensamblaje final del pin de soplado (soplador)

En la siguiente figura 5.5 se observa el ensamblaje final del soplador, tal y como debe quedar. Las características de éste son expuestas en la sección 2.1.3.3.

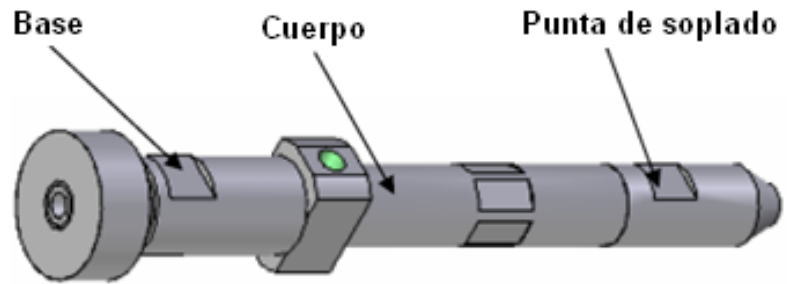


Figura 5.5. Ensamblaje del soplador

El soplador debe de quedar exactamente centrado con el cuerpo de la botella, gracias a un centrador (figura 5.6.), cuya función es de mover el soplador y así lograr la alineación correcta por medio de unas cuñas.

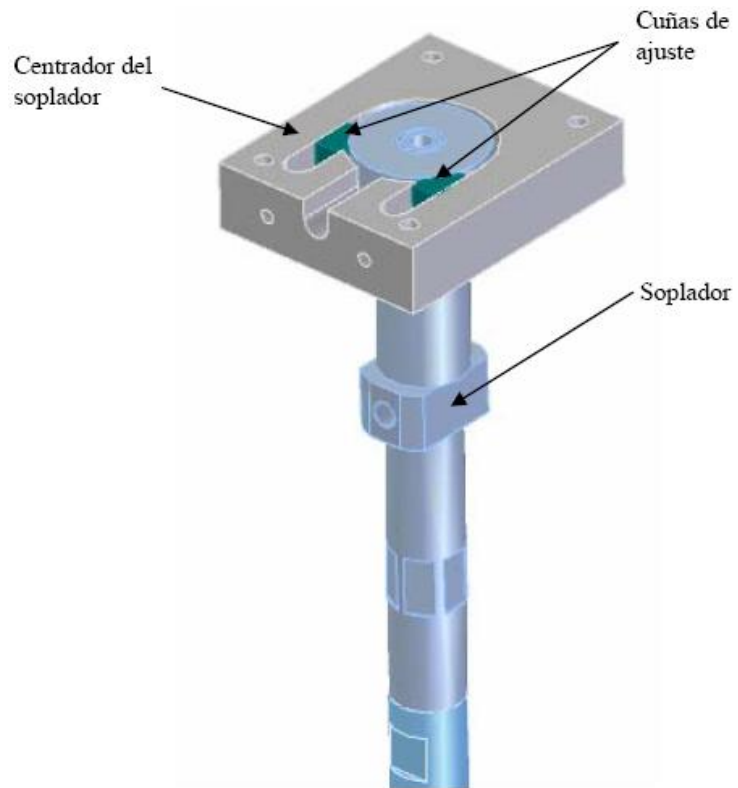


Figura 5.6. Centrador del soplador

El centrador que soportará el pin de soplado, se ensambla por medio de 4 tornillos a una placa de soporte (figura 5.7.). La placa de soporte tiene 3 barrenos en la parte media, dos barrenos sirven para la entrada y salida de agua, el barreno central sirve para la entrada de aire.

Esta placa de soporte se agregó para que la conexión de agua y aire se hiciera de manera sencilla.

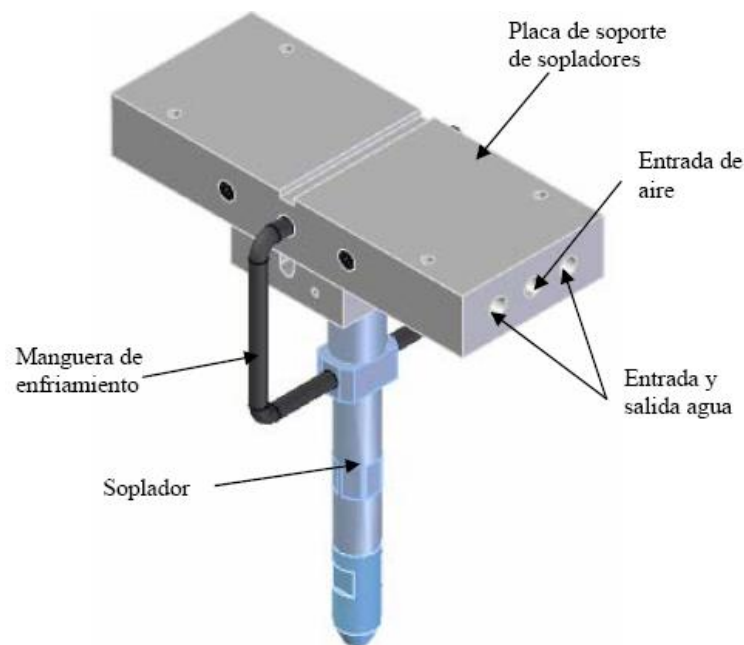


Figura 5.7. Esquema general del ensamblaje del soplador y la placa soporte

5.6. Análisis de moldeo por soplado

Antes de realizar el análisis cabe aclarar que si un material al ser sometido a un esfuerzo, se deforma y no fluye, ese material se denomina sólido. Si por el contrario, fluye, se está en presencia de un fluido. De acuerdo a esto, se podrán

clasificar los materiales, colocando en un extremo de la escala al sólido ideal, y en el otro extremo al fluido ideal. En medio de ellos estarían los fluidos viscoelásticos.

Un criterio para clasificar los materiales es el *número de Déborah*. Éste número caracteriza cuán “fluido” es un material. Está definido como:

$$N_{deb} = \frac{\textit{Tiempo de relajación del material a las condiciones dominantes}}{\textit{Escala de tiempo del proceso}} \quad 5.1$$

Cuando $N_{deb} > 1$ el material se considera sólido, si $N_{deb} \ll 1$ el material se considera fluido y para materiales viscoelásticos, N_{deb} está alrededor de 0.6.

El cuerpo hueco se elabora a partir del párison, expandiéndolo con aire. La uniformidad del espesor de la pared del producto soplado depende de los mismos aspectos estabilizantes. Es así que en el proceso de moldeo por soplado, el comportamiento elástico es importante.

Si el procedimiento es fundamentalmente elástico y, por tanto, se estabiliza por rigidización por tracción, el $N_{deb} > 1$. Esto se puede lograr al usar:

- Una temperatura inferior, la cual aumentaría el tiempo de relajación.
- Al reducir la duración del proceso, es decir, soplando rápidamente.

La primera opción no es factible y por ello se sopla rápidamente. Sin embargo, un soplado muy rápido puede romper el material o puede atrapar burbujas de aire entre la superficie del molde y la pieza moldeada, lo cual provocaría daños en el producto. Como se acostumbra en los procesos de manufactura, es necesario alguna condición favorable para optimizar los resultados, dicha condición por lo común, es la experiencia que se tenga en la planta.

Es sencillo calcular el espesor de la pared de una botella soplada si se conocen las dimensiones del dado y la magnitud del hinchamiento que hay en él. En la figura 5.8 se muestra una sección transversal de un párison que sale de la boquilla para después ser soplado y formar una botella. Encontremos una expresión que relacione el espesor de pared de la botella y la presión máxima con la que se puede soplar sin romper el párison. En la figura 5.8 se tiene:

D_d = Diámetro del dado (medio).

D_p = Diámetro del párison.

D_m = Diámetro del molde.

t_d = Ancho del anillo del dado

t_p = Espesor del párison.

t = Espesor de la pared de la pieza moldeada.

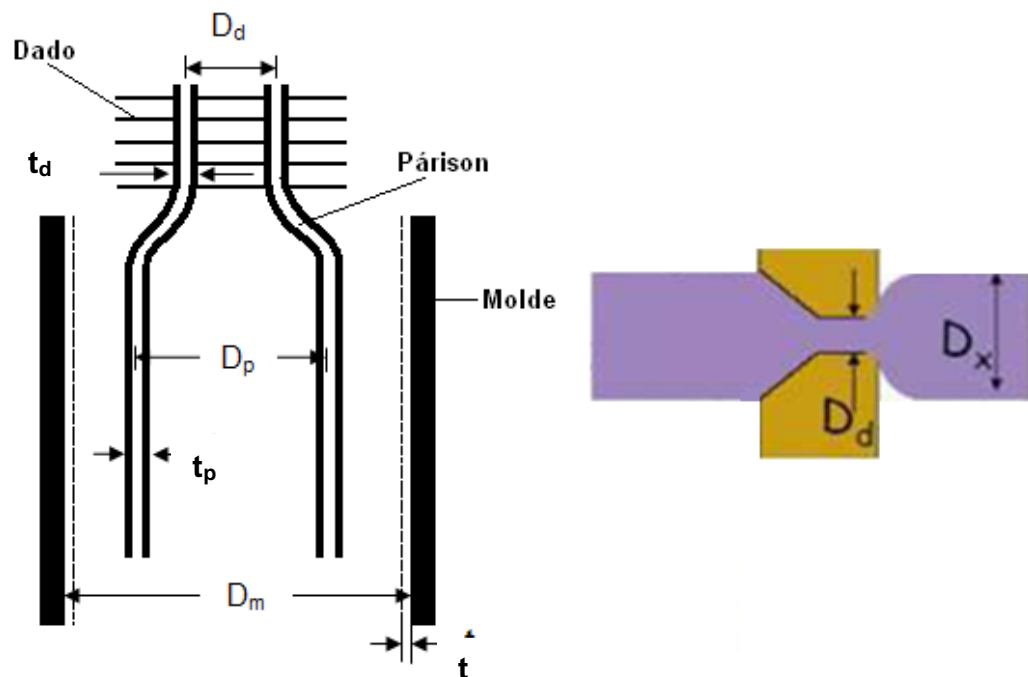


Figura 5.8. Análisis de moldeo por soplado

Al salir del dado, el plástico fundido (párison) sufre un hinchamiento o dilatación debido a la recuperación de las deformaciones elásticas que sufría; este efecto de dilatación se observa en la anterior figura. La medida del diámetro medio del párison que sale del dado se determina por la media del diámetro del dado D_d . La dilatación en el dado causa la expansión a un diámetro medio del párison D_p . Al mismo tiempo, el espesor de la pared del párison se dilata de t_d a t_p .

La relación de dilatación de diámetro del párison (hinchamiento del diámetro) está dada por:

$$r_{sd} = \frac{D_p}{D_d} \quad (5.2)$$

La relación de dilatación para el espesor de la pared (hinchamiento del espesor) está dada por:

$$r_{st} = \frac{t_p}{t_d} \quad (5.3)$$

Teniendo en cuenta lo anterior, la relación de dilatación del espesor de la pared es proporcional al cuadrado de la del diámetro:

$$r_{st} = r_{sd}^2 \quad (5.4)$$

Y por tanto:

$$t_p = r_{sd}^2 * t_d \quad (5.5)$$

Cuando se infla el párison hasta al diámetro del molde D_m con la correspondiente reducción del espesor de la pared de t_p a t , y suponiendo un volumen constante de la sección transversal tenemos:

$$\pi D_p t_p = \pi D_m t \quad (5.6)$$

Al resolver para t , obtenemos:

$$t = \frac{D_p t_p}{D_m} \quad (5.7)$$

Sustituyendo la ecuación (5.2) y (5.5) en la ecuación (5.7), obtenemos:

$$t = \frac{r_{sd}^3 t_d D_d}{D_m} \quad (5.8)$$

La expresión anterior permite calcular el espesor de pared de las piezas moldeadas por soplado conociendo las dimensiones del dado, la relación de dilatación de diámetro en el dado y el diámetro de molde.

Con el espesor de la pared del recipiente moldeado se puede desarrollar una expresión para la presión máxima de aire, la cual evitará que el párison se reviente durante el soplado. Para ello se puede utilizar la formula de Barlow tomada de la resistencia de los materiales que relaciona los esfuerzos (tensión tangencial), sus dimensiones como su diámetro y espesor de pared, y la presión interna en el tubo:

$$\sigma = \frac{pD}{2t} \quad (5.9)$$

Suponiendo que el máximo esfuerzo ocurre justamente antes de que se expanda el párison al tamaño del diámetro del molde (esto es, cuando D sea máximo y t sea mínimo) y remplazando en la ecuación (5.9) para resolver p obtenemos:

$$p = \frac{2\sigma t}{D_m} \quad (5.10)$$

Donde,

$p \equiv$ presión de aire durante el moldeo por soplado, en Pa.

$\sigma \equiv$ esfuerzo a la tensión max permisible en el polímero durante el soplado, en Pa.

t y $D_m \equiv$ espesor de la pared y diámetro, respectivamente, de la pieza hueca, mm.

La dificultad para usar esta fórmula es la determinación del esfuerzo permisible, ya que el polímero está caliente y en una condición altamente plástica. En una operación industrial los parámetros del proceso se afinan por prueba y error.

Es importante tener en cuenta que la presión del aire depende de la forma del molde, el tamaño y espesor del párison.

6. IDENTIFICACIÓN Y SELECCIÓN DEL COMPRESOR DEL AIRE SEGÚN NECESIDADES

El compresor aspira aire de la atmósfera y lo comprime en un volumen más pequeño, almacenándolo en un depósito llamado *tanque pulmón*, para después ser utilizado por equipos o herramientas neumáticas. Los compresores pueden ser usados para aumentar la presión o flujo de un gas como el aire, amoníaco, nitrógeno, entre otros. Este proceso en ocasiones es intermitente en ambientes como un taller o planta procesadora pequeña, o continuo como en bombeo de gasoductos, embotelladoras de gaseosas o cerveza, envases plásticos, etc. Para nuestro caso, el proceso será continuo.

La capacidad real de un compresor es menor que el volumen desplazado del mismo, debido a razones tales como:

- Caída de presión en la succión.
- Calentamiento del aire de entrada.
- Expansión del gas retenido en el volumen muerto.
- Fugas internas y externas.

Básicamente, hay cinco tipos de compresores de aire que se emplean en la industria, que se agrupan a su vez dentro de dos grandes familias: *compresores de desplazamiento positivo* y los *turbocompresores (compresores dinámicos)*.

6.1. Compresores de desplazamiento positivo

Estos compresores son los más comunes y más utilizados; el incremento de presión se obtiene introduciendo un volumen de gas, en un espacio determinado, que posteriormente es reducido por elementos mecánicos. Estos compresores se

pueden dividir a su vez en: *rotativos* (de lóbulos, de tornillos y de paletas) y *alternativos*.

6.1.1. Rotativo de lóbulos

Constan de dos rotores simétricos, o lóbulos, en paralelo con los engranajes (figura 6.1.). Se deben de lubricar tanto los cojinetes como los engranajes. No poseen válvulas de aspiración o descarga y la compresión tiene lugar en el tanque posterior debido a las sucesivas entregas de aire. Algunas características de este tipo de compresor son:

- Producen altos volúmenes de aire seco a baja presión.
- Posee pocas piezas en movimiento.
- Requieren baja lubricación y su enfriamiento es por Aire.
- No hay contacto entre lóbulos, ni de estos con la carcasa.

Los rotores simétricos giran en direcciones opuestas, dentro de una carcasa cilíndrica impulsando continuamente volúmenes iguales de aire.

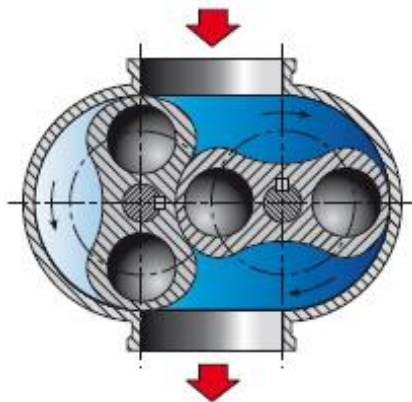


Figura 6.1. Compresor de lóbulos [4]

6.1.2. Rotativo de tornillos

Estos compresores tienen dos tornillos engranados que rotan paralelamente con un “juego” o “luz mínima”, sellado por la mezcla de aire y aceite. El aceite refrigera el aire, sella el juego y lubrica los rodamientos. Algunas características son:

- Flujo continuo de aire.
- Fácil mantenimiento.
- Económico, pequeño y silencioso.
- Separador aire-aceite más restrictivo.

El principio de operación consiste en: Al girar los tornillos, el aire entra por la válvula de admisión con el aceite. El espacio entre los labios es progresivamente reducido al correr por el compresor, comprimiendo el aire atrapado hasta salir por la válvula de salida, como se ve en la figura 6.2.

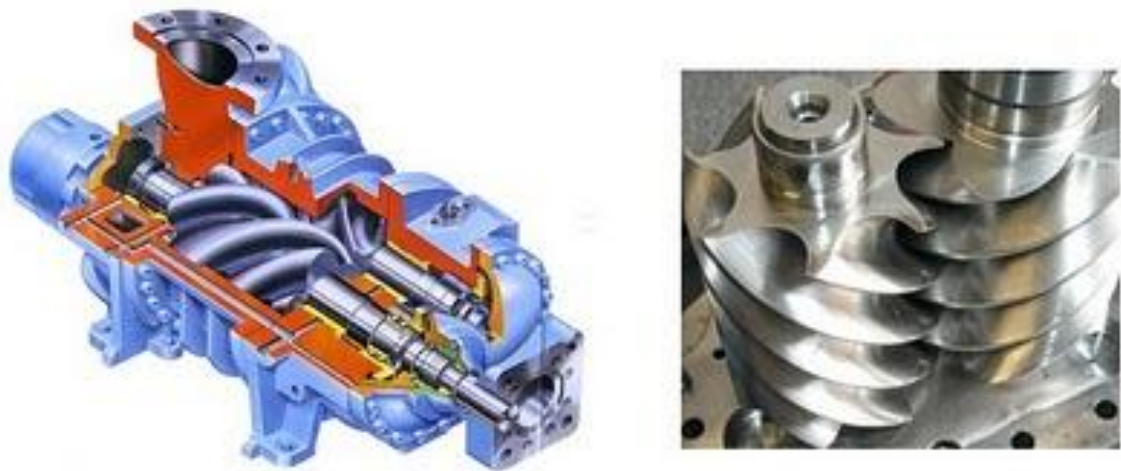


Figura 6.2. Compresor de tornillo [5]

6.1.3. Rotativo de paletas

Estos compresores constan de una carcasa cilíndrica en cuyo interior va un rotor montado excéntricamente de modo de rozar casi por un lado la pared de la carcasa formando así del lado opuesto una cámara de trabajo en forma de media luna. Esta cámara queda dividida en secciones por un conjunto de paletas deslizantes alojadas en ranuras radiales del rotor. Algunas características de este motor son:

- Fácil Mantenimiento
- Pequeño y silencioso
- Flujo continuo de Aire

El principio de operación consiste en: Cuando gira el rotor, las paletas se desplazan contra las paredes del estator, gracias a la fuerza centrífuga. El aire aspirado por el compresor se deposita en los espacios existentes entre cada dos aletas, zona de mayor excentricidad. Al girar el rotor el volumen entre aletas va disminuyendo y el aire se comprime, hasta llegar a la lumbrera de descarga.

