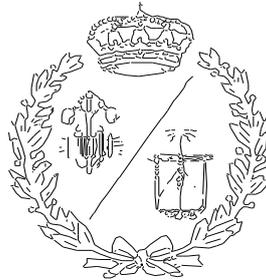


ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Proyecto Fin de Grado

**DISEÑO NEUMÁTICO DE UN FUGÓMETRO
PARA EL CONTROL DE ESTANQUEIDAD
DE PIEZAS DEL SISTEMA DE DIRECCIÓN
DE VEHÍCULOS**

**(Pneumatic System design of a fugometer for
leak testing of pieces from vehicles steering
system)**

Para acceder al Título de

GRADUADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

Autor: Francisco Martín Ruiz

Septiembre - 2018

MEMORIA	4
1 INTRODUCCIÓN	6
2 OBJETIVO Y MOTIVACIÓN	7
3 ESTUDIO DEL ESTADO DEL ARTE	8
3.1 ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS	8
3.1.1 Clasificación de los ensayos no destructivos.....	9
3.1.2 Técnicas de Inspección Superficial	11
3.1.3 Técnicas de Inspección Volumétrica	26
3.1.4 Técnicas de Inspección de la Hermeticidad	37
3.2 NEUMÁTICA INDUSTRIAL.....	42
3.2.1 Calidad del aire comprimido según ISO 8573.1:2010	43
3.2.2 Generación de aire comprimido	47
3.2.3 Almacenamiento y tratamiento del aire	57
3.2.4 Distribución del aire comprimido	71
3.2.5 Elementos de fuerza: Cilindros Neumáticos.....	73
3.2.6 Elementos de mando: Válvulas Distribuidoras	83
3.2.7 Elementos de regulación y control	85
3.2.8 Elementos de bloqueo.....	89
3.2.9 Elementos de detección: Detectores de señal.....	92
3.2.10 Dimensionado de una instalación neumática	100
3.3 CONTROL AUTOMATIZADO DE CIRCUITOS.....	118
3.3.1 Arduino	118
3.3.2 PLC.....	121
3.4 SISTEMA SERVOTWIN	123
4 REQUISITOS DE DISEÑO	127
4.1 SELECCIÓN DE LA TÉCNICA END	127
4.2 DISEÑO NEUMÁTICO	130

4.2.1	Secuencia neumática de ensayo	131
4.2.2	Diseño preliminar de los útiles de aislamiento	132
4.2.3	Dimensionado de los cilindros neumáticos	134
4.2.4	Diseño del circuito neumático	138
4.2.5	Cálculo del volumen del acumulador	149
4.2.6	Esquema Preliminar de la Estructura de la máquina	151
ANEXO 1: SIMBOLOGÍA NEUMÁTICA SEGÚN ISO 1219		154
PLANOS.....		161
PLIEGO DE CONDICIONES.....		169
1.	Disposiciones generales	170
1.1	Objeto del pliego	170
1.2	Documentación del proyecto	170
1.3	Compatibilidad y prelación entre documentos	171
2.	Condiciones Técnicas	172
3.	Condiciones facultativas	174
3.1	Jefe de fabricación	174
3.2	Obligaciones del Contratista	174
3.3	Plazos y comienzo de la fabricación	175
3.4	Fallos de fabricación o montaje.....	175
3.5	Garantía	175
4.	Condiciones económicas.....	176
4.1	Garantías.....	176
4.2	Gastos e impuestos.....	176
4.3	Reclamación por aumento de precios.....	176
4.4	Revisión de precios	176
4.5	Equivocaciones del presupuesto.....	177

4.6	Pagos	177
4.7	Suspensión por retrasos de pago	177
4.8	Indemnización por el retraso de los trabajos	177
4.9	Mejoras de fabricación	178
5.	Condiciones legales	179
5.1	Marco jurídico.....	179
5.2	Régimen de intervención.....	179
5.3	Accidentes de trabajo y daños a terceros	180
5.4	Responsabilidad civil	180
5.5	Permisos y certificados	180
5.6	Rescisión del contrato.....	180
5.7	Disposiciones legales	181
ANEXO I. ESTUDIO DE SEGURIDAD EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN Y MONTAJE		
.....		182
1.	Introducción	182
2.	Tipos de peligros que intervienen en el proceso de fabricación y montaje circuito neumático de un fugómetro.....	183
2.1	Peligro mecánico	183
2.2	Peligro eléctrico	183
2.3	Peligro térmico	184
2.4	Peligro producido por el ruido y las vibraciones	184
2.5	Peligros producidos por materiales y sustancias	184
2.6	Otros peligros	184
3.	Medidas de prevención de riesgos.....	185
3.1	Medidas preventivas de los trabajadores	185
3.2	Medidas preventivas de las máquinas empleadas en la fabricación y montaje del fugómetro.....	185
3.3	Requisitos fundamentales de seguridad y salud.....	187

ANEXO II. ESTUDIO DE CALIDAD EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN Y MONTAJE	190
1. Introducción.....	190
2. Control de calidad de la fabricación	190
3. Control de calidad de la documentación del montaje	190
PRESUPUESTO.....	191
1.DISTRIBUCIÓN DEL PRESUPUESTO	192
1.1 COMPONENTES Y DISPOSITIVOS NEUMÁTICOS	192
1.2 DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS Y DE CONTROL	193
1.3 ÚTILES DE ENSAYO.....	194
1.4 MANO DE OBRA DIRECTA	196
1.5 MANO DE OBRA INDIRECTA	196
1.6 PRESUPUESTO GENERAL.....	197
ÍNDICE DE TABLAS	199
ÍNDICE DE FIGURAS.....	201
BIBLIOGRAFÍA.....	209

MEMORIA

1 INTRODUCCIÓN

En un mundo tan globalizado y competitivo como el actual, los fabricantes se esfuerzan por ofrecer productos más atractivos para el cliente, más completos y a un menor precio, que les permitan marcar la diferencia frente a otras marcas, pero sin renunciar a la calidad. Es por esto, que asociado a cualquier proceso de fabricación industrial, existe un departamento específico encargado de garantizar la calidad del producto terminado.

Aunque la exigencia de controles de calidad es intrínseca a cualquier tipo de manufactura, existen sectores en los que estas verificaciones son especialmente duras: automoción, calderería, industria agroalimentaria, etc. De la necesidad de asegurar la calidad de los productos, se han desarrollado equipos y tecnologías que permiten normalizar dicho parámetro. Si nos centramos en la verificación cualitativa de piezas metálicas, las posibilidades son prácticamente infinitas. Tanto ensayos destructivos como no destructivos son utilizados para verificar las capacidades mecánicas de piezas y materiales o para estudiar los defectos de fabricación y su trazabilidad, permitiendo identificar la causa que genera dicho defecto. De esta manera, estos controles pueden revelar errores en los parámetros de fabricación de piezas o averías en las máquinas.

2 OBJETIVO Y MOTIVACIÓN

El objetivo de este proyecto consiste en diseñar el circuito neumático automatizado de una máquina para el control de estanqueidad de piezas del sistema de dirección de vehículos. Existen máquinas de este tipo en el mercado, denominadas comercialmente "fugómetros", máquinas cuya estructura y modo de funcionamiento tomaré como referencia para el diseño de mi propio diseño. La motivación de este proyecto reside en el desarrollo de un prototipo de fugómetro en el que prime la simplicidad estructural de la máquina y de su circuito neumático. Simplificar al máximo los diseños permite limitar los posibles errores que puedan aparecer durante el funcionamiento de la máquina a un menor número de piezas, facilitando de este modo las labores de mantenimiento y reduciendo el coste de fabricación del fugómetro. Adicionalmente, de cara a realizar pruebas sobre el prototipo, se desarrollará el control del funcionamiento de la máquina a través de un autómata programable (Arduino).

3 ESTUDIO DEL ESTADO DEL ARTE

La creciente exigencia normativa en términos de calidad ha obligado a los fabricantes a introducir verificaciones cualitativas dentro del proceso productivo de piezas y componentes de máquinas. La necesidad de ensayos rápidos, representativos, fiables y sobretodo que no dañen la pieza sometida a estudio, ha hecho que los ensayos no destructivos se hayan situado a la vanguardia del control de calidad de componentes. Estudiaré el fundamento y las aplicaciones principales de los ensayos más ampliamente utilizados, justificando de esta manera la base tecnológica de funcionamiento de mi fugómetro.

Al mismo tiempo, la gestión automatizada de los sistemas ha permitido tanto una mayor rapidez operativa, como una disminución de los errores de tipo humano en las líneas. En otras palabras, el control automatizado de las máquinas y los procesos industriales ha permitido una mayor eficiencia de los mismos. De este modo, resulta obligado realizar un preámbulo histórico al respecto. Y es que aunque la base del proyecto no es la generación del circuito electrónico del proceso, sí que es importante considerar la selección de un Arduino para el prototipado del fugómetro en detrimento de los comunes PLC.

3.1 ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

Los ensayos no destructivos (END) son aquellas técnicas no invasivas que permiten estudiar la integridad de los elementos de máquinas y estructuras industriales. Es decir, a través de este tipo de ensayos, podemos detectar la presencia de defectos superficiales y discontinuidades internas en los materiales. Y lo que es más importante, sin provocar daños en los mismos, sus propiedades físicas, químicas, mecánicas y dimensionales permanecen inalteradas. La detección de discontinuidades y defectos permite tomar medidas preventivas o correctivas en el funcionamiento de las máquinas. Llamamos discontinuidad a cualquier interrupción en la estructura interna de un material (porosidades, inclusiones metálicas, cavidades, grietas...).