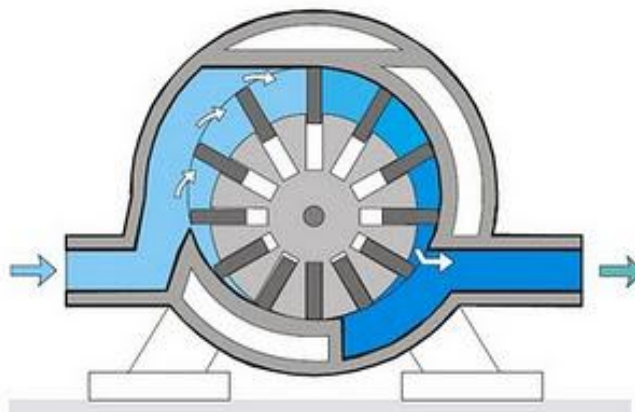


Figura 6.3. Compresor de paletas [4]

6.1.4. Compresores alternativos

Estos compresores utilizan pistones bajo el sistema *bloque-cilindro-émbolo*, parecido a los motores de combustión interna (figura 6.4.). Abren y cierran válvulas que con el movimiento del pistón aspira/comprime el gas. Es el compresor más utilizado en potencias pequeñas. Pueden ser del tipo herméticos, semi-herméticos o abiertos dependiendo de su uso. Los de uso domestico son herméticos, y no pueden ser intervenidos para repararlos. Los de mayor capacidad son semi-herméticos o abiertos, que se pueden desarmar y reparar.

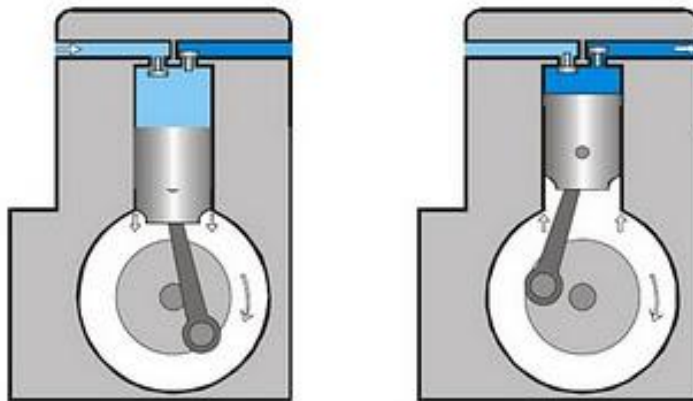


Figura 6.4. Compresor tipo émbolo [4]

Los compresores de pistón pueden tener de uno o más pistones. Con un solo pistón, pueden llegar a generar unas presiones de hasta 7 bar y con dos pistones, generar hasta 15 bar.

La disposición de los pistones se encuentra sobre un mismo cigüeñal, de otro modo sería muy difícil conseguir el sincronismo entre pistones.

En la industria farmacéutica, nos encontraremos el mismo tipo de compresor, pero llamado de membrana (figura 6.5.). Sucede que entre las válvulas de entrada-salida del compresor y el pistón o pistones, existe una membrana que impide el contacto del aire con el pistón o pistones. Maneja hasta 5 bares.

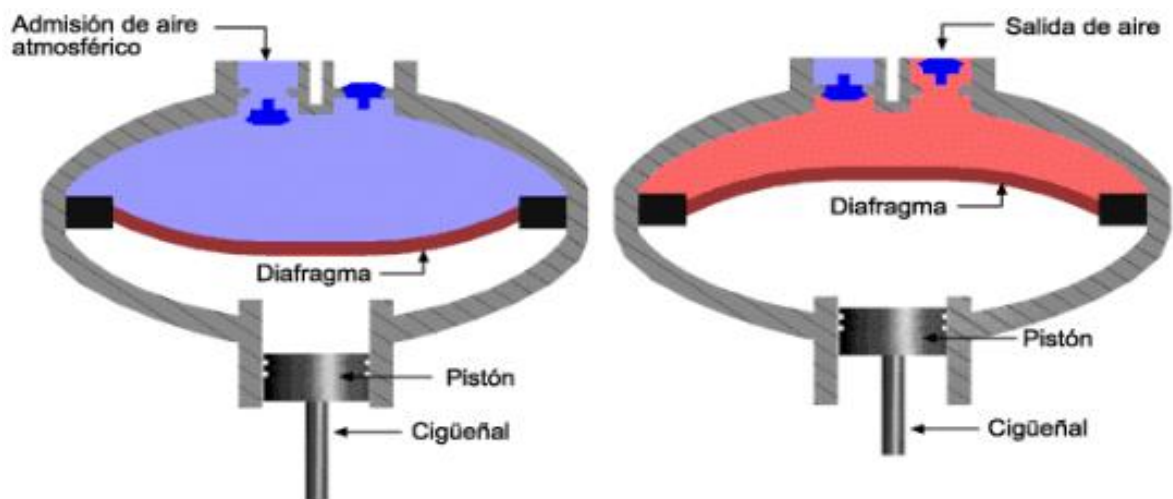


Figura 6.5. Compresor de membrana [6]

6.2. Compresores dinámicos

Son máquinas de flujo continuo en donde se transforma la energía cinética en presión, los mismos que se dividen en: Centrífugos y axiales.

6.2.1. Compresores centrífugos

El compresor centrífugo tiene un impulsor con álabes radiales o inclinados y hacia atrás (figura 6.6.). El movimiento de las aspas acelera el gas de un lado a otro, comprimiéndolo. Algunas características de este tipo de motor son:

- Flujo constante de aire
- Suministran aire libre de aceite
- Velocidad de funcionamiento alta, en comparación con los otros compresores

El principio de operación consiste en: El aire ingresa por una rueda giratoria provista de álabes radiales, los cuales lanzan el aire hacia la periferia mediante la fuerza centrífuga.

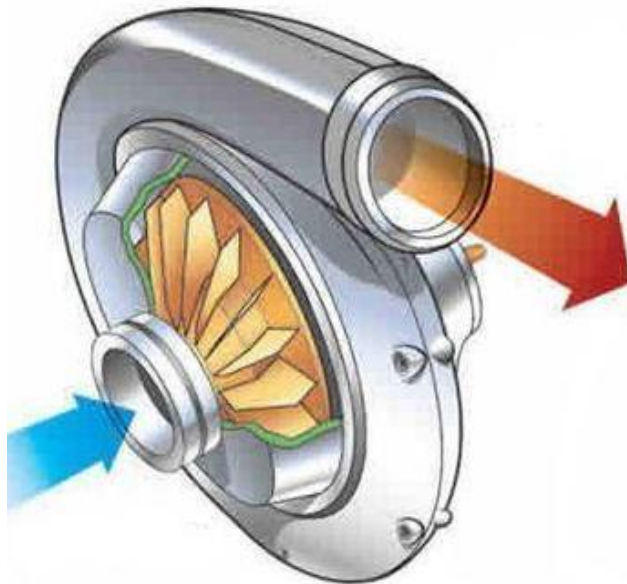


Figura 6.6. Compresor centrífugo [7]

6.2.2. Compresores axiales

La dirección de flujo de estos compresores es a lo largo de su eje. El compresor está formado por filas alternadas de álabes estacionarias y rotativas que comunican cierta velocidad al gas o energía, que después se transforman en presión (figura 6.7.). Algunas características de este tipo de motor son:

- Flujo de aire continuo
- Alto Caudal de Flujo
- Velocidad de funcionamiento mayor que los compresores centrífugos
- Aire libre de aceite

El principio de operación consiste en: Los álabes móviles entregan velocidad y presión al girar el rotor, luego en los álabes estacionarios la velocidad es convertida en presión por expansión.

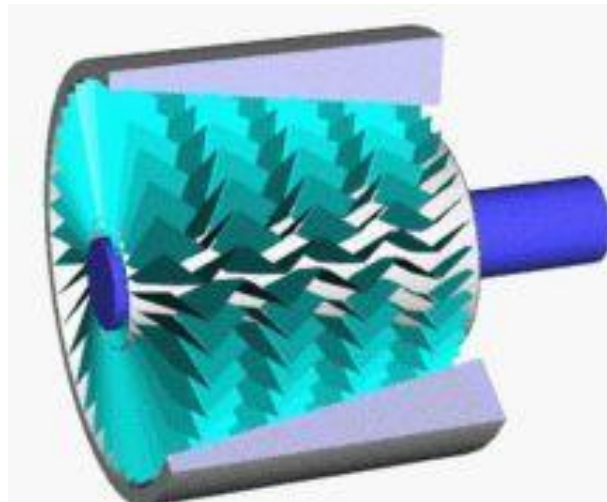


Figura 6.7. Compresor Axial [8]

6.3. Otras clasificaciones

Existen otras clasificaciones de los compresores según el efecto y el número de etapas, así: Compresores alternativos de simple, de doble efecto, mono cilíndricos, y bi cilíndricos.

6.3.1. Compresores alternativos de simple efecto [9]

Poseen una sola cámara de compresión y un pistón ligado a una biela que le proporciona el movimiento alternativo (figura 6.8.).

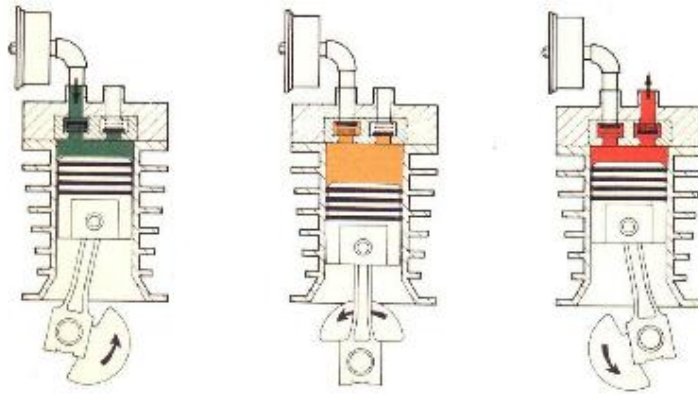


Figura 6.8. Compresor alternativo de simple efecto

6.3.2. Compresores alternativos de doble efecto [9]

Poseen dos cámaras de compresión, ya que las dos cámaras del émbolo comprimen y aspiran (figura 6.9.).

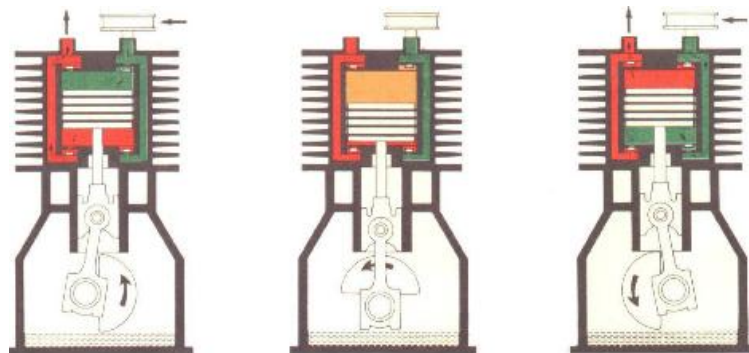


Figura 6.9. Compresor alternativo de doble efecto

6.3.3. Compresores alternativos mono cilíndricos [6]

La compresión se realiza en una sola etapa

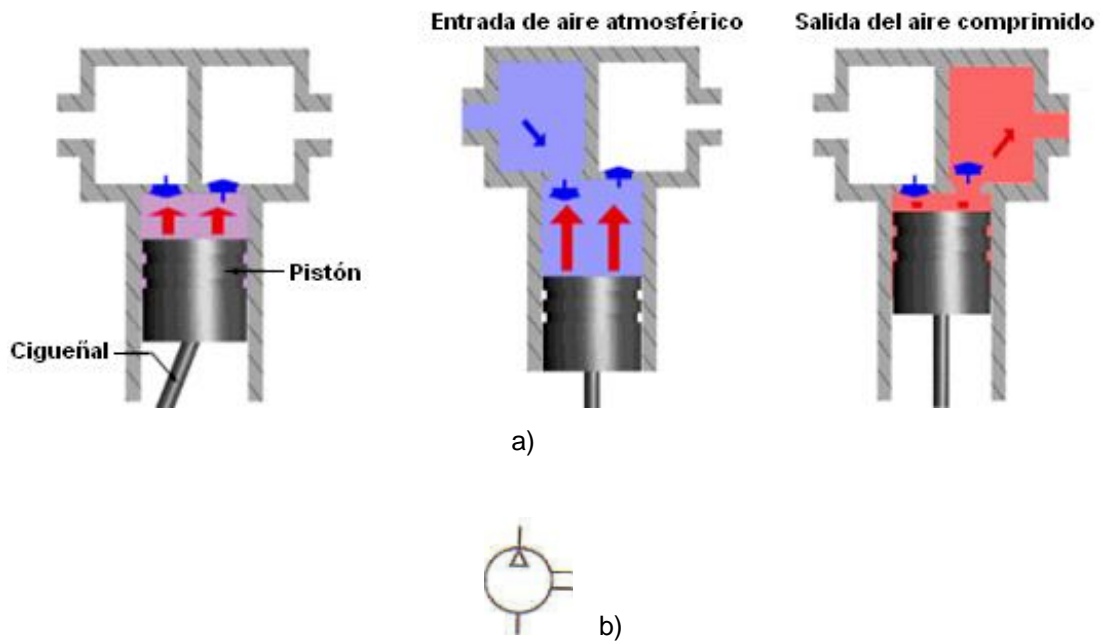


Figura 6.10. a) Compresión en una etapa y b) símbolo neumático

6.3.4. Compresores alternativos bi cilíndricos [6]

La compresión se realiza en dos etapas (figura 6.11.) las cuales pueden darse de dos formas

- Alta-Baja: el aire atmosférico comprimido por la primera etapa es enviado a la segunda a través de un enfriador donde se eleva el nivel de presión al valor de salida.
- Baja-Baja: los dos cilindros toman aire atmosférico y lo comprimen hasta la presión dada, duplicando el caudal.

Mediante este tipo de compresores se puede obtener una presión en un rango de 10 a 15 bar.

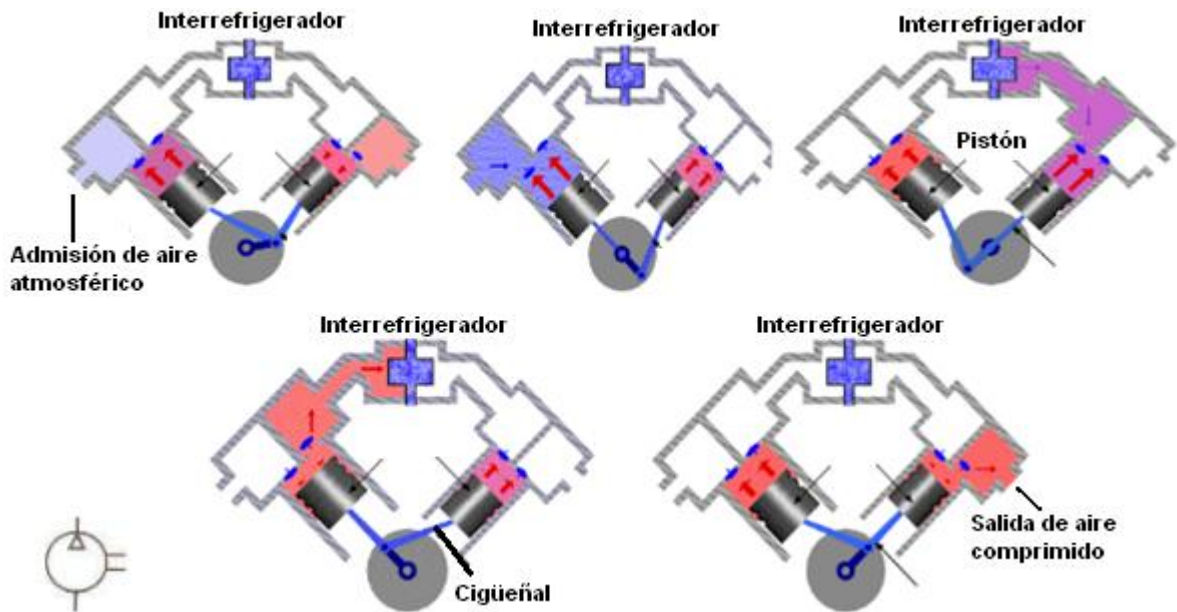


Figura 6.11. Compresor bi cilíndrico y símbolo neumático [6]

6.4. Parámetros para la selección del compresor

Algunos de los parámetros que influyen la selección, tanto del tipo de compresor son:

- Tipo de aplicación.
- Cantidad de puntos de utilización del sistema.
- Demanda de aire.
- Caudal que suministra el compresor.
- Tipo de necesidad de aire (intermitente o continuo)
- Presión de servicio.

- Presión de trabajo de las herramientas neumáticas.
- Condiciones ambientales.

Cabe anotar que algunos de estos factores están establecidos desde el principio, por ejemplo, el tipo de aplicación industrial, el número de puntos de utilización siendo uno por ahora y que corresponde a la unidad de soplado, el tipo de necesidad de aire que es continuo y la presión de trabajo correspondiente a la presión de soplado, siendo esta de 3 bar. Los parámetros serán calculados o se buscarán en hojas técnicas.

6.5. Determinación de la demanda del aire comprimido [10]

Para calcular la demanda de aire comprimido se tiene en cuenta aditivamente los consumos individuales de los equipos y/o herramientas neumáticas; en nuestro caso la única herramienta que hará uso de este aire comprimido será el pin de soplado. Sin embargo, también es importante tomar en consideración factores como:

6.5.1. Factor de simultaneidad

Este factor se representa como f_s y es un valor empírico basado en la experiencia, teniendo en cuenta el número de equipos neumáticos que se utilizan al mismo tiempo. Este factor ajusta el consumo teórico de las herramientas en condiciones reales.

La siguiente tabla 6.1 muestra valores de fs según la cantidad de equipos o herramientas neumáticas (dispositivos de consumo).

Tabla 6.1 Factor de simultaneidad [10]

| Cantidad de dispositivos de consumo | Factor de simultaneidad (fs) |
|--|-------------------------------------|
| 1 | 1 |
| 2 | 0.94 |
| 3 | 0.89 |
| 4 | 0.86 |
| 5 | 0.83 |
| 6 | 0.80 |
| 7 | 0.77 |
| 8 | 0.75 |
| 9 | 0.73 |
| 10 | 0.71 |
| 11 | 0.69 |
| 12 | 0.68 |
| 13 | 0.67 |
| 14 | 0.66 |
| 15 | 0.64 |
| 16 | 0.63 |

6.5.2. Factor de utilización

Cuando un dispositivo de consumo de aire está en operación, no siempre se encuentra en uso continuo, ya que lo hacen según su necesidad. El factor de

utilización determina la relación entre el tiempo de uso de la herramienta neumática y un tiempo referencial establecido. De lo anterior, es indispensable determinar el factor de utilización (f_u). La siguiente ecuación es usada para determinar dicho factor:

$$f_u = \frac{T_u}{T_r} \quad (6.1)$$

Donde:

f_u : factor de utilización (adimensional)

T_r : tiempo referencial (min)

T_u : tiempo de uso (min)

Algunas consideraciones deben ser tomadas en cuenta para determinar el consumo total de las herramientas individuales a la demanda actual.

6.5.3. Fugas

Las pérdidas por fugas y fricción ocurren en todas partes del sistema neumático. Si los sistemas son nuevos se debe considerar un factor por fuga de al menos 5% sobre el cálculo de la demanda de aire, y para sistemas más antiguos se debe considerar al menos un 25%. Estos valores se basan en la experiencia.

6.5.4. Expansión

Una red de aire comprimido es diseñada de acuerdo a los consumos estimados de los dispositivos neumáticos, pero con el tiempo la demanda tiende a crecer por lo que es necesario considerar un factor de expansión. Este factor depende de las proyecciones que se tenga de la red de aire comprimido a futuro.

6.5.5 Error

Se debe considerar un margen de error ya que se puede incurrir en errores en la demanda de los dispositivos. Se puede considerar entre un 5% y un 15%.

6.5.6 Correcciones por altitud

La capacidad de entrega de caudal útil por parte de la unidad compresora tiene relación con la altitud, y dichos valores de caudal presentados en catálogos corresponden a condiciones ambientales estándar al nivel del mar. Para un cálculo de la demanda de aire más real, se lo corregirá con base a la altitud a la que se encuentre la red de aire comprimido. La tabla 6.2 presenta valores de densidad del aire a diferentes alturas.

Tabla 6.2. Valores de la densidad de aire a diferentes alturas [11]

| Altitud (m) | Valores de la densidad del aire ambiente | | |
|-------------|--|----------------------------------|--------------------------------|
| | Mínimo (kg/m ³) | Promedio (kg/m ³) | Máximo (kg/m ³) |
| 0 | 1.1405 | 1.2254 | 1.3167 |
| 305 | 1.1101 | 1.1886 | 1.2735 |
| 610 | 1.0812 | 1.1533 | 1.2302 |
| 914 | 1.0524 | 1.1197 | 1.2222 |
| 1000 | 1.0444 | 1.1101 | 1.1902 |
| 1219 | 1.0252 | 1.0861 | 1.1501 |
| 1524 | 0.9996 | 1.0556 | 1.1133 |
| 1829 | 0.9739 | 1.0236 | 1.0764 |
| 2000 | 0.9595 | 1.0076 | 1.0572 |

Definimos la densidad del aire como $d = \frac{m}{V}$ donde m es la masa de aire y V es el volumen de aire (las unidades físicas corresponden a las dadas en la tabla 6.2.).

La masa de aire a diferentes densidades se mantendrá constante, pero el volumen que la contiene variará, por lo tanto

$$m_1 = m_2$$

$$d_1 * V_1 = d_2 * V_2$$

$$V_2 = \frac{d_1 * V_1}{d_2} \quad (6.2)$$

Donde:

d_1 : densidad del aire a 0 msnm

V_1 : volumen de aire a 0 msnm

d_2 : densidad del aire a diferente altura

V_2 : Volumen de aire a diferente altura

La ecuación 6.2 permite determinar la corrección de la demanda volumen en función de la corrección por altura.

6.6. Cálculo de la demanda de aire sin correcciones para la etapa de soplado

El sistema debe entregar el aire necesario a las herramientas neumáticas de forma confiable, segura y económica. Para nuestro caso solo se involucra una herramienta que es el pin de soplado.

Para dicho cálculo se tomará en cuenta el factor de simultaneidad y el factor de utilización. Además se realizarán las correcciones por fugas, expansión, error de cálculos y correcciones por altitud. Puede incluirse los consumos de aire comprimido de futuras herramientas, previendo “ampliaciones” en el proceso industrial; sin embargo, no es claro si esto ocurra.

Uno de los principales problemas para realizar este cálculo radica en que no existe manuales o referencias precisas acerca del consumo de aire comprimido por parte del pin de soplado. Sin embargo, existen tablas que presentan valores medios de consumo de los componentes más frecuentes a conectar a una instalación o red de aire comprimido. Algunos de estos componentes son pistolas de pintura, boquillas, boquillas de aspersión y herramientas neumáticas como taladros y atornilladores.

Para nuestro estudio, el funcionamiento del pin de soplado es parecido al de las boquillas, por lo tanto asumiremos que sus consumos de aire comprimido son similares. Ahora, dicho consumo depende de diversos factores como el diámetro de la boquilla, presión de operación de la misma, forma de la boquilla, entre otros.

La tabla 6.3 muestra los consumos de boquillas de diferentes diámetros según la presión de trabajo. Supondremos que estas son de forma cilíndrica simple.

Tabla 6.3. Consumos de aire comprimido de boquilla cilíndrica simple (L/min) [12]

| Diámetro orificio | Presión de trabajo (bar) | | | | | | |
|------------------------------|---------------------------------|----------|----------|----------|------------|----------|----------|
| | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| (mm) | | | | | | | |
| 0.5 | 8 | 10 | 12 | 15 | 18 | 22 | 28 |
| 1.0 | 25 | 35 | 45 | 55 | 65 | 75 | 85 |
| 1.5 | 60 | 75 | 95 | 110 | 130 | 150 | 170 |
| 2.0 | 105 | 145 | 180 | 220 | 250 | 290 | 330 |
| 2.5 | 175 | 225 | 280 | 325 | 380 | 430 | 480 |
| 3.0 | 230 | 370 | 400 | 465 | 540 | 710 | 790 |

Según la tabla 2.1, las dimensiones del perno o pin de soplado es de 1.6 mm para una capacidad del cuerpo hueco de 1 L.

El rango de presión para soplado es de 3 a 7 bar y específicamente para nuestro estudio, la presión de soplado toma el valor de 3 bar. Sin embargo, para el cálculo del consumo de aire por parte del pin se tomará como presión de trabajo el valor de 6 bar, que corresponde a la de la mayoría de las herramientas neumáticas. Lo anterior, bajo el supuesto que el compresor pueda ser usado en otras actividades.

El consumo de aire comprimido por parte del pin de soplado según la tabla 6.3 es de 130 L/min ($0.13 \text{ m}^3/\text{min}$) con una presión de trabajo de 6 bar y un diámetro de orificio de 1.5 mm. Este valor se consignará en la tabla 6.4.

Tabla 6.4. Consumos de aire comprimido sin correcciones

| Equipo / Herramienta neumática | Cantidad | Consumo de aire (m³/min) | Total consumo de aire (m³/min) |
|---|-----------------|--|--|
| Pin de soplado | 1 | 0.13 | 0.13 |
| Subtotal Consumo de aire (m ³) | | | 0.13 |
| Factor de simultaneidad | | | 1 |
| Total Consumo de aire (m³) | | | 0.13 |

6.6.1. Determinación del factor de simultaneidad

Si recordamos, el factor de simultaneidad representa la cantidad de elementos que consumen aire comprimido simultáneamente, arrojando un valor dado. Como en este caso la única herramienta que está realizando un consumo de aire es el pin de soplado, el factor de simultaneidad es de 1 según la tabla 6.1.

6.6.2. Cálculo del factor de utilización

Cabe recordar que el tiempo de utilización corresponde al tiempo de uso de la herramienta neumática. Tomaremos el tiempo de referencia como 60 minutos teniendo en cuenta que corresponde a una hora crítica de trabajo. En la tabla 6.5 se presentan detalladamente los tiempos de cada una de las acciones realizadas durante el proceso de soplado. Sin embargo, muchos de estos tiempos no son tenidos en cuenta para nuestro análisis, ya que hacen parte del estudio realizado por los estudiantes Nelson Enrique Fuentes y Mario Fernando Gustín del programa de Ingeniería Física de la Universidad del Cauca.

Tabla 6.5. Tiempos en la etapa de soplado [13]

| Sección | Movimiento | Tiempo (s) |
|--------------------------------|-------------------|-------------------|
| Acople del molde | Cierra | 0.5 |
| | Abre | 0.5 |
| | Reposo | 0.1 |
| Transporte del molde | Al párison | 0.5 |
| | A soplado | 0.5 |
| | Reposo | 0.1 |
| Pin de soplado | Baja | 0.25 |
| | Sube | 0.25 |
| | Reposo | 0.1 |
| Soplado | Sopla | 7.0 |
| | Desfogue | 1.0 |
| Cuchilla | Corta | 0.1 |
| Tiempo total de soplado | | 10.9 |

Según la tabla anterior, podemos asumir que un ciclo completo de soplado ocurre cada 11 s aproximadamente, por lo tanto en una hora de trabajo (3600 s) el número aproximado de ciclos ocurridos será de 327.

Es de nuestro interés, únicamente el tiempo de empleado para soplar el molde. Este tiempo es de 7 s aproximadamente, y es asumido como el tiempo de uso del pin de soplado durante dicha etapa, ya que durante el tiempo restante se asume que el pin no se encuentra en uso.

Con la información anterior podemos calcular el factor de utilización. Como el tiempo de uso por ciclo es de 7 s y el total de ciclos son de 327, el tiempo total en el que se encuentra en uso el pin de soplado en una hora es de 2289 s (38.15 min aproximadamente).

Con los datos anteriormente desarrollados, el factor de utilización del pin de soplado, según la ecuación 6.1, es de:

$$f_u = \frac{T_u}{T_r} = \frac{38.15 \text{ min}}{60 \text{ min}} = 0.636 \approx 0.64$$

6.6.3. Corrección de consumo por fugas

Como la red de aire comprimido es nueva, según la sección 6.5.3, se considera un factor de corrección por fugas de 5% sobre el cálculo de la necesidad de aire.

6.6.4. Corrección de consumo por expansión

Suponiendo que la demanda tiende a crecer, bajo el supuesto que la empresa crezca, es necesario considerar un factor de expansión, que depende de las proyecciones a futuro que se tenga de la red de aire comprimido. Para nuestro caso, y ya que no es clara esta eventualidad, se considera un factor de 15%.

6.6.5. Corrección por error

Según la sección 6.5.5, la corrección por error se considera en un rango de entre 5% y 15% y se toma como contingencia por cualquier eventualidad. Está bajo criterio del diseñador escoger el valor que el considere adecuado. Se optó por tomar el valor central correspondiente al 10% como factor de corrección por error.

Con base en los factores y correcciones anteriormente establecidos, en la tabla 6.6 se muestra el cálculo del consumo de aire por parte del pin de soplado.

6.7. Cálculo de la demanda aire con correcciones para la etapa de soplado

La tabla 6.6 presenta el consumo de aire comprimido corregido, a nivel del mar, requerido por el pin de soplado para insuflar el párison.

Tabla 6.6. Consumo de aire comprimido requerido corregido

| Equipo / Herramienta neumática | Cantidad | Consumo de aire (m³/min) | Factor de utilización | Total consumo de aire (m³/min) |
|--|-----------------|--|------------------------------|--|
| Pin de soplado | 1 | 0.13 | 0.64 | 0.0832 |
| Subtotal Consumo de aire (m ³) | | | | 0.0832 |
| Total consumo de aire con factor fs (m ³ /min) | | | 1 | 0.0832 |
| Consumo de aire por corrección de fugas (m ³ /min) | | | 5% | 0.00416 |
| Consumo de aire por corrección por expansión | | | 15% | 0.01248 |
| Consumo de aire por corrección por error (m ³ /min) | | | 10% | 0.00832 |
| Total Consumo de aire corregido (m³) | | | | 0.10816 |

6.7.1. Corrección por altitud

Es necesario realizar la corrección del caudal requerido según la altitud donde está ubicada la máquina, teniendo en cuenta que la ciudad de Popayán se encuentra a 1760 msnm. En la tabla 6.2 se observa la densidad del aire a diferentes alturas.

Podemos suponer una correlación “casi” lineal entre la densidad y la altitud. La constante proporcional está dado por:

$$kte = \frac{\Delta d}{\Delta h} = \frac{0.9739 - 0.9996}{1829 - 1524} = \frac{-0.0257}{305} = -8.43 * 10^{-5} \frac{kg/m^3}{m}$$

Con base en la anterior constante y la altitud de Popayán, encontremos la densidad del aire.

$$-8.43 * 10^{-5} \frac{kg/m^3}{m} = \frac{x - 0.9996}{1760 - 1524} = \frac{x - 0.9996}{236}$$

$$-8.43 * 10^{-5} \frac{kg/m^3}{m} * 236 m = x - 0.9996$$

$$-0.0198948 \frac{kg}{m^3} + 0.9996 = x$$

$$x = 0.9797 \frac{kg}{m^3}$$

Consideramos 0.9797 kg/m³ como el valor de la densidad del aire a una altitud de 1760 msnm (Altitud de Popayán). Para determinar la corrección por altura se utiliza la ecuación 6.2., de la sección 6.5.6.

$$V_2 = \frac{d_1 * V_1}{d_2}$$

Donde:

d_1 : densidad del aire a 0 msnm = $1.1405 \frac{kg}{m^3}$ (tabla 6.2.)

V_1 : volumen de aire a 0 msnm = $0.10816 m^3$ (tabla 6.6.)

d_2 : densidad del aire a 1760 m = $0.9797 \frac{kg}{m^3}$

V_2 : Volumen de aire a diferente altura

$$V_2 = \frac{d_1 V_1}{d_2} = \frac{1.1405 \frac{kg}{m^3} * 0.10816 m^3}{0.9797 \frac{kg}{m^3}}$$

$$V_2 = \frac{0.123356 m^3}{0.9797} = \mathbf{0.1259 m^3}$$

(volumen corregido a 1760 msnm)

El caudal total corregido a 1760 msnm es $0.1259 m^3/\text{min}$. Es importante tener en cuenta que la unidad más usada por los compresores para expresar el caudal es CFM (pies cúbicos por minuto). Por lo anterior, el caudal total corregido a 1760 msnm en la unidad anterior es aproximadamente **4.45 CFM**.

6.8. Cálculo de la demanda de aire con correcciones y equipo adicional

Se considera que en un futuro la empresa SISTAMCOL LTDA ampliará su línea de producción, por lo que se hace necesario un pin de soplado adicional y por ende el consumo de aire comprimido se incrementará. El factor de simultaneidad varía a 0.94 según la tabla 6.1, para 2 herramientas en uso simultáneo.

La tabla 6.7 presenta el consumo de aire comprimido corregido, a nivel del mar, con equipo adicional.

Tabla 6.7. Consumo de aire comprimido corregido con equipo adicional

| Equipo / Herramienta neumática | Cantidad | Consumo de aire (m³/min) | Factor de utilización | Total consumo de aire (m³/min) |
|--|-----------------|--|----------------------------------|--|
| Pin de soplado | 2 | 0.13 | 0.64 | 0.1664 |
| Subtotal Consumo de aire (m ³) | | | | 0.1664 |
| Total consumo de aire con factor fs (m ³ /min) | | | 0.94 | 0.1564 |
| Consumo de aire por corrección de fugas (m ³ /min) | | | 5% | 0.00782 |
| Consumo de aire por corrección por expansión | | | 15% | 0.02346 |
| Consumo de aire por corrección por error (m ³ /min) | | | 10% | 0.01564 |
| Total Consumo de aire corregido (m³) | | | | 0.20332 |

6.8.1. Corrección por altitud con equipo adicional

Nuevamente se realiza la corrección del caudal requerido según la altitud de Popayán (1760 msnm). Utilizando la ecuación 6.2 tenemos:

$$V_2 = \frac{d_1 * V_1}{d_2}$$

Donde:

d_1 : densidad del aire a 0 msnm = $1.1405 \frac{kg}{m^3}$ (tabla 6.2.)

V_1 : volumen de aire a 0 msnm = 0.20332 m³ (tabla 6.7.)

d_2 : densidad del aire a 1760 m = 0.9797 $\frac{kg}{m^3}$

V_2 : Volumen de aire a diferente altura

$$V_2 = \frac{d_1 V_1}{d_2} = \frac{1.1405 \frac{kg}{m^3} * 0.20332 m^3}{0.9797 \frac{kg}{m^3}}$$

$$V_2 = \frac{0.23189 m^3}{0.9797} = \mathbf{0.2367 m^3}$$

(volumen corregido a 1760 msnm)

El caudal total corregido con equipo adicional a 1760 msnm es 0.2367 m³/min (8.36 CFM).

6.9. Importancia de una presión adecuada

Las herramientas neumáticas tienen una presión de operación estándar de 6 bares aproximadamente. Para equipos específicos, la presión de operación debe ser consultada en su manual de operación.

6.10. Selección del compresor de aire

En el mercado se dispone de gran variedad de compresores de aire, clasificados según lo visto en las secciones 6.1, 6.2 y 6.3. De ante mano, algunos de ellos son

diseñados exclusivamente para ciertos procesos, lo que reduce la cantidad de “candidatos” para ser propuestos como opción.

Los parámetros requeridos para el proceso permitirán direccionar la selección más adecuada del compresor. Los límites de la presión normal en casi la mayoría de las industrias es de 90 a 110 psig (6.33 y 7.74 bar respectivamente). Estos parámetros o requerimientos son:

- Tipo de aplicación: Industrial
- Cantidad de puntos de utilización del sistema: 1
- Demanda de aire: 0.2367 m³/min (8.36 CFM)
- Caudal que suministra el compresor: Superior al consumo requerido
- Tipo de necesidad de aire: Continuo
- Presión de servicio: 6 bar, presión de diseño para la selección del compresor
- Presión de trabajo del pin de soplado: 3 bar

Para la selección adecuada del compresor se realizará un análisis morfológico similar al hecho en la unidad 4 cuando se escogió el método de soplado, y posteriormente se darán los argumentos para aquella selección.

6.10.1. Compresores descartados

El primer tipo de compresor que se descarta es el Alternativo de Membrana ya que su uso es exclusivo en industrias de tipo farmacéutico y químicos, ya que el aire no entra en contacto con las piezas móviles ni con aceite. El aire comprimido resulta de una mayor limpieza. Además poseen una limitante en su presión de suministro u operación que es de hasta 5 bares.

El segundo tipo de compresor que se descarta es el Dinámico o Turbocompresor, tanto el Axial como el Radial. La razón es que estos compresores proporcionan mucho caudal (hasta 150000 CFM en una sola etapa) pero a baja presión mas o menos de hasta 29 psig (2 bares). En la técnica de extrusión-soplado el consumo de aire comprimido es relativamente bajo, con presiones de soplado igualmente bajas. Teniendo en cuenta este hecho se hace innecesario este tipo de compresores ya que estarían siendo sub utilizados, o mejor aún no se estaría aprovechando su principal característica que es el suministro de grandes caudales. Su uso es mas frecuente en industrias de procesos químicos.

6.10.2. Análisis Morfológico

Antes de realizar el análisis morfológico es bueno aclarar que a pesar de que en la etapa de soplado se requieran presiones bajas de entre 3 a 7 bares, es recomendable que el compresor elegido maneje presiones de suministro superiores en caso de que se requiera para otras circunstancias. Presiones muy elevadas como 20000 psia (1407 bares), solo se pueden lograr con compresores alternativos.