Otros aspectos a destacar en los END son su alta velocidad en la obtención de resultados y la fiabilidad estadística de los mismos. Sin embargo, la correcta interpretación de éstos requiere en la mayor parte de los casos de personal

altamente cualificado, con experiencia y formación específica en el tipo de ensayo utilizado.

La aplicación de los ensayos no destructivos en la industria es enorme: verificación de recipientes a presión, plantas petroquímicas, centrales eléctricas y nucleares, sector automoción, sector del transporte (cisternas, ferrocarriles, industria naviera) y obra civil (estructuras metálicas y puentes).

Conceptualmente, los objetivos de los END pueden resumirse en:

- Detectar defectos en estructuras, piezas manufacturadas y elementos de máquinas.
- Evaluar las características de la discontinuidad detectada (orientación, forma, tamaño, etc.).
- Estudiar la severidad del defecto de acuerdo con los estándares de calidad definidos en el diseño del producto.

3.1.1 Clasificación de los ensayos no destructivos

La selección del END más conveniente dependerá del tipo de defecto que se esté estudiando. Generalmente, los ensayos no destructivos se clasifican en función de la localización física del defecto:

- Técnicas de inspección superficial.
- Técnicas de inspección volumétrica.
- Técnicas de inspección de la integridad o hermeticidad.

A pesar de que el fugómetro es una máquina basada en técnicas de inspección de la hermeticidad, resulta obligado hablar tanto de los métodos de detección de defectos superficiales como volumétricos. De esta manera, podremos analizar la posibilidad de utilizar diferentes métodos para controlar la estanqueidad de la tapa del sistema de dirección servotwin (sistema de dirección asistida electro-hidráulico de vehículos), justificando en última instancia el principio de funcionamiento del fugómetro.

Técnicas de Inspección Superficial

Se utilizan para detectar discontinuidades a una profundidad inferior de 6mm:

- Inspección visual
- Líquidos penetrantes
- Partículas magnéticas

- Termografía
- Corrientes inducidas

Técnicas de Inspección volumétrica

Son aquellas que permiten detectar discontinuidades internas garantizando la integridad del material en todo su conjunto:

- Radiografía industrial
- Ultrasonidos
- Emisión acústica
- Resonancia acústica

Técnicas de Inspección de la Hermeticidad

Este tipo de técnicas son utilizadas para controlar la capacidad de un recipiente para alojar un fluido sin registrar pérdidas. El fluido puede encontrarse a una presión superior, igual o inferior a la atmosférica. Dentro de este grupo, podemos destacar los siguientes tipos de ensayos:

- Ensayos de tipo hidráulico o neumático a alta o baja presión.
- Ensayos por pérdida de fluido: cámara de burbujas, detector de halógenos, espectrómetro de masas, cámara de vacío, etc.

DEFECTOS SUPERFICIALES	DEFECTOS VOLUMÉTRICOS
Discontinuidades	Porosidades
Laminaciones	Inclusiones
Falta de adherencia superficial	Contracciones
Discontinuidades por solidificación	Agujeros
Grietas por tratamientos térmicos	Adelgazamientos por corrosión
Grietas por trabajo mecánico	Picaduras por corrosión
Grietas por fatiga	
Grietas por corrosión bajo esfuerzo	
Grietas en soldaduras	
Falta de fusión en soldaduras	
Penetración incompleta en soldaduras	

Tabla 3.1 Principales defectos superficiales y volumétricos

3.1.2 Técnicas de Inspección Superficial

Inspección visual

La inspección visual es el END más utilizado en la industria ya que permite detectar alrededor del 80% de los defectos superficiales de los materiales. Se trata de un método de identificación de defectos macroscópicos (agrietamiento, corrosión, deformaciones, desgaste, errores de montaje, mecanizado...) mediante la exploración superficial de materiales utilizando los sentidos humanos auxiliados únicamente con algún dispositivo que magnifique la capacidad sensorial del inspector. La inspección visual es por tanto un método sencillo y rápido, en el que la formación, la experiencia y la capacidad interpretativa de los defectos por parte del inspector condicionan la calidad del examen.

Podemos dividir los métodos de inspección superficial en dos grandes grupos:

- Inspección visual directa: es aquella en la cual se examinan superficies exteriores de un producto. La inspección puede llevarse a cabo con el uso de equipos auxiliares de magnificación (microscopios, lentes de aumento, proyectores de perfiles...), iluminación (lámparas de luz blanca, luz ultravioleta...) o medición (micrómetros, galgas, calibres pasa-no pasa, cámaras, etc.)



Figura 3-2. Microscopio estereoscópico [2] Figura 3-1. Medición con micrómetro [4]

- Inspección visual remota: es aquella en la que no se tiene acceso directo a la zona a inspeccionar como pueden ser el interior de conducciones o tuberías. Se sirve de equipos auxiliares como videoscopios, endoscopios o fibroscopios, aunque en los últimos años se ha extendido el uso de drones para inspección técnica de estructuras industriales en puntos de muy difícil acceso.

En los últimos años, las técnicas de inspección remota se han ido automatizando hasta el punto de que en muchas líneas productivas, las propias máquinas pueden detectar defectos en las piezas a través de un sofisticado sistema de sensores, cámaras y un software que procesa toda la información recogida. Es la llamada "visión artificial", que se ha impuesto en la industria debido a los siguientes motivos:

- Reduce los tiempos de inspección por pieza producida.
- Aumenta la seguridad en el trabajo al disminuir la interacción humana en el proceso. No requiere tocar la pieza, las cámaras recogen toda la información sin tener que retirar el producto de la línea protegiendo a los trabajadores.
- El software se adapta inmediatamente a la inspección de distintos catálogos de piezas fabricadas en una misma línea, eliminándose errores humanos.



Figura 3-3. Visión artificial. Control productivo por cámaras [1]



Figura 3-4. Inspección visual remota. Control álabes turbina con videoscopio [3]

En el cuadro siguiente, se muestran los pros y contras del método de inspección visual.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> - Bajo coste - Resultados inmediatos - Complementario con otras técnicas 	<ul style="list-style-type: none"> - Es necesaria experiencia previa - Susceptible a errores humanos - No es infalible

Tabla 3.2 Ventajas y desventajas del método de inspección visual

Líquidos penetrantes

La inspección de defectos superficiales mediante el uso de líquidos penetrantes es una técnica muy extendida en la industria debido a su efectividad y versatilidad en cuanto a la obtención de resultados.

Esta técnica permite detectar discontinuidades (grietas, pliegues, porosidades, etc.) que afloran en la superficie de sólidos no porosos. Para su detección, se aplica sobre la pieza estudiada un líquido de baja viscosidad y alta capacidad de humectación que por capilaridad penetra en las grietas y moja toda la superficie del material. La acción posterior de un revelador, que se deposita en el interior de las hendiduras, resalta dichas grietas haciéndolas visibles.



Figura 3-5. Revelado de grietas mediante líquidos penetrantes [6]

Para realizar este ensayo, debemos seguir los siguientes pasos con riguroso orden:

1. Limpieza superficial: deberá eliminarse cualquier tipo de impregnación (pintura, barniz, grasa...) o sustancia que pueda interferir falsear los resultados, dificultando la posterior humectación de la pieza por parte del líquido.
2. Aplicación de líquido penetrante: Puede realizarse por inmersión o rociado.
3. Infiltración: Deberá darse tiempo al líquido para que se infiltre en las grietas e imperfecciones. Este tiempo puede variar entre 5 minutos y 3 horas en función del tamaño de las discontinuidades, el material y el diseño de la pieza, el tipo de penetrante y la posición de aplicación del mismo.
4. Remoción del líquido penetrante: Se retira el líquido sobrante de manera que sólo permanezca el que se infiltró por las grietas. Este

paso debe realizarse antes de que el líquido penetrante se seque ya que de lo contrario, deberá repetirse el ensayo desde el principio.

5. Aplicación del revelador: El revelador es un producto que reacciona con el líquido penetrante resaltando las discontinuidades donde este se encuentra. Debe dejarse actuar el mismo tiempo que el líquido penetrante.
6. Efecto de magnificación: De la reacción entre líquido penetrante-revelador, se obtiene una zona de revelado mucho mayor que la grieta debido a la difusión del penetrante en el revelador. Esto permite resaltar grietas de muy pequeño tamaño.