Para la calificación se van a considerar 4 tipos de compresores, entonces el puntaje mínimo será de 1 y el máximo de 4. Puede que en alguna consideración dos o más compresores tengan la misma calificación, por lo cual dejará de usarse alguna otra valoración. El compresor con mayor puntaje total será escogido como el más adecuado para proponerlo en el estudio.

En la tabla 6.8 se muestran los resultados del análisis morfológico hecho a los diferentes tipos de compresores propuestos con dimensiones similares.

Tabla 6.8. Análisis morfológico para compresores Alternativos y Rotativos

| <div style="text-align: center;">OPCIONES</div> <div style="text-align: right;">CONSIDERA- CIONES</div> | COMPRESORES DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO | | | |
|--|--|-----------|-----------|-----------|
| | ALTERNAT | ROTATIVOS | | |
| | PISTON | PALETAS | TORNILLO | LOBULO |
| Mayor difusión en potencias pequeñas | 4 | 2 | 3 | 2 |
| Mayor rango de presión de trabajo | 4 | 1 | 2 | 1 |
| Mayor presión máxima de suministro en una etapa | 4 | 1 | 2 | 1 |
| Mayor estanqueidad entre sus piezas móviles | 4 | 3 | 4 | 2 |
| Mayor caudal de suministro | 3 | 2 | 4 | 2 |
| Flujo continuo de aire | 2 | 4 | 4 | 4 |
| Menores dimensiones y silenciosos | 3 | 4 | 4 | 4 |
| TOTAL | 24 | 18 | 23 | 17 |

Se observa una clara ventaja de los compresores de Pistón y de Tornillo sobre los otros dos. A pesar de que estos compresores son muy similares en el puntaje final y en el de sus características, se opta por el compresor de Pistón ya que son los más difundidos y usados, a pesar de que el de Tornillo está tomando fuerza en la

actualidad. También la teoría afirma que si se requiere alta presión y un consumo bajo de aire comprimido se usan los alternativos.

6.10.3. Argumentos para la selección del compresor de Pistón

Teniendo como base el resultado de la tabla 6.6 se pueden concluir que la recomendación es usar el compresor tipo Pistón, ya que obtuvo el mayor puntaje. Las razones por las cuales se llegó a esta conclusión fueron:

- Los compresores de Pistón y Tornillo desarrollan mayores presiones de suministro, por lo tanto su rango de presiones de trabajo son superiores que a los de Lóbulos y Paletas.
 - Lóbulos: Pmax 8 a 9 bares
 - Paletas : Pmax 8 bares, con 2 etapas
 - Tornillo : Pmax de hasta 20 bares
 - Alternativo: Pmax de hasta 30 bares, con 2 etapas
Pmax de hasta 220 bares, con 3 etapas (Especiales)
- Con respecto a la estanqueidad, estos dos mismos compresores presentan la mejor. En el de tornillo, existe un “juego” que es sellado por medio del aceite, mejorando su hermeticidad. El de Lóbulos, al no ser lubricado o muy poco, presenta problemas de estanqueidad. Este problema se debe a que entre los lóbulos y entre ellos y la carcasa, hay un “juego” que no es sellado.
- Una vez más los dos mejores compresores que suministran gran cantidad de caudal son el de Pistón y el de Tornillo. El de Pistón suministra hasta 3000 CFM, el de Tornillo refrigerado por aceite suministra hasta 3500 CFM.

- El suministro de caudal del compresor de Lóbulos es de aproximadamente 400 CFM.

6.10.4. Determinación de la presión máxima del compresor

Para nuestro estudio hemos asumido que la presión de soplado es de 3 bar, aunque el rango se encuentra entre 3 y 7. Muchas de las herramientas neumáticas utilizadas en la industria requieren una presión de trabajo de 6 bar, presión que sirve de referencia para nuestro estudio. Sin embargo, existen aplicaciones que utilizan presiones superiores de trabajo y por ende el consumo de aire comprimido se incrementa.

Con el fin de de determinar la presión máxima del compresor se debe empezar por tomar en consideración la presión de trabajo del pin de soplado. No podemos descartar la opción de que el compresor pueda ser usado más adelante en otras aplicaciones que exigen una mayor presión. Es así, que asumiremos como punto de partida la presión de trabajo de la mayoría de herramientas neumáticas (6 bar); otros ítems también serán tenidos en consideración.

| | |
|--------------------------------------|-----------------------------|
| ➤ Presión de operación en el sistema | 6 bar |
| ➤ Red de aire comprimido fija | Pérdida de Presión: 0.1 bar |
| ➤ Filtro obstruido y accesorios | Pérdida de Presión: 0.6 bar |
| ➤ Secador de aire | Pérdida de presión: 0.2 bar |
| | <hr/> |
| Presión mínima | 6.9 bar |

La presión mínima de carga de compresor debe ser mayor sobre la presión de cálculo, por lo tanto se considera lo siguiente:

➤ Ciclo diferencial en compresores de Pistón [10] 1.0 bar

Por lo tanto la presión que debe entregar el compresor es 7.9 bar

La presión máxima seleccionada para el compresor será de 8 bar.

6.10.5. Modelo del compresor de Pistón

Para escoger el modelo del compresor se tiene en cuenta algunos criterios tales como:

- El tipo de servicio que presta la unidad o instalación de aire comprimido, continuo o intermitente. El proceso de moldeo por soplado no es intermitente; desde el momento que inicia la jornada laboral hasta el final de ella, la producción de cuerpos huecos no para, exceptuando la hora de almuerzo.
- El consumo de aire requerido para el proceso es de $0.2367 \text{ m}^3/\text{min}$ (8.36 CFM), siendo un consumo relativamente bajo comparado con otros procesos industriales.
- La presión máxima calculada es de aproximadamente 8 bar.

Se proponen 3 opciones de compresores, que cumplen con requerimientos mínimos para la selección. Estas opciones correspondientes a 3 marcas muy conocidas: INGERSOLL, BOGE y SFM. Las dos primeras son marcas extranjeras mientras que la última es nacional. En el anexo 1 se presentan los catálogos de productos de cada empresa, que permiten escoger adecuadamente los modelos propuestos.

6.10.5.1. Marca Ingersoll Rand

Para esta marca se encontró un compresor de pistón estacionario de una sola etapa. El modelo es SS3L3 y sus características son las siguientes:

- Potencia de arranque: 7.9 HP (5.81 KW)
- Potencia: 3 HP (2.2 KW)
- Tanque pulmón (Vertical): 60 gal (227 L)
- Caudal volumétrico: 11.3 CFM
- Presión máxima: 135 psi (aprox. 9 bar)
- Dimensiones: 167.64 x 50.8 x 58.42 (La x An x Al, cm)
- Peso neto: 300 Lb (136.08 Kg)

6.10.5.2. Marca BOGE

Para esta marca se presenta 2 modelos según el gusto del usuario; BSO 370 y BSOL 370, estándar y super insonorizado respectivamente. Ambos modelos son de una sola etapa. Las características de estos modelos son las mismas, excepto por sus dimensiones y la característica previamente nombrada.

- Potencia: 3 HP (2.2 KW)
- Tanque pulmón (Horizontal): 150 L
- Caudal volumétrico: 10 CFM
- Presión máxima: 8 bar
- Dimensiones: BSO 370 169.5 x 53.5 x 104.5 (La x An x Al, cm)
BSOL 370 142.5 x 53.5 x 123.2
- Peso neto: 180 Kg

6.10.5.3. Marca SFM

Para esta marca se presenta 2 opciones según el gusto del usuario; la línea K y la línea U.B. Ambos modelos son de una sola etapa. Las características de estos modelos difieren y se presentan a continuación.

6.10.5.3.1 Línea K

El modelo seleccionado es el SFM 11.33 K-17

- Potencia: 2 HP (1.5 KW)
- Tanque pulmón (Horizontal): 40 gal (151.4 L)
- Caudal volumétrico: 11.33 CFM
- Presión máxima: 8 bar
- Dimensiones: 117 x 50 x 103 (La x An x Al, cm)

6.10.5.3.2 Línea U.B.

El modelo seleccionado es el SFM 9.0 UB-20

- Potencia: 1.5/2 HP (1.5 KW)
- Tanque pulmón (Horizontal): 35 gal (132.48 L)
- Caudal volumétrico: 9 CFM
- Presión máxima: 8 bar
- Dimensiones: 102 x 43 x 82 (La x An x Al, cm)

Algunas figuras de los compresores propuestos son presentadas en el anexo 1. Escoger compresores de mayor caudal volumétrico no es recomendable ya que no trabajaría a su máxima eficiencia, incrementando costos energéticos.

6.11. Refrigeración del compresor

Por efecto de la compresión del aire se desarrolla calor que debe evacuarse. De acuerdo con la cantidad de calor que se desarrolle, se adoptará la refrigeración más apropiada.

En compresores pequeños, las aletas de refrigeración incorporadas en el compresor se encargan de irradiar el calor. Los compresores mayores van dotados de un ventilador adicional que evacua el calor.

Cuando se trata de una estación de compresión de más de 30 kW de potencia, no basta la refrigeración por aire. Entonces los compresores van equipados de un sistema de refrigeración por circulación de agua en circuito cerrado o abierto. A menudo se temen los gastos de una instalación mayor con torre de refrigeración. No obstante, una buena refrigeración prolonga la duración del compresor y proporciona aire más frío y en mejores condiciones. En ciertas circunstancias, incluso permite ahorrar un enfriamiento posterior del aire u operar con menor potencia.

La potencia de nuestros compresores propuestos no sobre pasan los 2.2 KW de potencia, por lo tanto no se requiere de una estación de refrigeración por circulación de agua. La refrigeración del aire se hace por medio de aletas de refrigeración del mismo compresor.

7. DISEÑO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DEL AIRE COMPRIMIDO [14]

Para un correcto diseño de la red de distribución del aire comprimido es necesario tener en consideración parámetros como:

- Condiciones de diseño
- Presión del aire en la línea (Presión de operación del compresor)
- Caudal o gasto total a través de la línea
- Caída de presión admisible en la línea
- Tipo del material del tubo
- Longitud y diámetro interno de la tubería

7.1. Condiciones de diseño

Las tuberías requieren de seguimiento periódico con el fin de identificar y reparar fugas o deterioros existentes. Por lo tanto, al diseñar la red de aire se tiene cuidado al hacer el tendido de esta, buscando ubicarla en lugares accesibles que permitan su fácil manipulación.

Al diseñar la red principal, se la debe colocar con una inclinación descendente de 2 a 3 % en el sentido de circulación del aire para evitar que agua condensada regrese a la unidad compresora. Esta condición de diseño se realiza sin importar la presencia o no de un equipo de secado, el cual tiene como misión el filtrado de la humedad a través de la condensación del vapor de agua en la red. El agua condensada se evacúa al exterior a través de purgas colocadas en los puntos más bajos de la instalación.

Las derivaciones de tomas de aire de la red principal, se harán siempre por la parte superior (cuello de cisne) de la tubería.

7.2. Presión de operación

También es conocida como presión de suministro y es la presión máxima que entrega el compresor. Este parámetro influye a la hora de determinar el diámetro interno de la tubería. Cuando el compresor entrega la presión máxima provocará una mayor caída de presión en la red de distribución.

7.3. Máxima caída de presión admisible

La tabla 7.1 recomienda las caídas de presión admisibles según el Compendio de Aire Comprimido BOGE.

Tabla 7.1 Recomendaciones admisibles de caídas de presión

| Secciones individuales de la red | Δp admisible (bar) |
|---|--|
| Línea principal | 0.04 |
| Línea de distribución | 0.04 |
| Línea de servicio | 0.03 |

La caída de presión total en instalaciones fijas no puede sobre pasar 0.1 bar, desde la instalación del compresor hasta la línea de servicio que queda a mayor distancia en el sistema [14].

7.4. Caudal o gasto

También podemos conocerlo como volumen de flujo y se asume como el máximo caudal de aire que pasará por la tubería. Aumentar las pérdidas de presión tiene un gran impacto cuando los requerimientos de aire comprimido están al máximo.

7.5. Longitud efectiva de tubería

La longitud de tubería debe ser determinada con la mayor precisión posible. Accesorios y codos son inevitables en los sistemas de tuberías y para la determinación de la longitud efectiva se debe tomar en cuenta su longitud equivalente.

7.6. Tipos de redes de distribución de aire comprimido

Para llevar el aire comprimido hacia las zonas de consumo o al punto de trabajo se hace uso de las tuberías. Estas se pueden clasificar en principal, de distribución y de servicio, según su función.

7.6.1. Tubería Principal

Es la línea que conduce el aire comprimido desde el compresor hasta la(s) zona(s) de consumo. Debe tener la mayor sección posible para evitar pérdidas de presión ya que a menor diámetro de tubería mayor pérdida de presión. También se toma en consideración futuras ampliaciones de la red con su consecuente aumento de caudal.

7.6.2. Tubería de Distribución

Es la línea que distribuye el aire comprimido dentro del área de consumo. El caudal que por allí circula es el asociado a los elementos alimentados exclusivamente por esta tubería. También en el diseño se debe prever posibles ampliaciones en el futuro.

7.6.3. Tubería de Servicio

Es la que lleva el aire de la línea de distribución al punto de trabajo o consumo. Si las herramientas trabajan a presiones diferentes, se instala un regulador de presión. Sobre la línea de servicio se ubica la unidad de mantenimiento.

7.7. Materiales de la tubería de la red de aire comprimido [15]

Cuando en un sistema neumático la presión es bastante alta, las propiedades físicas y metalúrgicas de los materiales juegan un papel importante para su elección. En general, los sistemas neumáticos suelen trabajar a una presión mucho más baja que los sistemas hidráulicos. Por tal razón, es posible que no se requiera un material de alta resistencia para las tuberías.

La gama de materiales para la construcción de tuberías neumáticas es amplia. La tabla 7.2 muestra algunos de los materiales más usados y su presión máxima.

Tabla 7.2. Presiones nominales de los materiales para tubos (Manual BOGE)

| MATERIAL DEL TUBO | PRESIÓN MÁXIMA (BAR) |
|--------------------------|-----------------------------|
| Cobre | 250 |
| Aluminio | 125 |
| Latón | 200 |
| Acero inoxidable | 2500 – 4500 |
| Plásticos | 10 – 15 |
| Cauchos | 3 – 7 |

Algunos ítems que sirven para la elección del material adecuado son:

- Tipo de red de distribución
- Presión máxima que es capaz de soportar el material
- Resistencia a la corrosión: es una de las principales consideraciones a tomar en cuenta
- Máxima temperatura de operación: es el comportamiento de los materiales a la variación de la temperatura. En altas temperaturas pierden resistencia a la tensión y en bajas temperaturas pueden ser frágiles
- Bajos costos de instalación: Los costos de instalación puede reducirse utilizando prefabricados y conexiones rápidas
- Disponibilidad de accesorios

A continuación se presenta una breve descripción de los materiales que pueden ser utilizados, con sus ventajas y desventajas.

7.7.1. Tubería de cobre

Se utiliza cuando la red de aire comprimido presenta requerimientos especiales necesarios en hospitales, industrias químicas y en plantas de producción de alimentos.

Ventajas:

- Facilidad en la instalación
- Con una buena soldadura se asegura que no existan fugas
- Buena resistencia a la corrosión y oxidación

Desventajas:

- Costo alto
- Se requiere de personal experimentado en soldadura para el montaje

7.7.2. Tubería plástica

Tubería Plástica puede ser utilizada a una presión máxima de 12 bar con un rango de temperatura entre -20°C a 20°C.

Ventajas:

- Fácil de instalar
- La tubería es económica y se dispone de accesorios y válvulas para el montaje

Desventajas:

- El material no debe ser calentado
- No se debe instalar cuando el sistema presente vibraciones
- No debe ser utilizado como tubería entre el compresor y el tanque
- Confiabilidad baja

7.7.3. Tubería de acero inoxidable

La tubería de acero inoxidable es solamente utilizada en redes neumáticas que requieran un aire de alta calidad.

Comúnmente es utilizada en hospitales, industria alimenticia, industria química e industria farmacéutica.

Ventajas:

- Se puede utilizar en diámetros mayores
- Con una buena soldadura se asegura que no existan fugas
- Se dispone de accesorios y válvulas para el montaje

Desventajas:

- Se requiere de personal experimentado en soldadura para el montaje
- Costo alto

7.7.4. Tubería de acero al carbono – roscada

La tubería de acero al carbono, con extremos roscados para las conexiones son ampliamente utilizados en los sistemas neumáticos para transporte de aire sin una mayor calidad y comúnmente en diámetros exteriores menores a 168.28 mm (6 NPS, Nominal Pipe Size)

La tubería roscada puede ser sin recubrimiento o puede ser galvanizada. En sitios de alta humedad se recomienda la utilización de tubería galvanizada para evitar la corrosión.

Ventajas:

- La tubería roscada es económica
- El sistema es de fácil instalación. Los accesorios y válvulas que se utilizan para el montaje y desmontaje permiten una facilidad para modificaciones en la ruta y pueden ser rehusadas.

Desventajas:

- Las tuberías roscadas ofrecen una alta resistencia al flujo por las rugosidades de la pared interna de la tubería y por las discontinuidades en las uniones
- Se tiene probabilidades de fugas por las uniones
- Para la instalación se requiere de personal experimentado en montaje de este tipo de conexiones
- La tubería roscada sin galvanizar no es recomendable, por si no se dispone de un secador, ya que se oxidaría muy rápidamente por la humedad del aire

7.7.5. Tubería de acero al carbono – soldada

La tubería de acero al carbono es ampliamente utilizada en redes de tubería principales y de distribución. Este material puede ser utilizado con o sin tratamiento galvanizado. Requiere de soldadura para las conexiones, que pueden ser bridadas o soldadas.

Ventajas:

- Se puede utilizar en diámetros mayores
- Con una buena soldadura se asegura que no existan fugas
- La tubería es económica y se dispone de accesorios y válvulas para el montaje

Desventajas:

- Se requiere de personal experimentado en soldadura para el montaje
- La tubería soldada sin galvanizar no es recomendable para sistemas de aire que no disponga de un secador, ya que el material se oxidaría muy rápidamente por la humedad del aire

7.7.6. Selección de materiales para la red de tuberías

Mediante un análisis morfológico se determinará cual de los materiales propuestos es el más adecuado para la red de aire comprimido.

Tabla 7.3. Análisis morfológico para materiales de tubería neumática

| OPCIONES CONSIDERACIONES | MATERIALES PARA LA FABRICACIÓN DE TUBERÍAS | | | | |
|----------------------------------|--|-----------|------------------|-------------------------|-------------------------|
| | Cobre | Plástica | Acero inoxidable | Acero al carbón-roscada | Acero al carbón-soldada |
| Poca probabilidad de fugas | 5 | 3 | 5 | 4 | 5 |
| Buena resistencia a la corrosión | 4 | N.A. | 5 | 4 | 4 |
| Bajo costo | 4 | 5 | 3 | 4 | 4 |
| Mayor Pmax | 3 | 2 | 5 | 4 | 5 |
| Facilidad de instalación | 3 | 5 | 3 | 4 | 3 |
| No requiere de personal experto | 4 | 5 | 4 | 5 | 4 |
| Mayor flexibilidad | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 |
| TOTAL | 28 | 25 | 29 | 30 | 29 |

Se observa gran paridad entre los materiales, por algo todos son muy usados para la elaboración de tuberías neumáticas. Sin embargo, se decidió escoger 2 tipos de materiales según el tipo de red de distribución. Para la tubería principal y de distribución se escogió el acero al carbón-roscada y para la tubería de servicio se escogió los plásticos.