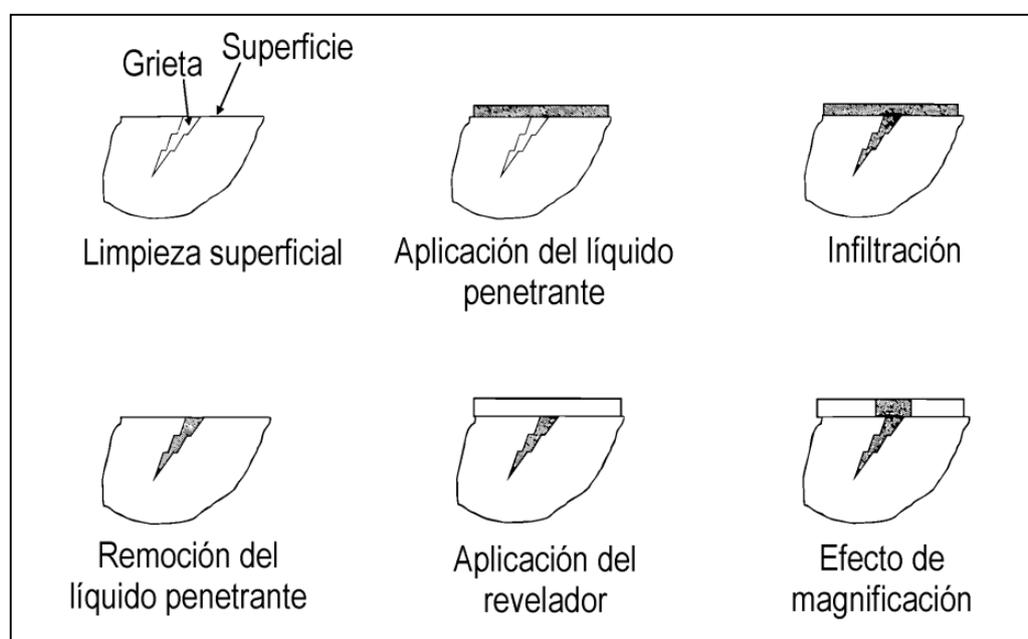


Figura 3-6. Operaciones básicas para la inspección con líquidos penetrantes [14]

En la selección del penetrante a utilizar deberán tenerse en cuenta los siguientes factores:

- Tamaño de la discontinuidad y nivel de sensibilidad en la detección: En el caso de pequeñas grietas en los que se requiera gran sensibilidad, se recomienda utilizar penetrantes fluorescentes. En caso contrario, nos servimos de penetrantes visibles.
- Acabado superficial de la pieza: Para superficies pulidas, son más apropiados los penetrantes removibles con solvente. En cambio, para superficies rugosas (soldaduras o fundiciones) debe emplearse penetrante removible con agua.

En el cuadro siguiente, se muestran los pros y contras del método de líquidos penetrantes.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> - Facilidad de aplicación - Alta sensibilidad - Elevada precisión - Adaptable a cualquier geometría - Interpretación sencilla de los resultados - Bajo coste - Portátil 	<ul style="list-style-type: none"> - Solo aplicable a materiales no porosos - La profundidad de la discontinuidad es difícilmente cuantificable - Una mala elección de penetrante y revelador ocasiona falta de sensibilidad - Los esfuerzos residuales impiden la infiltración de los líquidos penetrantes cerrando las grietas

Tabla 3.3 Ventajas y desventajas del método de líquidos penetrantes

Partículas magnéticas

La inspección por partículas magnéticas se utiliza para detectar discontinuidades tanto superficiales como subsuperficiales (próximas a la superficie) en materiales ferromagnéticos. Este tipo de ensayo se basa en la acumulación de polvo metálico sobre las discontinuidades presentes en la pieza objeto de estudio cuando ésta se encuentra sometida a la acción de un campo magnético. Este efecto se debe a la variación de las líneas de campo magnético al atravesar una falla (grieta) en el material, que produce una acumulación de partículas magnéticas sobre la misma.

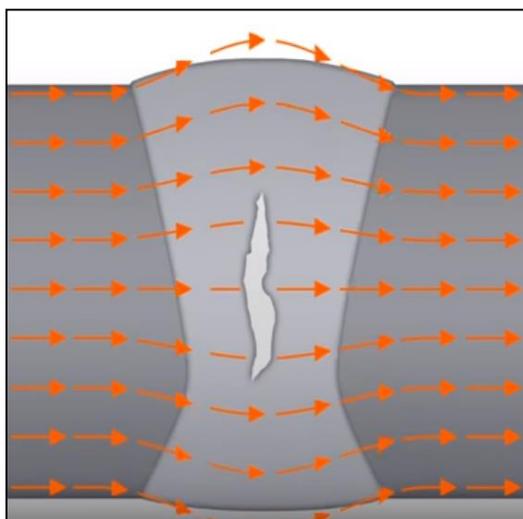


Figura 3-8. Flujo magnético a través de una soldadura agrietada [9]

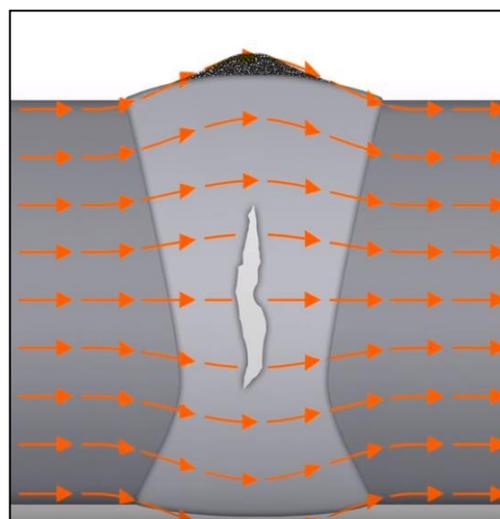


Figura 3-7. Depositiones de polvo metálico en la superficie [9]

Si nos fijamos en la figura 3-8 podemos apreciar el corte transversal de una soldadura a tope con preparación en X. La distribución de líneas de campo magnético que atraviesan la pieza viene representada por las flechas de color naranja. Y en la figura 3-7 puede apreciarse como al depositar polvo metálico sobre la superficie, éste tiende a acumularse sobre la grieta, desvelando en este caso dicho defecto subsuperficial. Las partículas que se aplican sobre la pieza pueden ser medios visibles, con partículas húmedas o en forma de polvo seco.

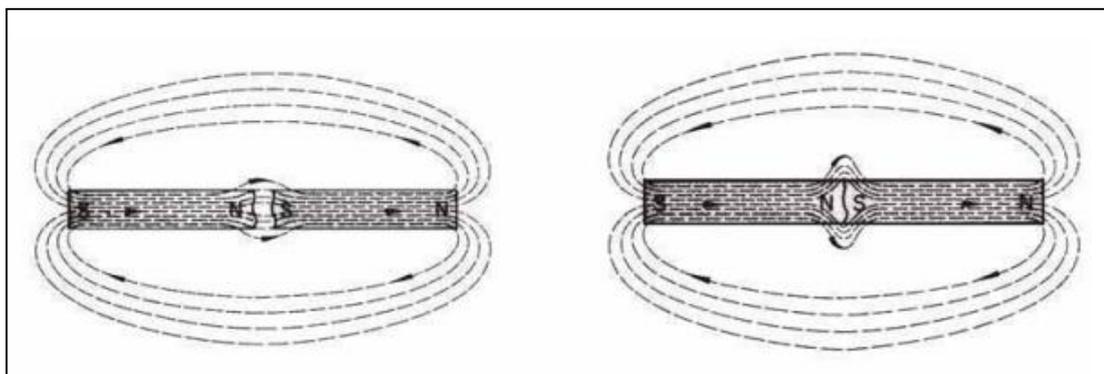


Figura 3-9. Alteración de las líneas de campo magnético antes diferentes discontinuidades [14]

Este es un método rápido y preciso pero que puede dar resultados erróneos en caso de que la superficie del cuerpo no esté limpia. Por ello, la presencia de óxido no es recomendable.

Es de especial importancia conocer cómo se induce y genera el campo magnético en la pieza que se está inspeccionando ya que de ello dependerá la sensibilidad del método. La detección será más sensible si el campo magnético se orienta perpendicularmente a la grieta o defecto. Los equipos más habituales para inducir el campo magnético en la pieza son:

- Yugo magnético: puede ser un electroimán o un imán permanente. Genera un campo magnético cuyas líneas de campo se desplazan de su polo norte a su polo sur. Dado que el yugo puede girarse, el campo magnético puede tener diferentes orientaciones. En este sentido, es bastante versátil. Sin embargo, solamente permite inspeccionar pequeñas superficies de pieza.

- **Bobina:** se trata de un dispositivo basado en el principio de electromagnetismo en un solenoide. Conociendo el número de espiras de la bobina, podemos regular la intensidad de campo magnético longitudinal variando la corriente eléctrica que circula por la bobina. La regulación es por tanto fácil. Sin embargo, para conseguir un campo uniforme en la pieza, ésta debe colocarse en el centro de la bobina.

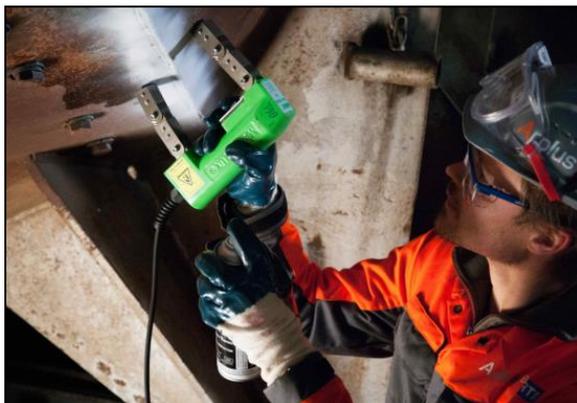


Figura 3-10. Inspección utilizando un yugo magnético. [9]

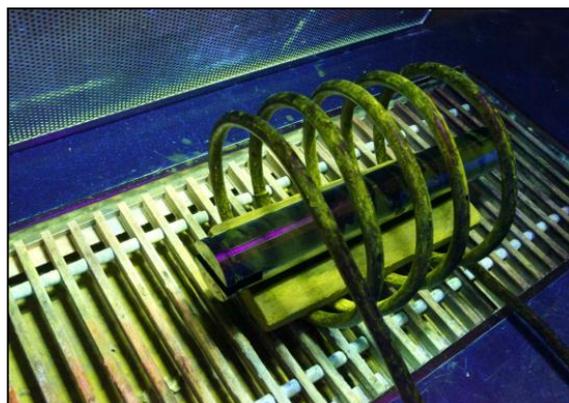


Figura 3-11. Inspección utilizando una bobina. [9]

De manera general, en la tabla 3.3 se muestran los pros y contras del método de inspección por partículas magnéticas.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> - Resultados más rápidos que con líquidos penetrantes - Requiere menor limpieza que los líquidos penetrantes - Detecta discontinuidades sensiblemente profundas - Adaptable a cualquier geometría - Bajo coste - Portátil 	<ul style="list-style-type: none"> - Solo aplicable a materiales ferromagnéticos - La profundidad de la discontinuidad es difícilmente cuantificable - El flujo magnético debe ser perpendicular al plano del defecto - Menor sensibilidad para elevados espesores de pieza

Tabla 3.4 Ventajas y desventajas del método de partículas magnéticas

Termografía

La inspección termográfica (TIR) es una técnica no destructiva muy versátil que nos permite detectar defectos en piezas midiendo la temperatura de su superficie a través de la detección de la radiación infrarroja que ese cuerpo emite. Los resultados obtenidos se representan típicamente en un termograma, un mapa térmico de la superficie de la pieza. La presencia de defectos en la misma genera anomalías en el flujo de calor de un cuerpo, es decir, contrastes de temperatura.

Se trata de un método de inspección rápido en el que no es necesario tocar la pieza y en la que se obtienen resultados inmediatos (imagen en tiempo real). Además, es aplicable a una gran cantidad de materiales y la interpretación de termogramas es muy sencilla. Dado que la radiación infrarroja no es nociva, no requiere de medidas especiales de protección durante su uso.

No obstante, su principal desventaja es que es efectivo únicamente en la detección de defectos poco profundos. También resulta complicado producir un calentamiento uniforme al aplicar las técnicas activas y pueden existir variaciones de emisividad en diferentes partes del cuerpo estudiado.

En función de la utilización o no de equipos auxiliares para el calentamiento o enfriamiento forzado de piezas, distinguimos dos tipos de técnicas de inspección termográficas:

- Termografía pasiva: son aquellas en las que no se utiliza ningún dispositivo de enfriamiento/calentamiento para provocar un flujo de calor en el cuerpo objeto de inspección. Se aplica a aquellos casos en los que sobre el cuerpo ya se encuentra sometido a un flujo de calor por formar parte de una máquina o un proceso productivo que produce calor.

Esta técnica es utilizada para la monitorización de producto en procesos de fabricación, monitorización de soldaduras, control del rendimiento de los frenos de disco de vehículos o en labores de mantenimiento predictivo. Anecdóticamente, fuera del sector industrial también se utiliza esta técnica para aplicaciones tan diversas como la detección de cáncer de pecho, desórdenes vasculares, localización de pérdidas de calor humedad en edificios o detección de objetivos en equipos militares.

- Termografía activa: son aquellas en las que se utilizan dispositivos de enfriamiento/calentamiento para provocar un flujo de calor en el cuerpo objeto de inspección.

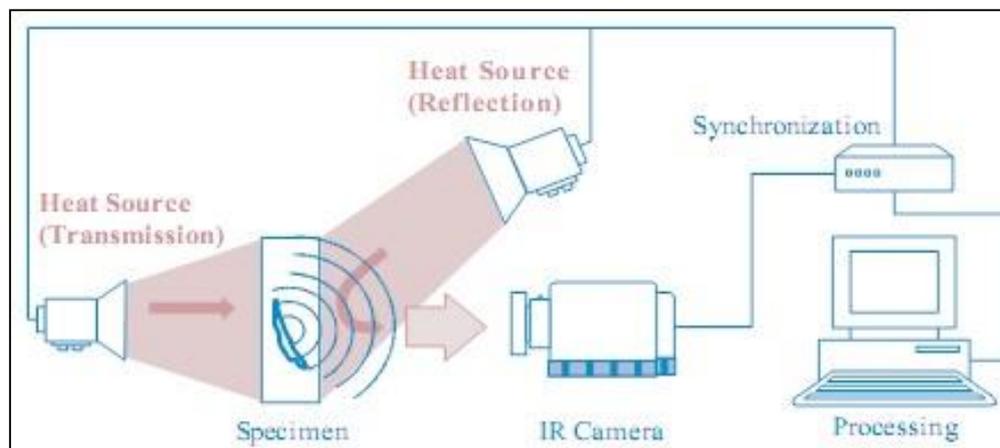


Figura 3-12. Configuración de un sistema termográfico para ensayos de termografía activa [22]

Dentro de este grupo, distinguimos a su vez tres técnicas diferentes:

- Termografía pulsada: en ella, se aplica un pulso de calor a la pieza durante un pequeño espacio de tiempo (entre 3ms y 2s en función la conductividad térmica del material) inspeccionando el posterior enfriamiento de la pieza. Tras aplicar el pulso térmico, la temperatura del material cambia rápidamente. En aquellos puntos donde existen defectos, el ratio de difusión es reducido siendo esa la anomalía que nos permite localizarlos. En el caso de defectos superficiales, el contraste de temperatura es más acusado que el de un defecto subsuperficial.

Se trata de una técnica de gran rapidez operacional que es ampliamente utilizada: inspección de componentes estructurales de aviones, control de calidad de soldadura por puntos, álabes de turbina, detección de delaminaciones, grietas o corrosión.

- Termografía de pulso largo: en ella, se aplica a la pieza un pulso continuo de calor pero a baja potencia de manera que el calentamiento de la pieza es lento. Al igual que en la termografía pulsada, se monitoriza la temperatura superficial de la pieza a cada instante. Algunas de sus aplicaciones más destacadas son: evaluación de espesores de recubrimientos y de uniones de recubrimiento a substrato en estructuras compuestas o la detección de corrosión oculta en el fuselaje de aviones.
- Termografía lock-in: en ella, se generan ondas de calor en el interior del material a inspeccionar. Este generador de calor puede ser una lámpara de infrarrojos. La monitorización de la temperatura superficial del cuerpo puede sincronizarse a través de un ordenador o de un amplificador lock-in. Cada ensayo es realizado para una frecuencia determinada, es decir, para una profundidad concreta del material. El estudio termográfico a varias profundidades (diferentes frecuencias) aumenta el tiempo de ensayo.

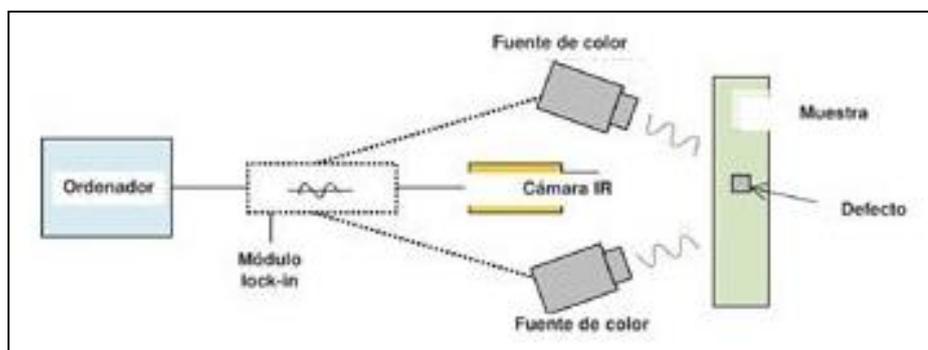


Figura 3-13. Configuración típica de la termografía lock-in [12]

La técnica lock-in es utilizada en los siguientes casos: inspección de componentes estructurales, detección de remaches sueltos, grietas, etc.

Hasta ahora, hemos comprobado que la elección de una u otra técnica termográfica puede condicionar la calidad de los resultados obtenidos hasta

el punto de hacer imperceptible la presencia de algún tipo de defecto si esta elección es incorrecta. Sin embargo, hay otro aspecto que influye enormemente en la localización y visualización de los defectos, el procesamiento adecuado de los datos adquiridos. De este modo, puede reducirse el ruido o el efecto de la anisotropía del material; e incluso obtener parámetros adicionales como: profundidad del defecto, difusividad térmica del material, flujo térmico...

Estudiaremos algunos ejemplos de ensayos TIR en materiales metálicos y compuestos:

- Figura 3-14: Detección de una delaminación.

Ensayo TIR sobre un componente de una aeronave de fibra de carbono. Puede observarse sobre la evolución del termograma en el tiempo un área destacada en color azul celeste que se corresponde con una delaminación causada por un impacto en la zona de unión de dos láminas a través de remaches. Cabe destacar que este defecto no hubiera sido detectable mediante un ensayo de ultrasonidos.