7.7.7. Argumentos para la elección de la tubería

7.7.7.1. Tubería Principal y de Distribución

Es muy frecuente, en el campo industrial, el uso del Acero al carbono-roscada galvanizada en este tipo de tubería. Es económica, maneja gran variedad de diámetros, tiene bajo dificultad con la corrosión y la presión máxima a soportar es alta en caso de alguna eventualidad. El material permite que sean tuberías de larga duración y no presenten problemas exteriores de oxidación. Las conexiones entre estas tuberías son a través de roscas helicoidales. Una desventaja es que para asegurar la unión entre sus piezas requiere del uso de aditivos como cinta teflón, y así evitar cualquier posible fuga. En general, cumple con los requerimientos necesarios para la red de aire comprimido.

Las tuberías de Acero inoxidable se usan principalmente en industrias alimenticias, farmacéuticas, químicas o en hospitales. Presenta grandes cualidades que se pueden observar en la sección 7.7.3 pero debido a su alto costo no es viable proponerla en nuestro estudio.

Las tuberías de Acero-soldadas son económicas pero su instalación es costosa debido a que su montaje es por soldadura. De ahí que se requiere de personal capacitado de soldadura. En instalaciones o plantas grandes su implementación es más común.

7.7.7.2. Tubería de Servicio

En muchos casos se escoge tuberías de plástico en las zonas de distribución y servicio debido a su flexibilidad y gran capacidad de absorción de choques. Se puede decir que las presiones máximas a soportar están en un rango aceptable teniendo en cuenta que la presión de trabajo es de 6 bar. Aunque no tienen problema con la corrosión, se debe tener especial cuidado con la temperatura del aire en su interior. Su principal punto a favor es que son tuberías bastante económicas y cumplen con los requerimientos mínimos de trabajo. Nunca se puede colocar tubería plástica entre el compresor y el tanque pulmón, ya que la temperatura afecta sus propiedades.

7.7.8. Código ASME B31.3

El código ASME regula u orienta el diseño, construcción, inspección y pruebas para equipos, entre otros, calderas y recipientes a presión. Su derivación B31.3 contempla el diseño de redes de tuberías para plantas de procesos.

Al seleccionar como material de fabricación para la tubería principal y de distribución al acero carbonado, nos remitimos al Apéndice A tabla A-1 para determinar el código que le corresponde a nuestro material seleccionado.

Se escoge la tubería con el código A-53 correspondiente al material Acero al carbono, negro o galvanizado, con o sin costura (ver anexo 2). Este cumple con todos los requerimientos de fluido y condiciones de servicio.

7.8. Diámetro interno de la tubería

El diámetro interno de la tubería juega un papel clave en la pérdida de presión en la red. Dichas pérdidas son compensadas con alta compresión. Sin embargo, esta medida depende de otros parámetros para su correcta elección. Algunos de estos parámetros que influyen en la determinación del diámetro son volumen de flujo, longitud efectiva de tubería, presión de operación y caída de presión.

La ecuación 7.1 permite calcular el diámetro interno de la tubería en función de los parámetros anteriormente mencionados.

$$di = \sqrt[5]{\frac{1.6 * Q^{1.85} * L}{10^7 * \Delta p * Pmax}} \quad (7.1)$$

Donde:

di: Diámetro interno de la tubería (m)

Q: Caudal volumétrico que entrega el compresor (m³/s)

L: longitud efectiva corregida (m)

Δp : Caída de presión (bar)

Pmax: Presión de operación del compresor (bar)

7.8.1. Cálculo del diámetro interno de tubería principal

De los tres tipos de tubería, solo fue posible calcular el diámetro para la línea principal, ya que no se conoce por el momento el diseño final de la máquina extrusora-sopladora y por lo tanto la localización exacta donde irá ubicado el pin de soplado.

La línea principal tiene una longitud de 3 m según el diseño preliminar de la red de aire comprimido y no se tendrá en cuenta las longitudes efectivas correspondientes a los accesorios instalados como codos y válvulas en la red de aire comprimido.

7.8.1.1. Marca Ingersoll Rand

Su caudal volumétrico a 8 bar es de 11.3 CFM correspondiente a 0.005333 m³/s. La caída de presión permisible para la línea de distribución es de 0.04 bar.

Aplicando la ecuación 7.1 tenemos:

$$di = \sqrt[5]{\frac{1.6 * 0.005333^{1.85} * 3}{10^7 * 0.04 * 8}}$$

$$di = \sqrt[5]{\frac{2.993 * 10^{-4}}{3200000}}$$

$$di = \sqrt[5]{9.353 * 10^{-11}}$$

$$di = 9.867 * 10^{-3}m \approx 9.867 \text{ mm}$$

(Diámetro interno de la tubería principal)

7.8.1.2. Marca BOGE

Su caudal volumétrico a 8 bar es de 10 CFM correspondiente a $0.004720 \text{ m}^3/\text{s}$.

$$di = \sqrt[5]{\frac{1.6 * 0.004720^{1.85} * 3}{10^7 * 0.04 * 8}}$$

$$di = \sqrt[5]{\frac{2.388 * 10^{-4}}{3200000}}$$

$$di = \sqrt[5]{7.462 * 10^{-11}}$$

$$di = 9.431 * 10^{-3} \text{ m} \approx 9.431 \text{ mm}$$

(Diámetro interno de la tubería principal)

7.8.1.3. Marca SFM

Para esta marca encontramos dos opciones

7.8.1.3.1. SFM 11.33 K-17

Su caudal volumétrico es de 11.33 CFM correspondiente a $0.005347 \text{ m}^3/\text{s}$.

$$di = \sqrt[5]{\frac{1.6 * 0.005347^{1.85} * 3}{10^7 * 0.04 * 8}}$$

$$di = \sqrt[5]{\frac{3.01 * 10^{-4}}{3200000}}$$

$$di = \sqrt[5]{9.406 * 10^{-11}}$$

$$di = 9.878 * 10^{-3}m \approx 9.878 \text{ mm}$$

(Diámetro interno de la tubería principal)

7.8.1.3.2. SFM 9.0 UB-20

Su caudal volumétrico es de 9 CFM correspondiente a 0.004248 m³/s

$$di = \sqrt[5]{\frac{1.6 * 0.004248^{1.85} * 3}{10^7 * 0.04 * 8}}$$

$$di = \sqrt[5]{\frac{1.965 * 10^{-4}}{3200000}}$$

$$di = \sqrt[5]{6.141 * 10^{-11}}$$

$$di = 9.071 * 10^{-3}m \approx 9.071 \text{ mm}$$

(Diámetro interno de la tubería principal)

7.8.2. Diámetro nominal NPS (Nominal Pipe Size)

Es un conjunto de tamaños estándar para tuberías a presión expresadas en pulgadas, normados por la ASA en los EE.UU. El mismo tamaño de la tubería se expresa en mm en Europa.

Las dimensiones de las tuberías se definen por la combinación por dos parámetros: el tamaño nominal del tubo (NPS) y las cédulas (SCH) que da información acerca de los espesores. Para un determinado NPS, el diámetro exterior permanece fijo y aumenta el espesor de las paredes.

- Los diámetros nominales intentan reducir la cantidad de diámetros a unos pocos equivalentes. Es una designación numérica de la dimensión que corresponde al número redondeado más aproximado al valor real del diámetro.
- Un diámetro nominal contempla varios espesores de pared de tubería, por lo que equivale a varios diámetros internos distintos de este.
- Para los diámetros nominales de $\frac{1}{8}$ a 12 pulgadas, el NPS y el diámetro exterior (OD) son distintos.
- A partir de 14 pulgadas, el diámetro nominal y exterior son iguales.

Una tabla de referencia NSP ofrece información acerca del diámetro nominal (DN), del grosor de la pared (SCH), del diámetro exterior (OD), entre otros datos.

Las cédulas presentan otras especificaciones como los tubos de pared estándar (STD), extra fuerte (XS), y doble extra fuerte (XXS). La tabla 7.4 presenta las asignaciones NPS para algunos diámetros nominales.

Tabla 7.4. Tabla de referencia NPS para SCH 40 con longitud de pared STD

| Nominal Pipe Size, in (NPS) | Diámetro Nominal, mm (DN) | Diámetro exterior, in (OD) | Espesor de pared, in | Diámetro interno, in |
|------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 1/8" | 6 | 0.405 | 0.068 | 0.269 |
| 1/4" | 8 | 0.540 | 0.088 | 0.364 |
| 3/8" | 10 | 0.675 | 0.091 | 0.493 |
| 1/2" | 15 | 0.840 | 0.109 | 0.622 |
| 3/4" | 20 | 1.050 | 0.113 | 0.824 |
| 1" | 25 | 1.315 | 0.133 | 1.049 |

7.8.2.1. NPS para el diámetro calculado

La tabla 7.5 compara los diámetros obtenidos para cada compresor y los diámetros internos según la tabla 7.4 y presenta la valoración NPS en cada caso.

Tabla 7.5. Asignación NPS para los diámetros calculados sin corregir

| MARCA | | Diámetro calculado, mm | Diámetro interno | | NPS |
|------------------|-------------------|-------------------------------|-------------------------|-----------|------------|
| | | | in | mm | |
| INGERSOLL | | 9.867 | 0.493 | 12.52 | 3/8" |
| BOGE | | 9.431 | 0.493 | 12.52 | 3/8" |
| SFM | 11.33 K-17 | 9.878 | 0.493 | 12.52 | 3/8" |
| | 9.0 UB-20 | 9.071 | 0.364 | 9.25 | 1/4" |

7.8.2.2. Argumentos de selección NPS para el diámetro

Aunque no se ha corregido el diámetro teniendo en cuenta la longitud efectiva de los accesorios que van en el diseño preliminar de la red de aire comprimido, este valor permite determinar un NPS aproximado de las tuberías.

El diámetro interno NPS propuesto debe ser mayor, a lo máximo igual, al diámetro interno calculado para garantizar condiciones mínimas de seguridad respecto al flujo de caudal y principalmente presión y caídas de presión.

Según lo observado en la tabla 7.5 los diámetros de tubería NPS para los diámetros calculados son:

- Para las marcas Ingersoll Rand, BOGE y SFM 11.33 K-17 la tubería a usar es A-53 de 3/8" cédula 40.
- Para la marca SFM 9.0 UB-20 la tubería a usar es A-53 de 3/8" cédula 40; el diámetro nominal se aumentó con el fin de evitar caídas en la presión.

Cabe aclarar que toda la propuesta esta basada en los requerimientos de caudal volumétrico y presión máxima de trabajo. Si el usuario, en vista de que planea utilizar el compresor en otras actividades que requieran más consumo, puede escoger un compresor más grande y por ende el diámetro nominal NPS aumentará. No se escoge un compresor más grande para nuestro estudio ya que como se dijo anteriormente, sería sub utilizado al no trabajar a su máxima eficiencia y sí conllevaría a un gasto superior de energía; no se quiere decir con lo anterior que el usuario no pueda escoger un compresor de mayor caudal si lo desea.

7.9. Causas de presiones bajas

Las principales causas para obtener presiones bajas en la red de aire comprimido son las siguientes:

- Tuberías inadecuadas
- Mangueras en mal estado
- Fugas excesivas
- Generación insuficiente

7.10. Fugas

Las fugas en sistemas de aire comprimido en la mayoría de los casos pasan desapercibidas. Por lo que se hace difícil identificar en que tramos o uniones se presentan estas. Tener fugas en una red de aire comprimido es inevitable, y no llaman la atención cuando estas representan un máximo de 5% de la demanda de la planta.

Para reducir el porcentaje de las fugas de una red de aire comprimido se recomienda:

- Un programa de mantenimiento preventivo y predictivo permanente sobre los accesorios que comprenden la red de aire comprimido
- Reemplazo de válvulas y accesorios por deterioro
- Utilizar acoples de manguera en buen estado y de buena calidad
- Reducir el número de accesorios que componen la red de aire comprimido
- Eliminar condensado de la red de aire comprimido, así como partículas sólidas que aumenten el deterioro de los accesorios (filtros, lubricador, válvulas, etc.)

Las fugas en un sistema de aire comprimido se pueden obtener cerrando todos los puntos de utilización, y en distintos períodos de tiempo registrar flujos y variaciones de presión en el recipiente a presión o tanque pulmón.

7.11. Conexión de redes y dispositivos neumáticos

Para realizar la conexión entre cada una de las piezas que conforman la red de aire comprimido se usa las roscas de superficie helicoidal. Las roscas pueden ser macho o hembra dependiendo de cual pieza entra en la otra. Para nuestro interés, la red de tuberías irá sujeta a la rosca macho, mientras que la rosca hembra hace parte del dispositivo neumático a conectar u otros elementos como codos y tees.

7.11.1 Características para identificar una rosca

Se debe considerar una serie de características propias de las roscas para identificarlas y seleccionarlas adecuadamente según nuestra necesidad. Algunas características que nos ayudan a identificarlas son:

7.11.1.1. Forma de la rosca

Se refiere al perfil que esta tiene teniendo en cuenta el puerto del dispositivo neumático. Son de 2 tipos, cónicas y paralelas o cilíndricas (figura 7.1.).



Figura 7.1. Roscas paralelas y cónicas

7.11.1.2. Paso de la rosca

Es la distancia que existe entre cresta y cresta (figura 7.2.).

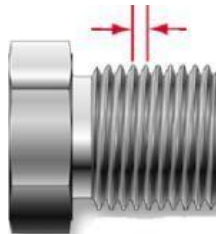


Figura 7.2. Paso de la rosca

7.11.1.3. Diámetro externo (OD)

Distancia desde el extremo de una cresta hasta el otro extremo (figura 7.3.).

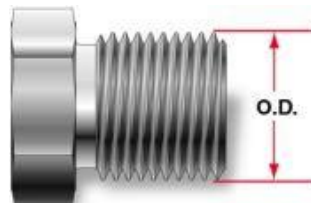


Figura 7.3. Diámetro externo

7.11.1.4. Hilos por pulgada

Es el número de espirales contenidos en cierta distancia (figura 7.4.). Como una de las unidades con las cuales están estandarizadas las medidas de tubería es la pulgada, la unidad para expresar esta característica es TPI (Threads Per Inch). Esta unidad da información de cuantos hilos hay en 1" de longitud.

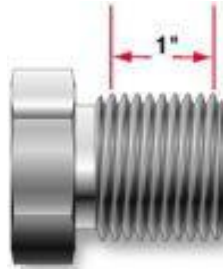


Figura 7.4. TPI (Hilos por pulgada)

7.11.1.5. Ángulo de flanco y conicidad

El ángulo de flanco es el ángulo formado por dos crestas consecutivas. El ángulo de conicidad es el ángulo formado por la paralela de la rosca y la línea que sigue el perfil (figura 7.5.).

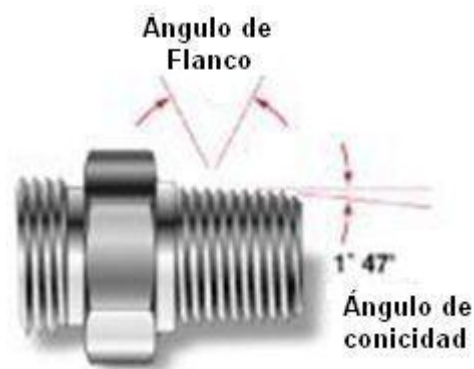


Figura 7.5. Ángulo de flanco y ángulo de conicidad

7.11.2. Normas de estandarización para roscas

Existen en el mercado diferentes normas técnicas que agrupan las roscas. Cada una de estas normas estandariza las medidas de las características de estas. Las normas más conocidas son la NPT y la BSP; en nuestro medio se usa la BSP.

7.11.2.1. Norma NPT

Viene del inglés National Pipe Threads, y es una norma técnica estadounidense que estandariza las roscas de tipo cónico. También es conocida como “roscas americanas cónicas para tubos”.

Los diámetros nominales (DN) más habituales son desde 1/8” hasta 2”. El número de hilos en una pulgada pueden ser 11.5, 12, 14, 16, 18, 20, 24 y 27.

Para identificar una rosca se tiene en cuenta el DN, el TPI y posteriormente el tipo de norma. Por ejemplo, una rosca 1/4–18 NPT, es una rosca de diámetro nominal 1/4, con 18 hilos por pulgada y de tipo cónica.

La rosca macho se refiere de varias formas como MPT, MNPT o NPT(M). La rosca hembra se refiere de varias formas como FPT, FNPT o NPT(F).

7.11.2.2. Norma BSP

British Standard Pipe, es una de las normas europeas que estandariza los tamaños de las roscas tanto de tipo cónico como paralelas. Para la cónica se refiere a BSPP y para la paralela se refiere a BSPT. Las roscas macho son de referencia BSPP Y BSPT, las roscas hembra son referencia BSPP y poco frecuente BSPT.

De igual manera, los diámetros nominales siguen siendo 1/8”, 1/4”, 3/8”, 1/2”, 3/4”, 1”, entre otros. El número de hilos por pulgada pueden ser 11, 14, 19 y 28.

Para identificar una rosca se tiene en cuenta el DN, el TPI y posteriormente el tipo de norma. Por ejemplo, una rosca 3/8–19 BSPT, es una rosca de diámetro nominal 3/8, con 19 hilos por pulgada y de tipo cónica.

Según la norma ISO 228-1, la letra G describe una rosca cilíndrica y la letra R describe una rosca cónica. Así entonces, la rosca 3/8-19 BSPT queda referencia según ISO como R1/8.

7.11.2.3. Combinaciones macho-hembra [16]

➤ Hembra BSPP – Macho BSPP

En este caso, el macho entra hasta el fondo de la pieza hembra, incluso con la mano es posible enroscar a fondo. Algo así como un tornillo y su tuerca. Los hilos de la rosca solo aseguran la unión física pero no eliminan las fugas. El fluido puede deslizarse por la rosca. Para asegurar la unión es necesario usar una junta plana, tórica o cinta de teflón.

➤ Hembra BSPP – Macho BSPT

La diferencia de diámetros evita que el macho entre hasta el fondo, pues llega un momento en el que los hilos del macho literalmente tropiezan con los hilos hembra. Curiosamente, este tropiezo es el que asegura la unión y evita las fugas. Solo podremos enroscarlo con la mano unas pocas vueltas y llegado al tope, usaremos una llave para apretar una o dos vueltas adicionales. Estas vueltas son las que eliminan las fugas. Sin embargo, se sigue aconsejando usar dos o tres vueltas de teflón, pues actúa de lubricante evitando el gripado y elimina cualquier posible fuga.