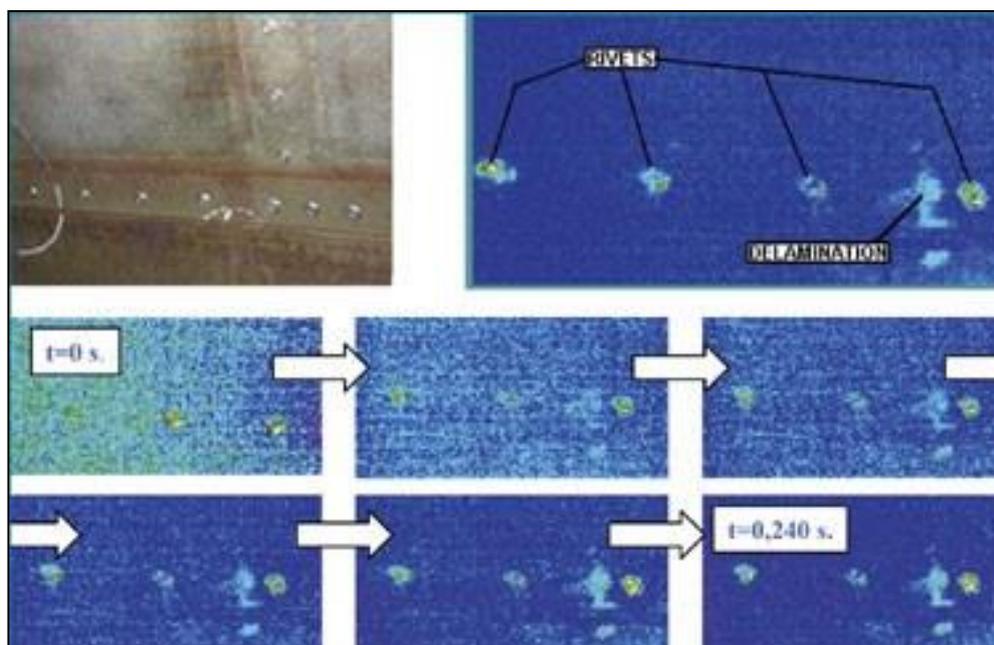


Figura 3-14. Arriba a la izquierda: fotografía de la zona inspeccionada. Arriba, probeta de fibra de carbono de 4 mm de espesor con delaminaciones producidas a 0.95 mm (A), 1.25 mm (B) y 1.55 mm (C).

[12]

- Figura 3-15: Efecto de la presencia de agujeros ciegos.
Ensayo de TIR pulsada de una pletina de aluminio con agujeros ciegos a diferentes profundidades. Cuanto mayor sea la profundidad del agujero, menor será el espesor de la pletina en ese punto y por lo tanto mayor la temperatura del aluminio en dicha zona. Puede observarse que sobre la lámina inspeccionada se ha aplicado un recubrimiento. Este recubrimiento aumenta la emisividad del aluminio que no es muy elevada permitiendo de esta manera una mejor detección de los contrastes térmicos en el termograma.

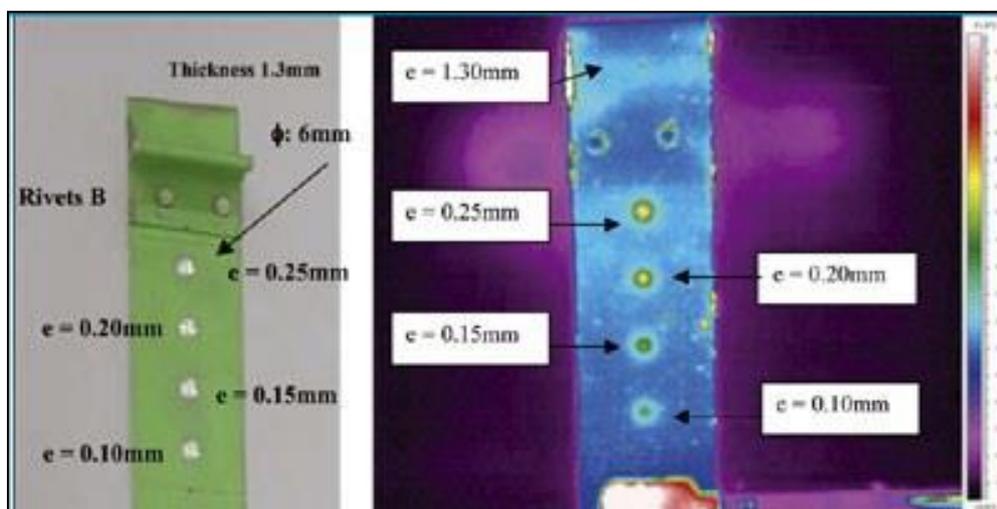


Figura 3-15. Pletina de aluminio. Fotografía y termograma visto desde la cara plana sin agujeros. [12]

- Figura 3-16: Detección de grietas.
Ensayo TIR sobre un componente de aluminio de una aeronave con un recubrimiento de pintura. En la imagen, podemos observar el termograma en dos instantes de tiempo diferentes. En la imagen izquierda ($t=0,02$ s), se puede apreciar la presencia de dos grietas. Al avanzar sensiblemente el tiempo de enfriamiento (imagen derecha, $t=0,12$ s), destaca un enfriamiento más acusado en la parte central mientras que en el área contigua a la pieza, se produce un salto entre ambos lados de las grietas. Esto es debido al efecto de la grieta que al ser una discontinuidad en el material actúa como barrera al flujo de calor.

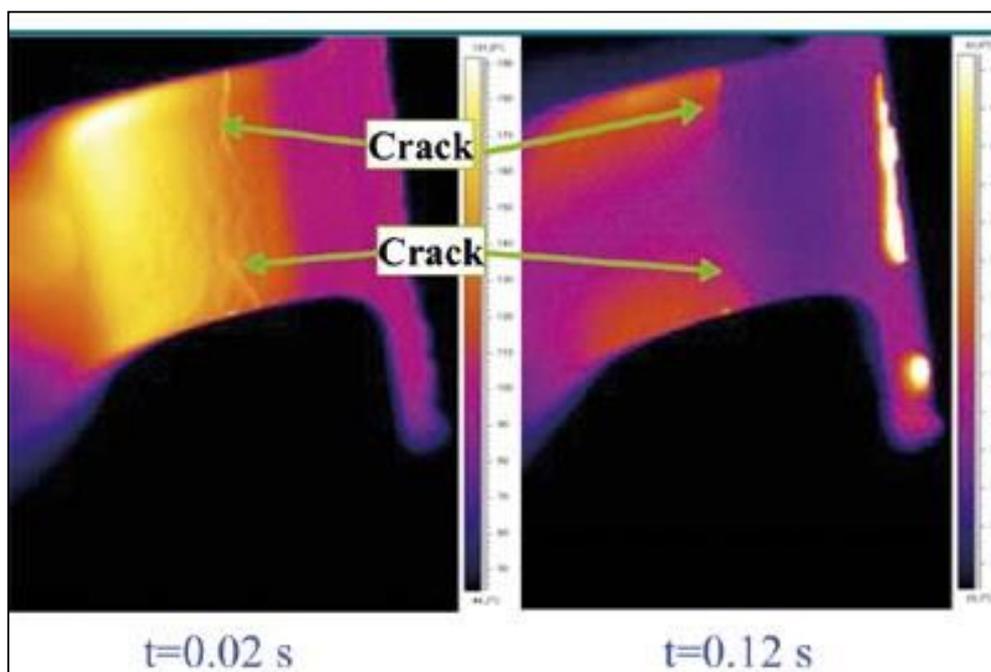


Figura 3-16. Termograma de una pieza de aluminio de una aeronave para dos tiempos de enfriamiento diferentes. [12]

De manera general, en la tabla 3.5 se muestran los pros y contras de la termografía infrarroja.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> - Resultados rápidos - No se requiere de contacto físico con la pieza - Interpretación sencilla de los termogramas - Aplicable a muchos materiales - Permite inspeccionar áreas relativamente amplias en un único ensayo - Permite detectar defectos subsuperficiales 	<ul style="list-style-type: none"> - Los materiales solo producen radiación infrarroja al encontrarse a temperaturas superiores a 0 K - Necesaria formación y experiencia previa de los operarios

Tabla 3.5 Ventajas y desventajas de la termografía infrarroja

Corrientes inducidas o Eddy

El ensayo por corrientes inducidas o corrientes de Eddy es una técnica no destructiva utilizada para detectar defectos superficiales o subsuperficiales en piezas de geometría sencilla (tubos, barras, cables...) conformadas con materiales eléctricamente conductores.

Este método está basado en el efecto de la inducción electromagnética. El principio físico de la técnica por corrientes inducidas es el siguiente. Se hace circular corriente eléctrica por el interior de un solenoide generándose en el mismo un campo magnético primario. Colocando el solenoide en las proximidades de la pieza metálica a inspeccionar de manera que el campo magnético primario sea perpendicular a misma, se generarán corrientes inducidas circulares en la pieza según figura 3.17. A su vez, esta corriente producirá un campo magnético (secundario) que se opone al generado por el solenoide (primario) y que por lo tanto modificará la impedancia del solenoide. La medición de la corriente que circula por la bobina en cada momento, será el parámetro que se registra y que permite detectar los defectos de acuerdo a la siguiente premisa. Los defectos internos, que no dejan de ser faltas de material, interrumpen el flujo de corriente inducida, generándose un campo magnético secundario menor.