En conclusión, la rosca macho BSPP conecta solo con roscas hembra BSPP (figura 7.6.). La rosca macho BSPT conecta con las roscas hembra BSPP y BSPT, aunque esta última es poco frecuente en nuestro medio [16].

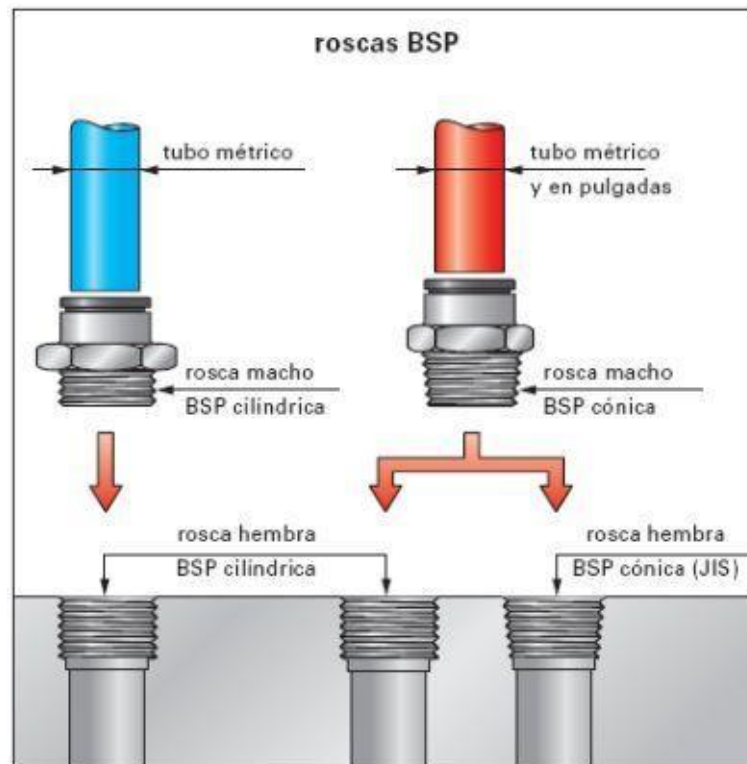


Figura 7.6. Combinaciones BSP

8. IDENTIFICACIÓN DE COMPONENTES Y SELECCIÓN EN LA UNIDAD DE TRATAMIENTO DE AIRE COMPRIMIDO

Es sabido que el aire comprimido es utilizado ampliamente en todo tipo de industrias como una fuente de energía, ya que presenta múltiples ventajas como que es segura, económica, fácil de transmitir y adaptable. Sin embargo, al ser tomado del ambiente contiene impurezas que pueden llegar a ser perjudiciales ya que deterioran rápidamente equipos, herramientas y accesorios que componen el sistema de aire comprimido. Dichas impurezas también pueden afectar los acabados finales del cuerpo hueco que se obtuvo por la técnica de moldeo por soplado.

Las impurezas que se encuentran en el aire atmosférico son variadas, entre las más importantes, vapor de agua y polvo. Al ser comprimido dicho aire por piezas mecánicas, se introducen posiblemente otro tipo de impurezas como el óxido y el aceite, este último procedente de la lubricación del compresor.

El vapor de agua origina un desgaste prematuro en los componentes neumáticos produciendo partículas de óxido en las tuberías de distribución. Las impurezas sólidas ocasionan un deterioro de las juntas y las partes móviles de los componentes.

Una recomendación para evitar el acceso de partículas grandes al compresor es ubicarlo en lo posible en lugares limpios, libre de pulidoras, lijadoras, etc. Sin embargo, para una mayor garantía de aire libre de partículas, se utiliza un filtro a la entrada del compresor.

Para contrarrestar los efectos, como formación de óxidos y burbujas, que hace la humedad sobre las herramientas neumáticas, la red de distribución de aire comprimido y sobre el mismo cuerpo hueco, se utiliza secadores como método de eliminación de condensados de agua.

8.1. Calidad y tratamiento de aire comprimido

La calidad del aire comprimido es uno de los factores más importantes en el proceso de moldeo por soplado, ya que determina los acabados del cuerpo hueco. La humedad, los óxidos o el polvo pueden generar problemas en la textura del envase como rugosidades, burbujas y decoloración en ciertos puntos.

Es decisivo para los acabados finales del producto realizar un adecuado tratamiento del aire comprimido, con el fin de eliminar los condensados e impurezas presentes en éste. Una buena calidad del aire comprimido disponible para el consumo por parte de las herramientas neumáticas, incrementa su vida útil.

8.2. Calidad del aire requerida para la etapa de soplado

Dependiendo del uso que se le vaya a dar al aire comprimido y de los equipos que harán uso de el, se determina el correcto tratamiento de aire a realizar.

La calidad del aire, por efectos de experiencia, se ha clasificado en función del contenido de aceite, de impurezas y de agua. La norma ISO 8573-1:2001 realiza esta clasificación presentada en la tabla 8.1.

Tabla 8.1. Tipos de clases de calidad de aire conforme a ISO 8573-1:2001 [17]

| Clase | Contenido máximo de impurezas sólidas | | | Contenido máximo de agua | |
|-------|---|--------------------------|--|--------------------------|--------------------------|
| | Contenido máximo de aceite (mg/m ³) | Tamaño de partícula (µm) | Densidad de partícula (mg/m ³) | Contenido de agua | Punto de rocío a presión |
| 1 | 0.01 | 0.1 | 0.1 | 0.003 | -70 |
| 2 | 0.1 | 1 | 1 | 0.117 | -40 |
| 3 | 1 | 5 | 2 | 0.88 | -20 |
| 4 | 5 | 15 | 8 | 5.953 | +3 |
| 5 | 25 | 40 | 10 | 7.732 | +7 |
| 6 | - | - | - | 9.356 | +10 |

La función del aire comprimido es el de insuflar material termoplástico. En este caso, la calidad de aire debe ser alta, limpio de impurezas, seco y libre de aceite para evitar las imperfecciones en la superficie externa o interna del recipiente. Podemos decir que se requiere aire de clase 2.

8.3. Filtro de admisión de aire atmosférico [18]

Podemos decir que es la primera etapa de filtrado que se realiza al aire aspirado por el compresor (figura 8.1.). Su finalidad es más que entendida y es evitar el paso de impurezas de tamaño considerable al compresor, ya que éstas pueden ser causantes de obstrucciones o como mínimo rayado de los cilindros. Las partículas muy pequeñas del orden de 2 a 5 micras no se pueden eliminar.

Sin importar que tan limpio sea el aire aspirado, siempre debe aplicarse este filtrado. Es indispensable mantener el filtro en condiciones óptimas de limpieza y una manera de seguir este estado, es instalando un medidor de caída de presión en el filtro.

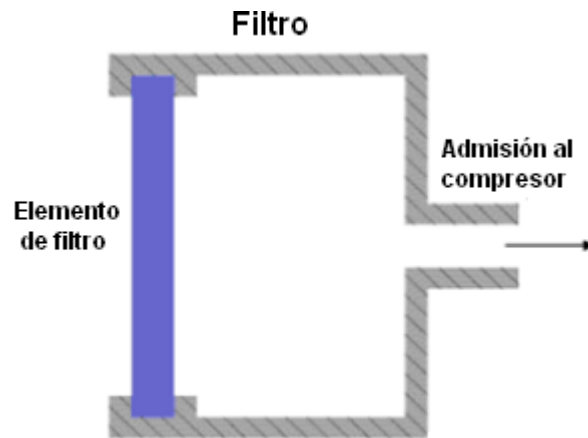


Figura 8.1. Filtro de admisión

Cuando las circunstancias así lo requieran se deberá disponer de un silenciador en la admisión de aire con el fin de disminuir el nivel sonoro producido cuando el aire entra al compresor.

8.4. Secado del aire comprimido

Debido a los efectos negativos que provoca el condensado en las instalaciones neumáticas se hace necesario la presencia de purgas tanto en el recipiente de almacenamiento de aire comprimido como en la red de distribución. En los casos en donde la presencia de humedad sea considerable o se requiera un aire muy depurado, se recomienda la utilización de secadores en frío que permiten reducir el contenido de agua en el aire hasta 0.001 g/m^3 .

Recordemos que algunos conceptos importantes:

- La *humedad absoluta* es la cantidad de vapor de agua por unidad de volumen de aire ambiente (g/m^3 , generalmente)
- La *humedad relativa* es la relación porcentual entre la cantidad de vapor de agua real que contiene el aire y la que necesitaría contener para saturarse a idéntica temperatura
- El *punto de rocío* (PR) o *temperatura de rocío* es la temperatura a la que empieza a condensarse el vapor de agua contenido en el aire, produciendo rocío, neblina o, en caso de que la temperatura sea lo suficientemente baja, escarcha. Cuando el aire se satura (humedad relativa igual al 100%) se llega al punto de rocío. No se producirá condensación si la temperatura del aire se mantiene por encima del PR.

8.4.1. Secado por absorción

El secado por absorción es un procedimiento exclusivamente químico. El aire comprimido es obligado a pasar a través de un lecho de una sustancia higroscópica, la cual absorbe la humedad del mismo. En cuanto el agua o vapor de agua entra en contacto con dicha sustancia, se combina químicamente con esta y se desprende como mezcla de agua y sustancia secante (figura 8.2.). La sustancia química son pastillas de *cloruro de calcio* o de *litio*.

Las principales características del secado por absorción son:

- Instalación simple
- Baja calidad de aire
- Temperatura máxima de ingreso 30°C
- Humedad relativa 60-65%

- Bajo costo
- Punto de rocío 5°C

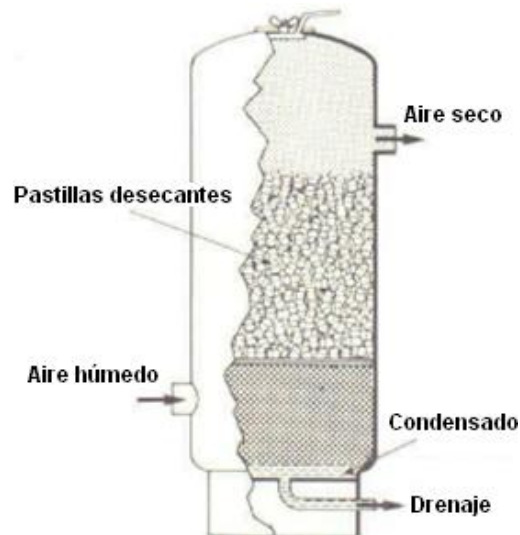


Figura 8.2. Secador de absorción

8.4.2. Secado por adsorción

El secado por adsorción es un proceso físico que consiste en la fijación de moléculas de agua en la estructura de una sustancia llamada Gel. El material de secado es granuloso con cantos vivos o en forma de perlas y se compone de casi un 100% de *dióxido de silicio*. El aire comprimido húmedo se hace pasar a través del lecho de gel, que adsorbe la humedad. La capacidad adsorbente del lecho de Gel es limitada pero si está saturado, se regenera de forma simple. A través del soplador se seca aire caliente, que absorbe la humedad del material secado (figura 8.3.).

Las principales características del secado por adsorción son:

- Temperatura máxima de ingreso 40°C

- Temperatura de punto de rocío -20°C a -40°C
- Alta calidad de aire
- Costo alto
- Humedad relativa 60 a 85%

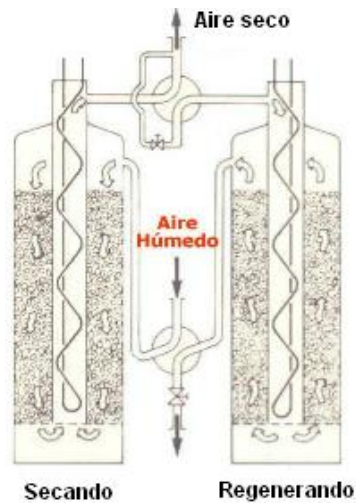


Figura 8.3. Secador por Adsorción

8.4.3. Secado en frío

Los secadores de aire comprimido por enfriamiento se basan en el principio de reducción de la temperatura del punto de rocío. El aire a menor temperatura es capaz de retener menor cantidad de vapor y esta propiedad se aprovecha para el secado de aire por efecto de sistemas de refrigeración.

El aire comprimido húmedo y caliente pasa primero por un pre enfriador (*intercambiador de calor aire-aire*) con el fin de bajar su temperatura mediante aire seco y frío proveniente del *vaporizador*. El condensado de aceite y agua se evacua del intercambiador de calor a través del separador.

Luego, el aire pre enfriado ingresa al grupo frigorífico (vaporizador) y se enfría aún más, con el fin de que el aire no contenga la cantidad de vapor de agua original (PR). En esta etapa se elimina por segunda vez el agua y aceite condensados. El aire enfriado y ahora "seco" sale del *secador* que será aprovechado en el intercambiador de calor aire-aire.

Las principales características de secado en frío son:

- Alta calidad del aire
- Costo alto
- Mantenimiento reducido
- Baja pérdida de carga
- Humedad relativa 60 a 75%
- Temperatura máxima de ingreso 40°C

La figura 8.4 ilustra el proceso de secado en frío.

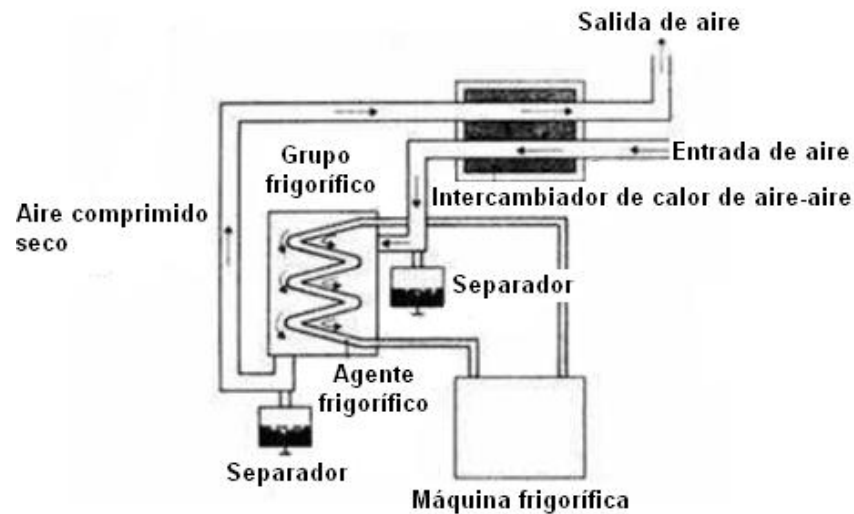


Figura 8.4. Secado en frío

8.5. Tratamiento final del aire comprimido

La unidad de tratamiento final del aire comprimido (figura 8.5.), llamada también unidad de *mantenimiento FRL* (Filtro, regulador de presión y lubricador), y su función es acondicionar el aire antes de ser usado por la herramienta neumática.

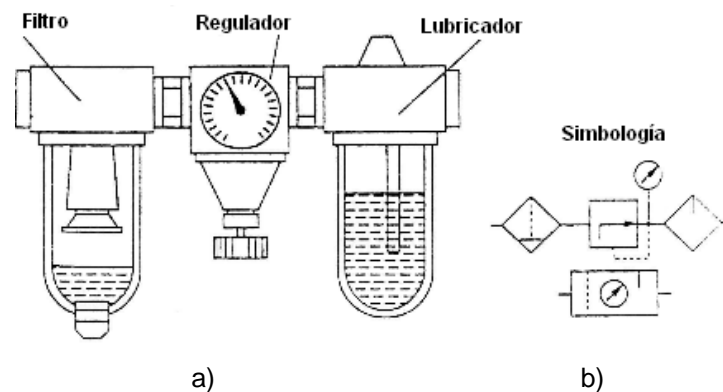


Figura 8.5. a) Unidad de mantenimiento y b) Símbolo

Esta unidad de mantenimiento depende del elemento neumático al cual acompaña. En el caso de que el elemento no requiera lubricación, esta unidad se reduce a una FR (Filtro-Regulador).

8.5.1. Filtro

Cumple la función de filtrado de partículas sólidas de hasta dos micras por medio de un elemento filtrante, fabricado principalmente de latón, bronce sinterizados u otros materiales. Su otra función es condensar el vapor de agua presente en el aire que pasa por él. Unas guías en zigzag aceleran el aire lanzando centrifugado contra la pared. El vapor de agua es condensado y recogido en el fondo del vaso, junto con partículas más grandes. Las partículas más finas restantes se mueven con el aire y son retenidas por el elemento filtrante (figura 8.6.).

Los drenos son dispositivos fijados en la parte inferior del vaso y sirven para eliminar el condensado e impurezas. Pueden ser manuales donde prima la intervención humana o automáticos ideal para lugares de difícil acceso.

El vaso puede ser fabricado de policarbonato transparente, propio para hacer seguimiento del filtro, o Zamac (contenido metálico). El primer material es de altísima resistencia mecánica y apropiado para ambientes industriales. El segundo material es usado en ambientes donde el policarbonato no puede ser usado.

- A. Dreno manual
- B. Deflector inferior
- C. Vaso
- D. Deflector superior
- E. Entrada de aire
- F. Filtro
- S. Salida

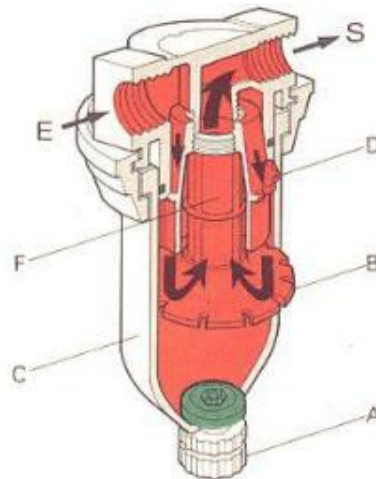


Figura 8.6. Filtro

Las consideraciones para seleccionar adecuadamente el filtro son:

- La capacidad nominal del elemento filtrante
- La capacidad de flujo
- La presión nominal del filtro
- El material del tazón
- El tipo de drenaje

8.5.1.1. Principales partículas contaminantes del aire comprimido [19]

Las partículas que causan mayores problemas en la red de aire comprimido son el agua, el aceite y las sólidas. Las partículas de agua en suspensión en el aire comprimido varían de tamaño de 0.05 a 10 μm . La mayoría de partículas de aceite en suspensión generadas por los compresores poseen un tamaño igual o inferior a 2 μm . Las partículas correspondientes a óxidos o fragmentos del conducto presentan tamaños de 0.5 a 5 μm .

Los filtros convencionales de filtración nominal de 5 micras tienen un límite mínimo de remoción hasta 2 μm . Cerca de un 80 % de los contaminantes en suspensión son inferiores a los 2 μm . Para poder proteger las herramientas neumáticas de estos contaminantes, se utiliza un filtro de mayor capacidad nominal de filtrado como el *filtro coalescente*.

8.5.1.2 Filtro coalescente

Estos filtros son capaces de remover por encima de 99.9% todas las partículas en suspensión mayores a 0.3 μm ; estos se conocen como *filtros coalescentes de porosidad estándar grado 6*. Debido a esta cualidad puede retener partículas sólidas de gran tamaño que ocasionan obstrucción o saturación del filtro. Por lo anterior, se recomienda el uso de filtros convencionales antes del filtro coalescente.

Generalmente, no es recomendable habilitar una filtración más fina de la estrictamente necesaria, dado que cuanto más fina sea la filtración, mayor será la cantidad de suciedad atrapada por el elemento de filtraje. Consecuencia de lo anterior es que el filtro se bloqueará más rápidamente, produciendo pérdidas de presión.

8.5.2. Regulador de presión

La válvula reguladora (figura 8.7.), reduce la presión de la red al nivel requerido por el elemento neumático y lo mantiene constante aunque existan variaciones en el consumo. En la práctica, esta válvula es una válvula reductora de presión.

En su funcionamiento, la presión de salida es regulada por una membrana que está sometida por un lado a la fuerza de un resorte accionado por un tornillo y por el otro, a la ejercida por la propia presión de salida. Si la presión de salida aumenta debido a la disminución de caudal, la membrana se comprime y la válvula de asiento se cierra. En el caso contrario, la válvula de asiento se abre y permite el paso de aire procedente de la red. Si se reduce la tensión del muelle, el exceso de aire en la salida sale al exterior por el orificio de escape, aunque hay construcciones en las que este orificio no existe.

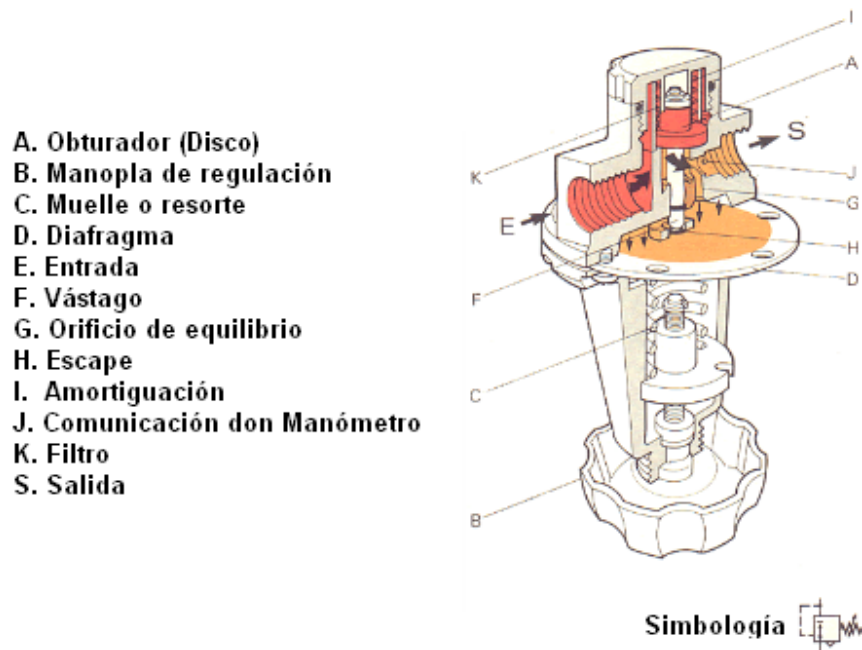


Figura 8.7. Regulador de presión

Las consideraciones a tener en cuenta para la selección adecuada del regulador de presión son:

- Presión nominal de presión
- Rango controlado corriente abajo
- Capacidad de flujo
- Tiempo requerido de respuesta
- Capacidad de alivio
- Tipo de ajuste

8.5.3. Lubricador

El lubricador (figura 8.8.) tiene la misión de lubricar los elementos neumáticos que van a ser alimentados por la unidad FRL. El aceite asciende a la parte superior del lubricador por efecto Venturi y cae en la corriente de aire, que lo nebuliza y lo trasporta a la instalación. El lubricante previene un desgaste prematuro de las piezas móviles, reduce el rozamiento y protege los elementos contra la corrosión.

- Vaso
- Membrana
- Venturi
- Entrada
- Canal de comunicación
- Tubo pescador
- Válvula de retención
- Válvula de control de flujo
- Tubo de elevación
- Orificio de reposición de aceite
- Salida

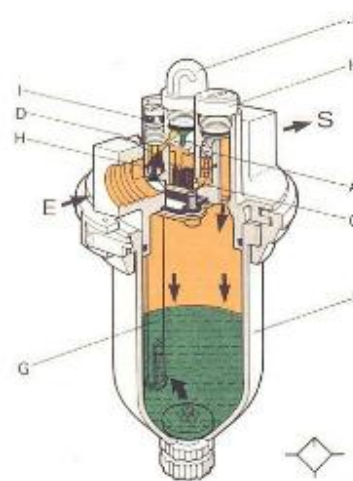


Figura 8.8. Lubricador

8.6. Equipos y accesorios para el tratamiento del aire

La preparación del aire comprimido es parte fundamental de cualquier proceso neumático ya que garantiza un suministro de aire libre de impurezas que pueden afectar el proceso industrial que requiere del consumo de dicho aire.

La calidad del aire comprimido y el tipo de proceso para el que se va a usar, dicta las condiciones mínimas para escoger los equipos adecuados que realicen el acondicionamiento requerido.

Para el estudio presente, se requiere inicialmente de aire comprimido de calidad tipo 2 según tabla 8.1. De acuerdo a estas necesidades de calidad de aire indicadas anteriormente, se enumeran los equipos a utilizarse.

Tabla 8.2. Descripción de equipos usados en el tratamiento de aire

| ÍTEM | ACCESORIOS/EQUIPO | USO |
|------|---|--|
| 1 | Filtro de admisión | Se encarga de filtrar a la entrada del compresor partículas sólidas de aproximadamente 5 μm . |
| 2 | Secador | La función del secado será reducir el nivel de humedad del aire comprimido. Usualmente se instala en la línea de distribución. |
| 3 | Filtro de partículas o filtro de línea convencional | Tiene la función purificar el aire que sale del tanque hasta una calidad adecuada para el promedio de aplicaciones (2 a 5 μm). |
| 4 | Unidad de mantenimiento de aire (FRL) | Tiene la función de acondicionar el aire comprimido que será utilizado por la herramienta neumática. Se instala en la línea de servicio. |

8.6.1. Secado del aire

En el proceso de moldeo por soplado se requiere un aire comprimido de alta calidad, con baja humedad, lo que implica la implementación de un método de secado con el fin de reducir la humedad a la mínimamente requerida.

En la sección 8.4 se presentan 3 métodos diferentes para el secado del aire comprimido. El secado en frío es recomendable en los casos en donde la presencia de humedad sea considerable o se requiera un aire muy depurado. Por el tipo de aire que se requiere no se considera como opción de propuesta, además de su alto costo de implementación.

El secado por adsorción o por absorción cumplen con nuestra necesidad de secado del aire comprimido. Mediante un análisis morfológico escogeremos el método más viable para nuestra necesidad.

8.6.1.1. Análisis morfológico

La tabla 8.3 presenta el análisis morfológico para la elección del método de secado. Como son dos opciones a calificar, la mínima calificación será 1 y la máxima será 2.

Tabla 8.3. Análisis morfológico para método de secado

| METODO | ABSORCION | ADSORCION |
|--|------------------|------------------|
| CONSIDERACIONES | | |
| Temperatura máxima de ingreso del aire | 1 | 2 |
| Humedad relativa máxima | 1 | 2 |
| Facilidad de instalación | 2 | 1 |
| Menor costos de adquisición | 2 | 1 |
| Reducido desgaste mecánico | 2 | 2 |
| Menor uso de energía exterior | 2 | 1 |
| Mayor calidad del aire comprimido | 1 | 2 |
| TOTAL | 11 | 11 |

Se observa claramente que ambos métodos de secado son iguales desde el punto de vista valorativo. Sin embargo, cada uno es fuerte con respecto al otro en ciertas consideraciones.

El método de absorción tiene la ventaja de ser económico, de fácil instalación y cumplir con los requerimientos mínimos de secado para un proceso industrial. A su salida requiere de un filtro que elimine partículas de sal que arrastra el aire. Su dificultad es que periódicamente se debe estar renovando (2 a 4 veces por año) la sustancia desecante debido a que con el tiempo el producto higroscópico se “desvanece”.

El método de adsorción tiene la ventaja de ofrecer un aire seco de mayor calidad respecto a su humedad y el material desecante no necesita ser renovado

constantemente (cada dos años aproximadamente). Su desventaja es que es un método costoso y la regeneración puede darse usando parte del aire seco o por medio de calefactores eléctricos, que en ese caso resulta costos energéticamente.

8.6.1.2. Argumentos del análisis morfológico

En la actualidad, los procesos industriales requieren de grandes consumos de aire comprimido, por lo tanto los métodos de secado más utilizados son los de secado en frío y por adsorción. Para procesos que requieren un consumo mucho menor, como el de nuestro caso, el método usado es el secado del aire por absorción. Este ofrece las garantías de secado óptimas y no requiere de consumo energético, lo que lo hace económico desde el punto de vista adquisitivo y operacional.

8.6.1.3. Modelo del secador por absorción

Existen gran cantidad de marcas y modelos que pueden cumplir sin ninguna dificultad el secado del aire. Se escogió el modelo DD15-03 de la marca PARKER el cual cumple con las condiciones de diseño de la red de aire comprimido.

Algunas de sus características por la cual fue elegido después de una extensa observación de modelos y marcas son:

- Su diseño es compacto comparado con otros secadores
- Presta un servicio fácil y rápido
- Mirilla en el recipiente para controlar desecante
- No requiere consumo energético
- Baja caída de presión
- Presión máxima de operación 21 bar

Se requiere instalar antes de este un filtro de partículas para protegerlo de posibles obstrucciones. La hoja técnica de este secador se puede observar en el anexo.

8.6.2. Modelos de filtro de línea (filtro de partícula)

Su ubicación será antes del secador, con el fin de protegerlo de posibles obstrucciones por parte de partículas sólidas de gran tamaño. Para escoger el modelo de filtro de partículas se tuvo en cuenta las siguientes consideraciones:

- La capacidad nominal del elemento filtrante: 5 µm
- La capacidad de flujo: 9 a 11.11 CFM, correspondientes a los caudales suministrados por los compresores propuestos anteriormente
- La presión nominal del filtro: 8 bar
- El material del tazón: Policarbonato transparente o aluminio
- El tipo de drenaje: manual o automático
- Diámetro nominal NPS: 3/8"

Con base en las consideraciones anteriores, se encontró en el mercado gran variedad de filtros de línea que pudieron ser opciones adecuadas para realizar el filtrado del aire comprimido, cumpliendo con las exigencias deseadas de calidad conforme a ISO 8573-1:2011. Las marcas fabricantes se disputan el mercado ofreciendo productos más estéticos y eficientes.

Se presenta nuevamente a consideración del usuario 3 propuestas de filtro de línea de las marcas BOGE, Ingersoll Rand y Parker Hannifin Corporation.

8.6.2.1 Marca BOGE

El filtro de partículas seleccionado es el BOGE V 12; la hoja técnica de esta serie se encuentra en el anexo 3. Las características más relevantes de este compresor son:

- Rendimiento: 70 m³/h (1.17 m³/min)
- Conexión: BSP G 3/8"
- Peso: 1.5 Kg
- Eficiencia de filtrado: 99.99 % en referencia a partículas de 3 µm.
- El vaso no viene en policarbonato transparente
- Con manómetro de presión diferencial

8.6.2.2. Marca Ingersoll Rand

De esta marca, el modelo propuesto de la serie ARO-Flo 1500 modelo F352C1-410; el cuadro comparativo de filtros de esta serie se encuentra en el anexo 3.

Algunas características de este filtro son:

- Caudal volumétrico: 107 CFM (3.03 m³/min)
- Conexión: BSP 3/8" (G o R)
- Peso: 0.54 Lb (0.24 Kg)
- Capacidad nominal del elemento filtrante: 5 µm
- Material del tazón: Policarbonato o Aluminio
- Tipo de drenado: Manual

8.6.2.3. Marca Parker

El modelo propuesto es el 05F24BAX (hoja técnica anexo 3). Algunas de sus características más relevantes son:

- Caudal volumétrico: 70 CFM (1.98 m³/min)
- Conexión: NPT 3/8"
- Peso: 0.54 Lb (0.24 Kg)
- Capacidad nominal del elemento filtrante: 5 µm
- Material del tazón: Cualquier material
- Tipo de drenado: Drenaje por giro

8.6.3. Unidad FRL

Con los equipos de secado y pre filtrado se consigue acondicionar de buena forma el aire a utilizar; sin embargo, se hace necesario realizar un último esfuerzo de filtrado con el fin de alcanzar las condiciones óptimas de calidad en el aire. De ahí la importancia de esta unidad FRL antes del elemento neumático.

Este aire debe estar libre de aceite, por lo cual no es necesario que esta unidad tenga la etapa de lubricación. Al descartarla nos queda la unidad FR. Como en la sección 6.2 se presentan 3 propuestas de unidades FR, para las marcas BOGE, Ingersoll Rand y Parker Hannifin Corporation.

Las consideraciones para seleccionar el modelo adecuado para cada marca son:

- La capacidad nominal del elemento filtrante: < 5 µm
- La capacidad de flujo: 9 a 11.11 CFM, correspondientes a los caudales suministrados por los compresores propuestos anteriormente

- La presión nominal de la unidad FR: 8 bar
- El tipo de drenaje: manual o automático
- Diámetro nominal NPS: 3/8"

8.6.3.1. Marca BOGE

Para esta marca los filtros, reguladores y lubricadores vienen en forma modular, permitiendo las combinaciones deseadas. La opción propuesta por el estudio es ubicar un micro filtro BOGE y contiguo a el, un regulador de presión de la misma marca.

Además, BOGE ofrece la opción correspondiente a la versión compacta (combinada) de filtro/regulador.

8.6.3.1.1. Versión compacta

En los catálogos de BOGE este dispositivo no aparece con ningún modelo específico. Solo aparece como "Aparato combinado con manómetro". Algunas características relevantes de este dispositivo son:

- Capacidad nominal del elemento filtrante: cartucho filtro/regulador de 5 y 30 μm dependiendo de gusto del usuario.
- Conexión: BSP G 3/8"
- Caudal nominal para 10 bares: 3 m^3/min
- Presión secundaria y caída de presión: 6 y 1 bar, respectivamente
- Dimensiones: 20.3 x 4.8 (Al x An, cm)

La razón principal por la cual este dispositivo no es recomendado en este estudio es que su capacidad nominal de filtrado es de 5 μm , con los cuales no mejora el

filtrado en esta etapa con respecto al pre filtrado que se sugiere en la sección 8.6.2.

8.6.3.1.2. Versión propuesta

Esta opción se caracteriza por la excelente eficiencia de filtrado. Se propone un micro filtro FP y en seguida un regulador de presión. El micro filtro tiene la capacidad de remover partículas sólidas de pequeños tamaño junto con el presente en el aire comprimido. El modelo de micro filtro seleccionado es el FP 12.

Las características más relevantes del micro filtro son:

- Rendimiento: 70 m³/h (1.17 m³/min)
- Conexión: BSP G 3/8"
- Peso: 1.5 Kg
- Eficiencia de filtrado: 99.99999 % de las partículas de 0.01 µm y 0.01 mg/m³ de aceite residual.
- Con manómetro de presión diferencial

La tabla comparativa de micro filtros se puede consultar en el anexo 3.

El regulador de presión de la marca BOGE es genérico y soporta una presión máxima de 25 bar. Su construcción también es modular compacta, permitiéndole poderse agregar a otros dispositivos. Maneja un caudal nominal para 10 bar de 3.2 m³/min (ver anexo 3).

8.6.3.2. Marca Ingersoll Rand

De igual manera que para la marca BOGE, en esta empresa el filtro y el regulador vienen en forma modular para poder realizar las combinaciones deseadas. También ofrecen la versión compacta filtro/regulador.

En este estudio se propone la opción compacta correspondiente al modelo P392C3-100 Piggyback 1500 de la serie ARO (ver hoja técnica en el anexo 3). Las características más relevantes de este dispositivo son:

- Conexión: BSP 3/8"
- Capacidad nominal del elemento filtrante: 0.3 μm
- Rango de presión: hasta 140 psig
- Material del vaso: Policarbonato transparente
- Tipo de drenado: Manual

8.6.3.3. Marca PARKER

Como en la marca anterior, se seleccionó la versión compacta filtro/regulador. El modelo propuesto es el F12E23C13AX (ver hoja técnica en el anexo 3).

- Caudal volumétrico: 36 CFM (1.02 m^3/min)
- Conexión: NPT 3/8"
- Presión 13 a 125 psig
- El medidor se adquiere por separado
- Capacidad nominal del elemento filtrante: Filtro coalescente grado 6
- Material del tazón: Metal

9. DISEÑO DE LA INSTALACIÓN DE AIRE COMPRIMIDO

Luego de identificar, comprender y seleccionar los componentes de una instalación de aire comprimido, procedemos a realizar su diseño final. Una instalación general de aire comprimido comprende como mínimo los siguientes elementos:

- Filtro de admisión, elimina las impurezas contenidas en el aire cuando es aspirado.
- Compresor
- Refrigerador de aire, enfría el aire calentado al comprimirse.
- Separador de condensados, elimina condensaciones de agua y aceite.
- Acumulador de aire
- Puntos de toma del aire comprimido.

La figura 9.1 ilustra una instalación típica de aire comprimido, que no contempla la unidad de tratamiento. Es claro que en esta instalación los elementos dentro del cuadro punteado hacen parte de los compresores propuestos.

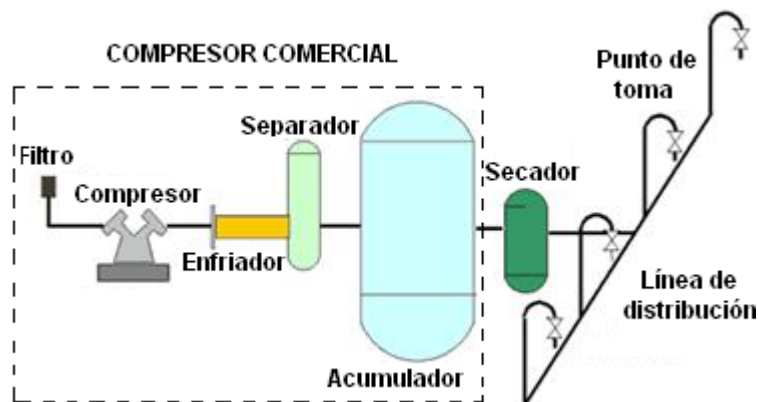


Figura 9.1. Instalación típica de aire comprimido [18]

9.1. Elementos de seguridad y monitoreo [18]

A pesar de que la manipulación del aire representa un peligro bajo, en el proceso de compresión existen una serie de riesgos latentes que no pueden ser ignorados. Por ende, es necesario recurrir a *elementos de seguridad y monitoreo* que garanticen que dichos riesgos se reduzcan a lo mínimo. Algunos de los riesgos comunes ocurren en el compresor y secadores de aire, ya que se pueden generar sobrepresiones con riesgo de explosión. Algunos de estos riesgos son:

- Bloqueo, total o parcial, del aire que sale del compresor.
- Mal funcionamiento del compresor, sobrevelocidad.
- Debido a la presencia de aceites propios del aire y de la lubricación del compresor, un sobrecalentamiento excesivo puede dar lugar a la ignición y explosiones por combustión de dichos aceites y vapores.
- Presencia de contaminantes sólidos y gaseosos (agua y aceite) causantes de posibles corrosiones y bloqueo de válvulas.