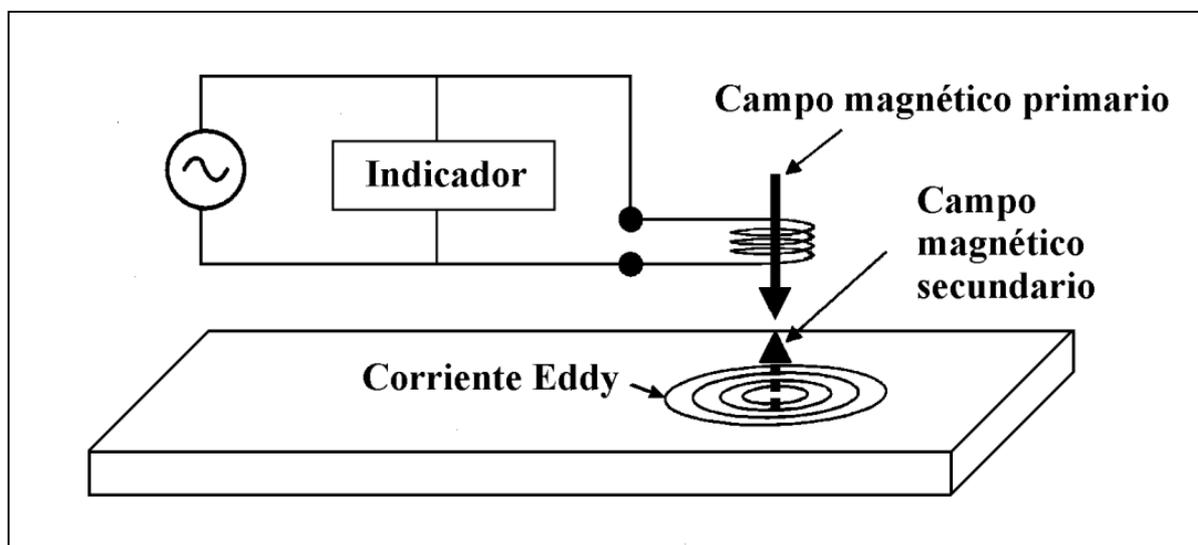


Figura 3-17. Principio físico del ensayo por corrientes inducidas [13]

La determinación de los parámetros de ensayo dependerá de las propiedades del material en el que esté fabricada la pieza objeto de estudio:

- Conductividad eléctrica: define la capacidad de un material para permitir el paso de corriente eléctrica a su través. Cuanto mayor sea la conductividad del material, mayor será la sensibilidad del método, pero menor la capacidad de penetración del mismo.
- Permeabilidad magnética: se define como la relación entre la inducción magnética existente y la intensidad de campo magnético que circula a través del material. Conceptualmente, describe la capacidad de un material para atraer y permitir el paso de campos magnéticos a su través.

Las aplicaciones de este método no se limitan únicamente a la detección de defectos, también permite determinar propiedades físicas de materiales o mediciones dimensionales:

- Detección de defectos: grietas, corrosión, daños superficiales, etc.
- Propiedades físicas de materiales: conductividad (para determinar áreas dañadas por el fuego), permeabilidad, dureza, o propiedades metalográficas que requieren el uso de bobinas especiales.
- Mediciones dimensionales: indicado para la medición de pequeños para los que el método presenta gran precisión. Se aplica habitualmente a la medición de espesores de pintura o recubrimientos aislantes.

De manera general, en la tabla 3.6 se muestran los pros y contras de la inspección por corrientes Eddy.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> - Resultados rápidos - Método sensible - Portátil - No se requiere de contacto con la pieza - Permite detectar defectos subsuperficiales 	<ul style="list-style-type: none"> - Equipo complejo - Sensible a variaciones de composición o estructura del material. - Profundidad máxima de ensayo, 6mm - Requiere de experiencia previa del operario para calibrar correctamente el equipo

Tabla 3.6 Ventajas y desventajas de la inspección por corrientes inducidas

3.1.3 Técnicas de Inspección Volumétrica

Radiografía industrial

La radiografía industrial es una técnica de inspección no destructiva muy extendida en la industria y en la medicina. El principio básico de este método consiste en emitir un haz de radiación electromagnética ionizante de elevada frecuencia y muy alta energía (rayos gamma o rayos X) sobre la pieza a inspeccionar. Este tipo de radiación tiene la particularidad de atravesar los cuerpos opacos sin reflejarse ni refractarse, siendo en parte atenuada por el propio material. Por lo tanto, dicho haz atravesará la pieza, pero su energía se verá atenuada por el material, que absorberá parte de esta energía. La cantidad de energía absorbida dependerá del espesor del material, de su densidad y estructura interna; propiedades que deberán tenerse en cuenta a la hora de seleccionar las condiciones de ensayo. La radiación remanente será impresionada sobre una sobre una película radiográfica. Cuanto mayor sea la intensidad de radiación que atraviesa el material, mayor será la intensidad de impresión de la placa.

En la figura 3-19, se muestra el principio operacional descrito anteriormente. Nótese cómo los defectos internos afectan en la absorción de radiación y que cuando la longitud mayor de los mismos se orienta en se orienta en dirección paralela al haz, menor es la cantidad de energía atenuada.

Esta técnica permite detectar porosidades así como grietas y cavidades internas en la pieza o incluso distinguir dos materiales con diferente densidad y propiedades.

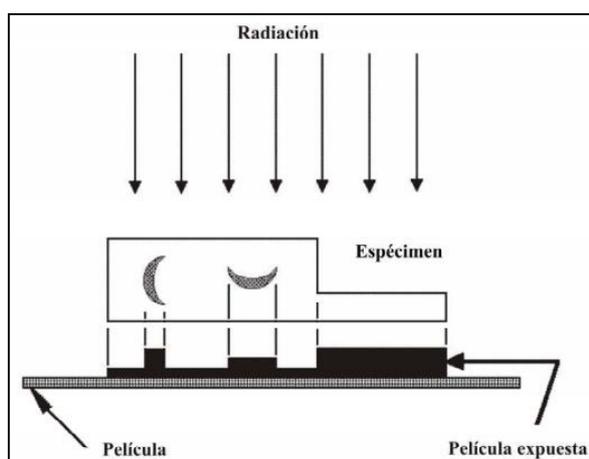


Figura 3-19. Esquema representativo de la formación de imágenes en una placa por radiografía industrial [14]

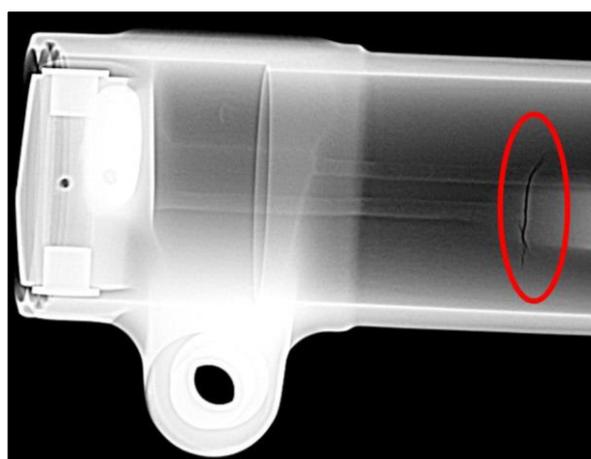


Figura 3-18. Detección de una grieta en un tren de aterrizaje utilizando el sistema de inspección radiográfica [23]

De manera general, en la tabla 3.7 se muestran los pros y contras de la radiografía industrial.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> - Método sensible - No requiere una preparación especial de la pieza - Aplicable sobre muchos materiales 	<ul style="list-style-type: none"> - Requiere de corriente eléctrica - Radiación nociva - Requiere de experiencia previa del operario - Necesario acceso a la pieza inspeccionada por ambos lados - No apta para detección de defectos laminares

Tabla 3.7 Ventajas y desventajas de la radiografía industrial

Ultrasonidos

La inspección por ultrasonidos es un método muy extendido en la industria ya que se sirve de un sistema portátil que permite obtener resultados inmediatos y precisos, pero en los que la formación y experiencia del inspector juegan un papel esencial.

La inspección por ultrasonidos se basa en la propagación de las ondas sonoras en un medio físico. A diferencia de la inspección por radiografía industrial en el que la pieza es atravesada por ondas de naturaleza electromagnética que no requieren de un medio físico para desplazarse, las ondas ultrasónicas son de naturaleza elástica y se transmiten por vibración a través de la propia pieza. Dado que las ondas ultrasónicas viajan a través del material, son muy sensibles a las discontinuidades internas y heterogeneidad del mismo. Tanto es así, que estas ondas son reflejadas cuando alcanzan una zona en la que existe un cambio brusco de impedancia Z . La impedancia acústica se define como el producto de la densidad del material por la velocidad del sonido en el material y representa la resistencia que opone un material a la propagación de las ondas a su través.

$$Z = \rho \cdot V \quad (3.1)$$

ρ = densidad del material (gr/cm³)

V = velocidad de propagación del sonido en el material (m/s)

A efectos prácticos, estos cambios bruscos de impedancia se corresponden con faltas de material (grietas, rechupes, inclusiones, escorias...).

Existen dos procedimientos de detección de defectos por ultrasonidos:

- Procedimiento de transmisión: en él se dispone de un emisor de ultrasonidos y un receptor. Se evalúa la cantidad de pulso que atraviesa la pieza colocando el receptor en la cara contraria al emisor.
- Procedimiento pulso-eco: en él se dispone de un cabezal piezoeléctrico que actúa tanto de emisor como de receptor. Se evalúa la cantidad de pulso que ha sido reflejado. Este procedimiento a diferencia del anterior, nos permite determinar la profundidad a la que se encuentra localizado el defecto.

Dado que el procedimiento pulso-eco es más completo que el de transmisión, será sobre el que desarrollaremos las características del método de ultrasonidos. El equipo de ultrasonidos para este procedimiento consta de 3 elementos como se puede apreciar en la figura 3-21:

- Equipo de medición (osciloscopio)
- Cable transmisor
- Transductor, cabezal o palpador: actúa tanto de generador de las ondas de frecuencia ultrasónica, como de receptor de las mismas. Contiene un cristal piezoeléctrico que convierte la energía eléctrica en vibraciones mecánicas (emisión) y las vibraciones mecánicas en energía eléctrica (recepción).

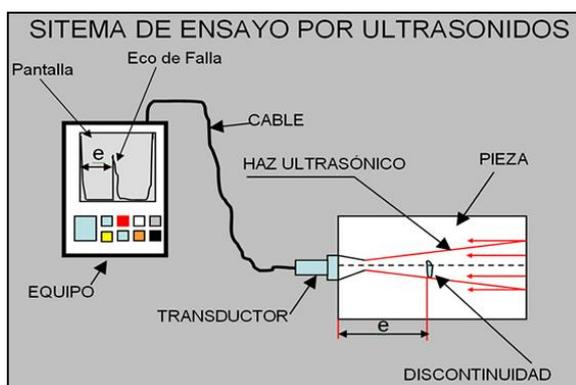


Figura 3-21. Componentes de un sistema de ensayo por ultrasonidos [16]

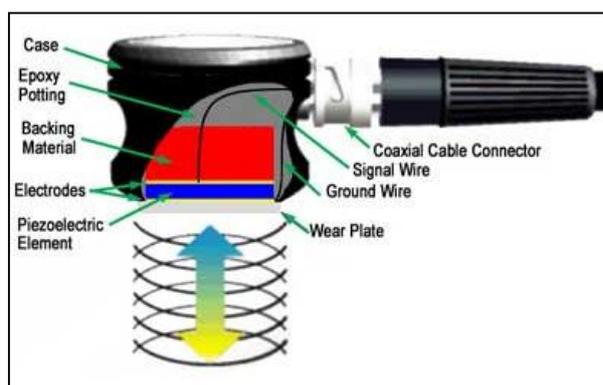


Figura 3-20. Esquema de un cabezal ultrasónico [15]

Además, como complemento al instrumento, debe utilizarse un acoplante (aceite, grasa o glicerina) de manera que los ultrasonidos puedan transmitirse entre el cabezal y la pieza sin que existan grandes pérdidas de energía en la interfase pieza-aire-cabezal.

Para utilizar adecuadamente un equipo de ultrasonidos debemos seleccionar correctamente la frecuencia de onda ya que para cada tipo de defecto y localización del mismo, la frecuencia será diferente. Podemos servirnos de las siguientes premisas:

- La discontinuidad a detectar debe tener una longitud superior a la mitad de la longitud de onda para tener una mayor probabilidad de detección.
- A mayor frecuencia, mayor sensibilidad de la inspección y mayor resolución en la detección de defectos cercanos a la superficie de control, pero menor penetración de la medición.
- En materiales porosos, con estructura de grano grueso, se pueden llegar a resultados erróneos si se utilizan elevadas frecuencias de onda ultrasónica ya que las ondas sonoras tienden a dispersarse. Es el caso de las fundiciones.

Aparte de los aspectos anteriores, se deben tener en cuenta otros parámetros relativos al equipo: propiedades del cristal, voltaje aplicado al cristal, material y diámetro del cabezal o procesamiento de datos del instrumento. Aunque se seleccionen correctamente los parámetros anteriores, es necesario que el trabajador esté formado y tenga experiencia previa en el método.

Existen varios tipos de representación de los datos obtenidos, pero lo más habitual es representar la cantidad de energía recibida por el cabezal en función del tiempo. En estos casos, la presencia y el tamaño de una discontinuidad se estima comparando la amplitud de la señal recibida con la obtenida utilizando un patrón. Si el material no presenta defectos, la señal recibida será constante en intensidad y posición. Sin embargo, si se alcanza una discontinuidad, la señal recibida se modificará bien sea disminuyendo la señal de la superficie posterior de la pieza o detectando la señal antes de lo esperado. En estos casos, la presencia y el tamaño de una discontinuidad se estima comparando la amplitud de la señal recibida con la obtenida utilizando un patrón.

En la figura 3-22, se puede observar un ejemplo de los resultados gráficos obtenidos en el control de una pieza con dos defectos internos A y B. Estos resultados son una superposición de las lecturas que se obtendrían al escanear la pieza de izquierda a derecha. Debe tenerse en cuenta que para cualquiera de las posiciones, aparecerán en la pantalla del display para el tiempo $t=0$ seg los pulsos IP correspondientes al reflejo de las ondas sobre la superficie del material. Vamos

a estudiar el resto de pulsos detectados por el equipo de ultrasonidos para cuatro posiciones diferentes en este recorrido:

- Posición 1: detección del pulso A correspondiente al reflejo de las ondas sobre la superficie A (opuesta e la superficie de escaneo).
- Posición 2: detección del pulso BW correspondiente al reflejo de las ondas sobre la superficie inferior BW (opuesta a la superficie de escaneo). Nótese que este pulso se detecta para el tiempo $t = 9$ seg mientras que el pulso A se detectaba para $t = 7$ seg. Esto se debe a la mayor distancia del palpador a la superficie BW.
- Posición 3 (sobre el defecto B): detección del pulso B correspondiente al reflejo de las ondas sobre el defecto B. En esta posición también se visualiza el pulso BW ya que parte de las ondas son reflejadas en la discontinuidad B pero alcanzan la superficie BW donde también son reflejadas.
- Posición 4 (sobre el defecto C): detección del pulso C correspondiente al reflejo de las ondas sobre el defecto C. Como en la posición 3, también se visualiza el pulso BW.

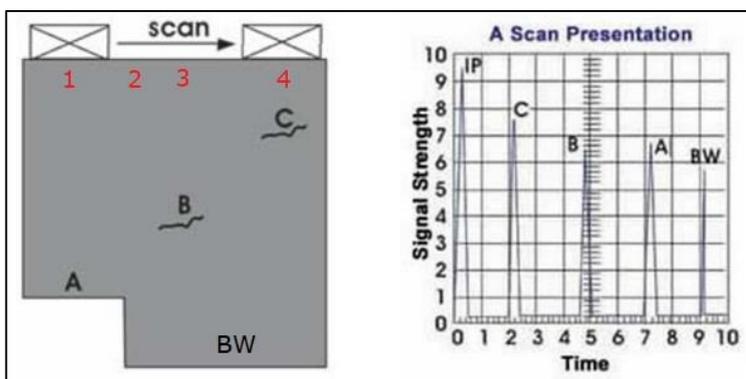


Figura 3-22. Ejemplo ilustrativo detección de defectos mediante el procedimiento pulso-eco. [15]

	IP	A	BW	B	C
1	█	█			
2	█		█		
3	█		█	█	
4	█		█		█

Tabla 3.8 Detección de pulsos en función de la posición del cabezal

Sin embargo, la interpretación de los resultados no es tan sencilla como se ha mostrado anteriormente. Debe tenerse en cuenta que no todo el pulso de energía que es reflejada es reconvertida, por lo que parte de ella es reflejada nuevamente en la interfaz entre la superficie de la pieza y el cabezal. Este efecto, se muestra en la figuras 3-23 y 3-24 de la página siguiente.

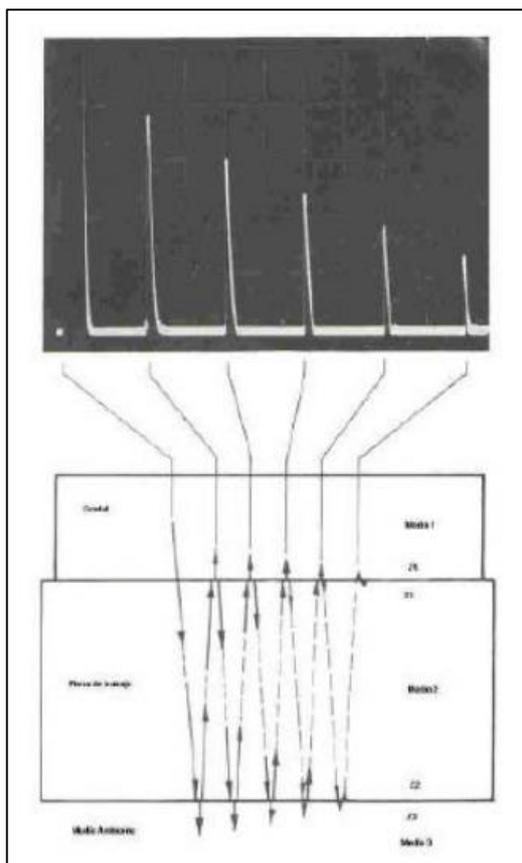


Figura 3-24. Visualización en procedimiento pulso eco. [15]

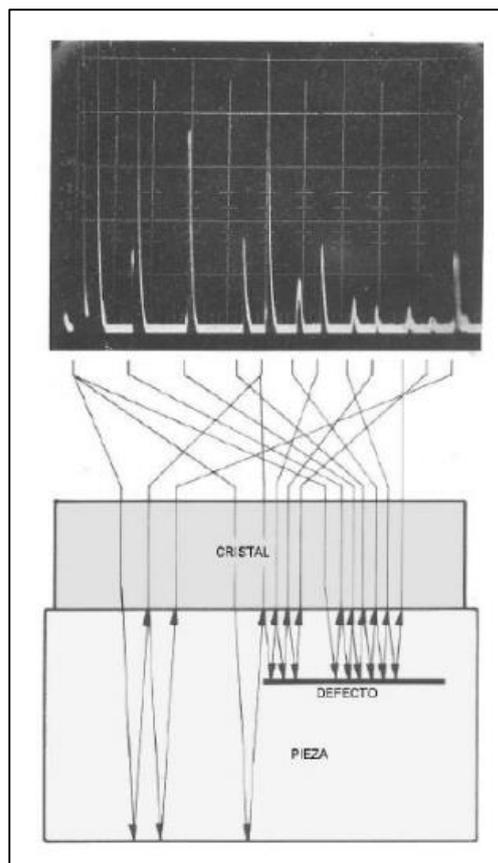


Figura 3-23. Visualización en procedimiento pulso-eco con fisura. [15]

Las aplicaciones de los ultrasonidos a la industria son muy extensas ya que es utilizado tanto en control de calidad como en mantenimiento preventivo: inspección de soldaduras, control de fisuras por fatiga, comprobación de laminaciones, piezas forjadas, etc.