En nuestro estudio se observa la necesidad de estos elementos de seguridad con el fin de prevenir riesgos como los anteriormente mencionados. En el diseño de la instalación de aire comprimido deben ir ubicados algunos de ellos como válvulas de seguridad, de interrupción, manómetros y presostatos.

9.1.1. Válvulas de seguridad e interrupción

La válvula de seguridad o de alivio sirve para liberar la presión contenida en la red o dispositivo en el caso de que surjan de manera imprevista sobrepresiones. Las instalaciones deben estar dotadas de una o varias válvulas de seguridad cuyo tamaño y capacidad de descarga vendrá determinado por el caudal de aire

máximo que es capaz de suministrar el compresor. En el caso de compresores multietapas, cada una de ellas contará al menos con una válvula de seguridad, y cuando sea adecuado, se situarán en los enfriadores intermedios y finales correspondientes.

La válvula de interrupción cumple la función de aislar una etapa de la red de distribución, dejando de suministrar el aire comprimido.

Cuando se monte una válvula de interrupción entre compresor y acumulador de aire comprimido, se instalará una válvula de seguridad en la línea de unión de los mismos y situada entre compresor y válvula de interrupción (figura 9.2.).

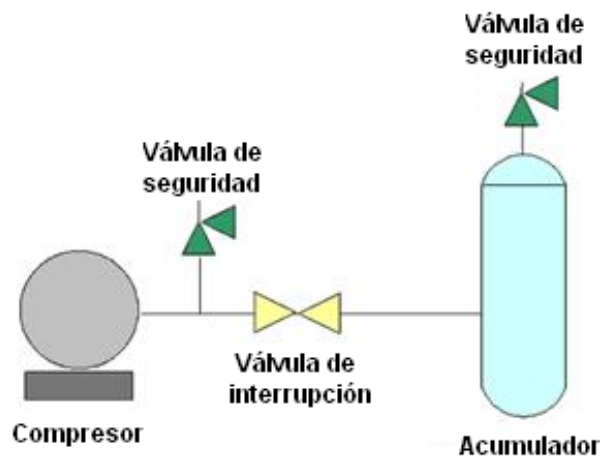


Figura 9.2. Válvulas de seguridad e interrupción

Cuando el secador no puede aislarse de la red, su cámara está construida para soportar la máxima presión que pueda soportar el compresor, o bien, irá dotado de una válvula reductora de presión y una válvula de seguridad, evitando que se exceda la presión de seguridad en las cámaras del secador.

Se puede de forma simultanea aislar y proteger de sobrepresiones (figura 9.3.).

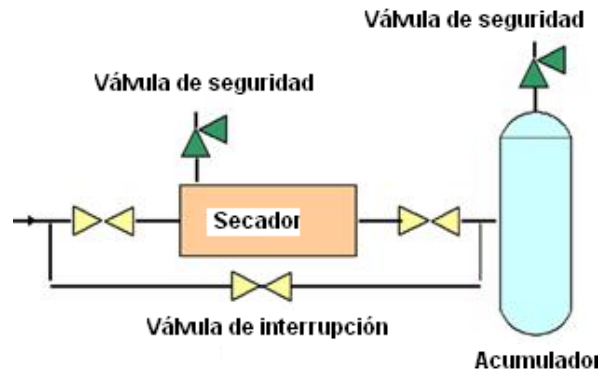


Figura 9.3. Válvulas de seguridad e interrupción

9.1.2. Manómetros

Mide la presión relativa del aire contenido dentro de un recipiente. Serán de lectura fácil y visible. Su número está determinado en función del tamaño del compresor; en el caso de los compresores propuestos, cada uno posee un manómetro que monitorear la presión interna. En la figura 9.4 se puede observar un manómetro de Bourdon típico.

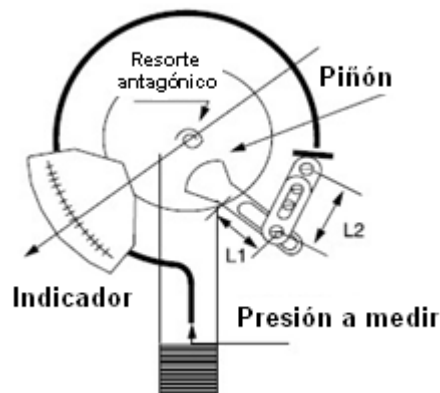


Figura 9.4. Manómetro de Bourdon

9.1.3. Presostatos

El presostato también es conocido como interruptor de presión. Es un aparato que cierra o abre un circuito eléctrico dependiendo de la lectura de presión de un fluido o gas. La función del presostato es mantener prácticamente la presión del aire comprimido constante dentro de un rango.

El presostato es seteado en dos presiones; a una presión mínima para accionar el funcionamiento del compresor cuando la presión interna dentro del tanque pulmón cae por debajo de set point, y a una máxima para apagarlo cuando hay un incremento en la presión superior a este set point..

Todos los compresores vienen con un presostato incluido y el rango de presión ya viene ajustado desde fábrica.

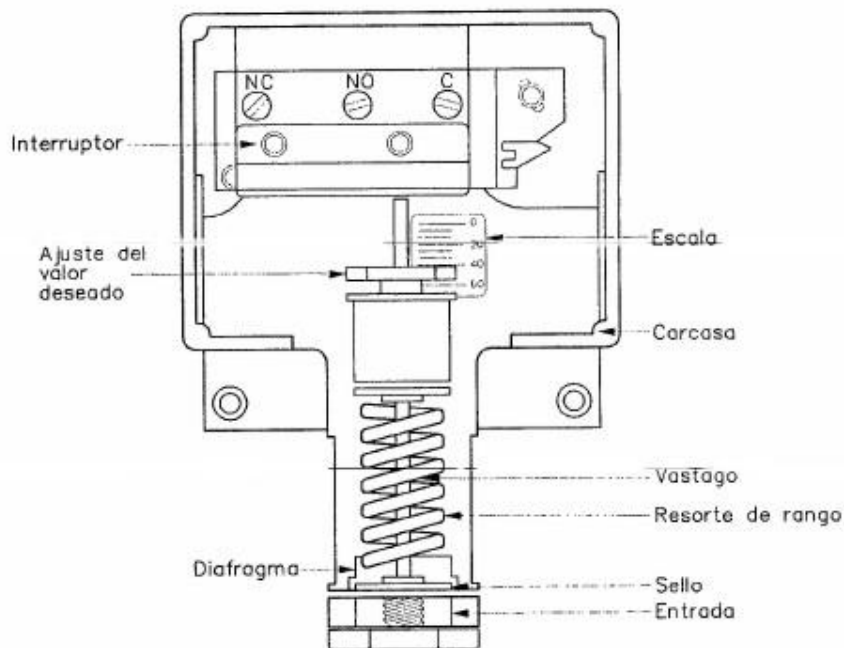


Figura 9.5. Presostato típico

9.2. Diseño de la red de distribución del aire comprimido

Haremos uso de la simbología neumática para esbozar el diseño de toda la red de distribución y tratamiento del aire comprimido.

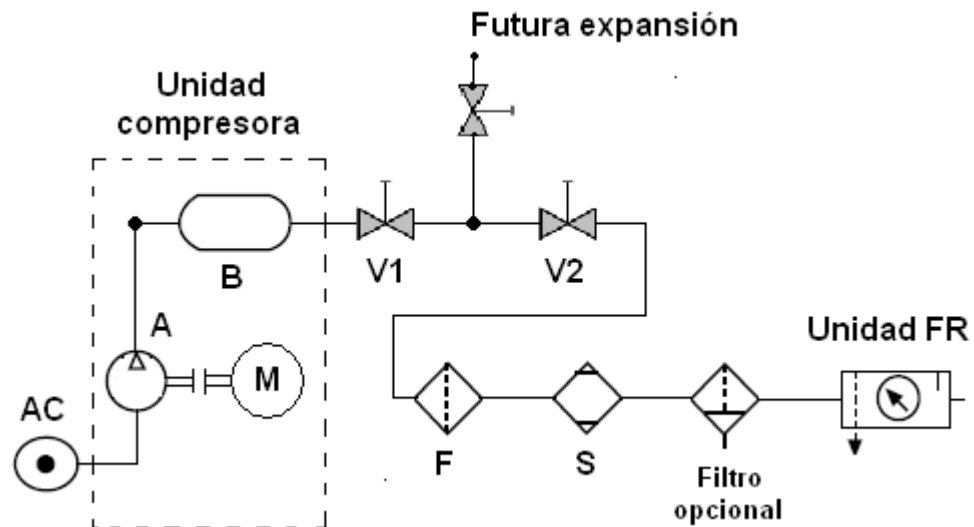
Los componentes a usar en la red de aire comprimido se muestran en la tabla 9.1.

Tabla 9.1. Componentes a utilizar en la red de aire comprimido

| Designación | Tipo de componente | Función |
|--------------------|-----------------------------------|---|
| A | Compresor | Realiza la compresión del aire |
| B | Acumulador | Sirve para mantener la reserva del aire comprimido |
| V1 | Válvula de conexión y desconexión | Aisla totalmente el compresor de la red de distribución del aire comprimido |
| V2 | Válvula de aislamiento | Aisla la red de distribución que está actualmente en uso |
| F | Filtro de partículas | Realiza el filtrado de partículas sólidas de “gran tamaño” |
| S | Secador | Realiza el secado del aire, extrayendo vapores de agua y aceite |
| - | Unidad FR | Realiza el acondicionamiento final del aire acondicionado en el punto de toma |
| T | Punto de toma | También conocido como punto de servicio, donde se realiza el consumo del aire |
| AC | Alimentación | Suministra energía eléctrica al compresor |
| M | Motor | Mover los pistones para la compresión |

En la figura 9.6 se puede observar el esquema final de la red de distribución del aire comprimido.

Figura 9.6. Diseño de la red de distribución del aire comprimido



9.3. Diseño del sistema neumático

Se utiliza la simbología neumática para esbozar el diseño neumático de toda la etapa de soplado.

Para esta máquina extrusora-sopladora el diseño del sistema neumático es muy sencillo, debido a que solo se empleará para el soplado de la botella.

Los componentes a utilizar en el sistema neumático, se muestran en la tabla 9.2.

Tabla 9.2. Componentes a utilizar en el sistema neumático

| Designación | Tipo de componente | Función |
|-------------|---------------------------------|--|
| A | Soplador | Inyecta aire a presión en el conjunto molde-párison |
| V1 | Válvula reguladora antirretorno | Permite regular la velocidad del aire que sale del soplador |
| V2 | Válvula 2/2 vías monoestable | Abre o cierra la salida de aire en el soplador |
| - | Unidad de mantenimiento | Regula la presión y la humedad en el sistema |
| - | Fuente de aire comprimido | Se encarga de suministrar el caudal requerido por el proceso |

En la figura 9.7 se puede observar el esquema final de la etapa de soplado.

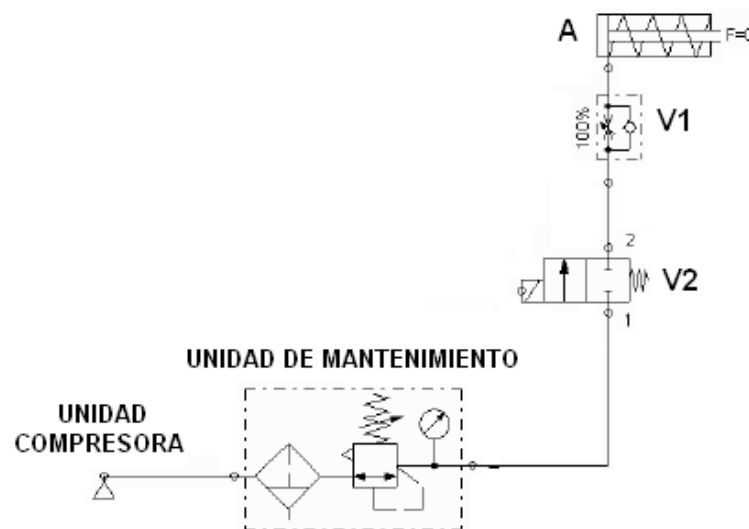


Figura 9.7. Esquema del sistema neumático de soplado

9.3.1. Componentes del sistema neumático

Los componentes a utilizar son de la marca FESTO y se presentan en la tabla 9.3.

Tabla 9.3. Lista de componentes del sistema neumático

| Designación | Tipo de componente | Tipo |
|--------------------|---------------------------------|--|
| A | Soplador | Las dimensiones de este dependen del usuario, pero su orificio de salida es 1.6 mm |
| V1 | Válvula reguladora antirretorno | GRLA-1/4-QS-6-RS-B |
| V2 | Válvula 2/2 vías monoestable | MFH-5-1/4 |
| - | Unidad de mantenimiento | Cualquiera de las unidades FR propuestas en el estudio a consideración del usuario |
| - | Fuente de aire comprimido | Cualquiera de los compresores propuestos en el estudio a consideración del usuario |

10. CONCLUSIONES

- El caudal total corregido de aire comprimido, disponible para la etapa de soplado en la máquina extrusora-sopladora de nuestro interés, se puede considerar relativamente bajo, considerando el consumo del que pueden requerir otro tipo de dispositivos neumáticos. El caudal es de alrededor de 8.36 CFM, y es el resultado de un cálculo teórico-práctico desarrollado gracias a la experiencia desarrollada por las industrias del aire comprimido.
- Los compresores de Pistón son la mejor alternativa dentro de la amplia gama de opciones de compresores para escoger, debido a que desarrollan mayores presiones de suministro en el aire comprimido. Otra de las razones es que también hacen parte del tipo de compresores que suministran gran cantidad de caudal, que puede llegar a ser necesario cuando el consumo de aire comprimido aumente en caso de que se realice ampliación de la red de servicio para otro tipo de herramientas neumáticas.
- Los diámetros de las tuberías requeridas para el tendido de la red de distribución de aire comprimido son relativamente pequeños, teniendo en cuenta que manejan caudales de aire comprimido pequeños. Sin embargo en el momento de la selección del diámetro de la tubería, se escogieron un poco más grandes, teniendo en cuenta que durante el flujo del aire comprimido existen caídas en su presión.
- La selección de los dispositivos para el filtrado y regulación del aire comprimido se basó en los cálculos realizados, como los consumos de aire por parte de la máquina, condiciones de presión y diseño de la red de distribución de la tubería. Se realizó una propuesta de 3 marcas muy conocidas en el campo de la industria del aire comprimido, como son, BOGE, INGERSOLL RAND Y

PARKER, las cuales cumplen con los requerimientos de caudal y presión del aire comprimido en la etapa de soplado.

- Las propuestas de los compresores y dispositivos neumáticos se realizaron con el mayor cuidado dentro de los requerimientos de la empresa SISTAMCOL LTDA y de las necesidades mínimas por parte de una red de aire comprimido. Es decisión del empresario o responsable de la empresa determinar cual de las 3 propuestas presentadas es con la que se desea trabajar, ya sea por precio o por presentar mejores características técnicas.

11. REFERENCIAS

[1] BELTRÁN M. y MARCILLA A., Tecnología de Polímeros, [en línea], Tema 8: Soplado de Termoplásticos, p. 287-297, Disponible internet: <http://iq.ua.es/TPO/Tema8.pdf>

[2] INTEREMPRESAS.NET, El moldeo por extrusión-soplado, [en línea], [citado el 1 de marzo de 1997], formato html, Disponible en internet: <http://interempresas.net/Plastico/Articulos/6167-El-moldeo-por-extrusion-soplado>

[3] REYES, Pedro., Análisis Morfológico, [en línea], marzo de 2010, Disponible en internet: <http://blog.pucp.edu.pe/media/avatar/655.pdf>

[4] Automatización Industrial, [en línea], 30 de agosto de 2010, Disponible en: <http://industrial-automatica.blogspot.com/2010/08/compresores-neumaticos.html>

[5] Emagister, Compresor de Tornillo: 2 rotores, [en línea], 14 de abril de 2010. Disponible en: <http://tecnologia-compresores.blogspot.com/2010/04/compresor-de-tornillo-2-rotores.html>

[6] Slideshare, Propiedades del aire comprimido, [en línea], 9 de mayo de 2009, p. 1-86, Disponible en internet: <http://www.slideshare.net/Tom.cubili/neumatica-1408982>

[7] HARRIS, Bill., Cómo funcionan los compresores, [en línea], Disponible en internet: <http://carros.hsw.uol.com.br/supercompressores1.htm>

[8] Colaboradores de Wikipedia, Máquina Térmica, [en línea], Wikipedia, la enciclopedia libre, Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Máquina_térmica

[9] Slideshare, Neumática: Generación y alimentación de aire comprimido, [en línea], 14 de junio de 2010, Disponible en internet: <http://slideshare.net/helterskkelter/generacin-y-alimentacin-de-aire-comprimido>

[10] BOGE, Compressed Air Compendium. 7ma. Ed S.L. Hoppenstedt Publishing GmbH 2007

[11] Reglamento Argentino de Acción del Viento sobre las Construcciones: Reglamento CIRSOC 102, [en línea], Disponible en internet: <http://inti.gob.ar/cirsoc/pdf/102/comentarios/tablasC102.pdf>

[12] IRIMAC: Diseño de la Sala de Compresores, [en línea], Disponible en internet: http://irimac.es/AireComprimido/SALA_diseno.html

[13] GUSTÍN, Mario y FUENTES, Nelson., "Estudio para la automatización de los sistemas de apoyo y sección de acoplamiento del molde y del cilindro de extrusión para una máquina extrusora-sopladora de envases plásticos", Trabajo de grado, Ingeniería Física, Popayán: Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Exactas, Naturales y de la Educación, Departamento de Física, 2009, 111 p.

[14] ATLAS COPCO, Aire Comprimido y su aplicación en la industria, 7 ed., Bélgica, 2010, 75 p.

[15] OSCULLO, Cristina y JÁCOME, José., "Diseño de la red de aire comprimido, del recipiente de almacenamiento de aire y del sistema de climatización del área de pintura, para la planta de producción de recipientes a presión y facilidades de producción de la compañía SERTECPET S.A. ubicada en la ciudad de Francisco de Orellana-Provincia de Orellana", Trabajo de grado, Ingeniería Mecánica, Francisco de Orellana: Escuela Politécnica del Ejército, 2011, 453 p.

[16] Asociación de Cerveceros Caseros Españoles, [en línea], Disponible en internet: <http://cerveceros-caseros.org/index2.php?option=com>

[17] PARKER HANNIFIN CORPORATION, Introduction to ISO Air Quality Standards, [en línea], Disponible en internet: <http://havatajhiz.com/vids/iso8573.1-2.pdf>

[18] CABALLANO, Instalaciones aire comprimido, [en línea], Disponible en internet: http://caballano.com/aire_comprimido.htm

[19] PARKER HANNIFIN CORPORATION, Tecnología Neumática Industrial, Brasil, Enero 2003, 167 p.