Figura 3-26. Búsqueda de fisuras en materiales compuestos. [15]



Figura 3-25. Búsqueda de fisuras en control de calidad de engranajes. [15]

De manera general, en la tabla 3.9 se muestran los pros y contras del método de ultrasonidos.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> - Resultados inmediatos - Muy sensible - Elevada precisión - Portátil - Permite detectar discontinuidades superficiales e internas 	<ul style="list-style-type: none"> - Requiere corriente eléctrica - Necesidad de patrones para calibrar el instrumento - Requiere de experiencia previa del operario - Necesario conocer la orientación de la grieta para seleccionar la frecuencia de onda

Tabla 3.9 Ventajas y desventajas de los ultrasonidos

Emisión acústica

La emisión acústica es una técnica pasiva basada en la detección de las vibraciones generadas internamente por un material cuando se encuentra sometido a un estado tensional. Las fuentes o causas por las que se originan estas emisiones de pulsos vibratorios, de mayor a menor importancia, son las siguientes:

1. Generación y crecimiento de grietas.
2. Realineamiento molecular o crecimiento de dominios magnéticos debidos al efecto Barkhausen. Se denomina efecto Barkhausen al ruido producido cuando en un material ferromagnético sobre el que actúa un campo magnético, éste cambia.
3. Modificaciones microestructurales en los materiales: dislocaciones, cambios de fase...
4. Fractura de inclusiones frágiles o películas.
5. Rotura de fibras o delaminación en materiales compuestos.
6. Reacciones químicas que ataquen al material. Es el caso de la corrosión.
7. Sismos.

Aunque existen defectos que contribuyen más a la emisión acústica que otros, las propiedades estructurales internas del material pueden favorecer o no la generación de estas ondas vibratorias. Además, las condiciones ambientales y de trabajo de una pieza también influyen en la generación de emisiones acústicas.

PROPIEDADES	CONDICIONES OPERATIVAS
Anisotropía	Elevados esfuerzos
Impurezas	Bajas temperaturas
Fragilidad	
Elevado tamaño de grano	
Transformaciones de fase martensítica	
Propagación de grietas	
Secciones laminares	

Tabla 3.10 Propiedades y condiciones que favorecen la generación de emisiones acústicas

En la figura 3-27, se muestra el principio de funcionamiento de las emisiones acústicas.

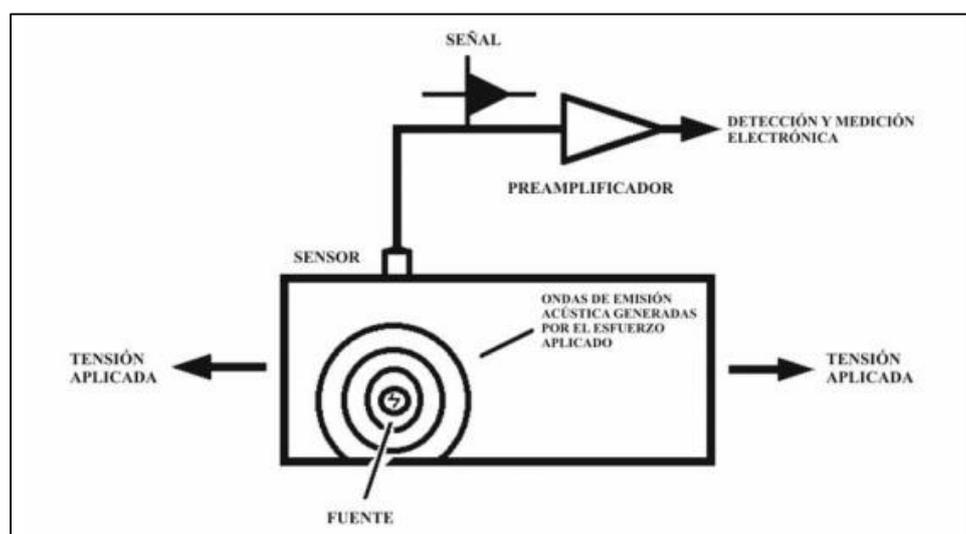


Figura 3-27. Esquema que muestra el principio básico de las emisiones acústicas [14]

La técnica no mide el tamaño de los defectos, pero localiza su presencia descubriendo puntos de potencial daño que podrían inducir a fallo del material. Es por esta razón que este método no es definitivo y requiere de otras técnicas que permitan obtener una inspección más detallada. Sin embargo, a diferencia de otras técnicas que detectan discontinuidades geométricas, la emisión acústica es capaz de detectar movimientos de los defectos internos de un material asociados a la integridad estructural del mismo. La tabla 3.11 compara el procedimiento de detección de defectos así como los principales problemas que presentan durante el ensayo el método de Emisión Acústica (EA) y los Métodos convencionales de pruebas No Destructivas (MND).

	EA	MND
Aspecto detectable	Crecimiento/movimiento de defectos	Presencia de defectos
Base de detección	En relación a la carga aplicada	En relación a la forma
Toma de datos	Más sensible al material	Más sensible a la geometría de la pieza
Área de evaluación	Global	Local
Principal problema	Ruido Evaluación de datos	Acceso Geometría Evaluación de datos

Tabla 3.11 Comparativa entre el método de EA y los MND

La emisión acústica presenta un inconveniente añadido, ya que es un proceso irreversible (efecto Kaiser). Según el efecto Kaiser, no se producirá emisión acústica hasta que el material no sea solicitado por encima del máximo estado de tensión al que haya sido sometido. De este modo, cada señal acústica solo podrá medirse una vez. Este hecho, sumado a la corta duración de los pulsos y su elevada velocidad de propagación (velocidad del sonido en el material), hace que se deban seleccionar correctamente los parámetros de ensayo desde el principio. Existe otro efecto asociado a la emisión acústica, el efecto Felicity, que se da en situaciones especiales en las que no se presenta el efecto Kaiser. El efecto Felicity se produce cuando se presenta emisión acústica en un material a un nivel de carga inferior a la máxima carga previa y se da en materiales próximos al fallo.

De manera general, en la tabla 3.12 se muestran los pros y contras de las EA.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
- Resultados inmediatos	- No detecta defectos estabilizados que no se propagan
- Detecta un defecto durante su desarrollo antes que otras técnicas	- No aplicable a todos los materiales
- Permite monitorear toda la pieza e un único ensayo	- No detecta el tamaño del defecto
	- Ensayo no repetible (efecto Kaiser)
	- Requiere corriente eléctrica
	- Requiere de experiencia previa del operario

Tabla 3.12 Ventajas y desventajas de las emisiones acústicas

Resonancia acústica

El ensayo de resonancia acústica es un método rápido que permite el análisis de grandes series de piezas. Se basa en el fenómeno de vibración libre de una pieza cuando sobre ella actúan fuerzas de magnitud variable en el tiempo. Todo cuerpo al vibrar libremente lo hace con una frecuencia propia de vibración. La presencia de defectos internos en la pieza hace que la vibración de produzca con una frecuencia natural diferente y que la pieza presente unos modos de vibración también distintos.

Mediante la resonancia acústica se puede detectar la presencia de los siguientes tipos de defectos: grietas, porosidades, cavidades internas...

El procedimiento a seguir para utilizar esta técnica es el siguiente:

1. Generación de vibración en la pieza. Para ello se utiliza un martillo de impacto. Dicho impacto se comporta como un pulso blanco proveyendo de energía constante a todas las frecuencias. Aquellas frecuencias alejadas de la frecuencia de resonancia del material se disiparán rápidamente, mientras que las cercanas a ella provocarán oscilaciones de mayor amplitud que se mantienen durante un período de tiempo mayor.
2. Captación de la respuesta acústica de la pieza. Mediante un micrófono, se recogen las ondas sonoras generadas por la vibración.
3. Gestión de datos. Los datos obtenidos anteriormente son multiplicados por una ventana Hann para reducir el efecto del manchado espectral o leakage y atenuar la distorsión de la señal debida al sonido del impacto del martillo. Posteriormente, se realiza la transformada de Fourier de los nuevos datos para identificar las frecuencias de resonancia que se corresponden con los picos del espectro.

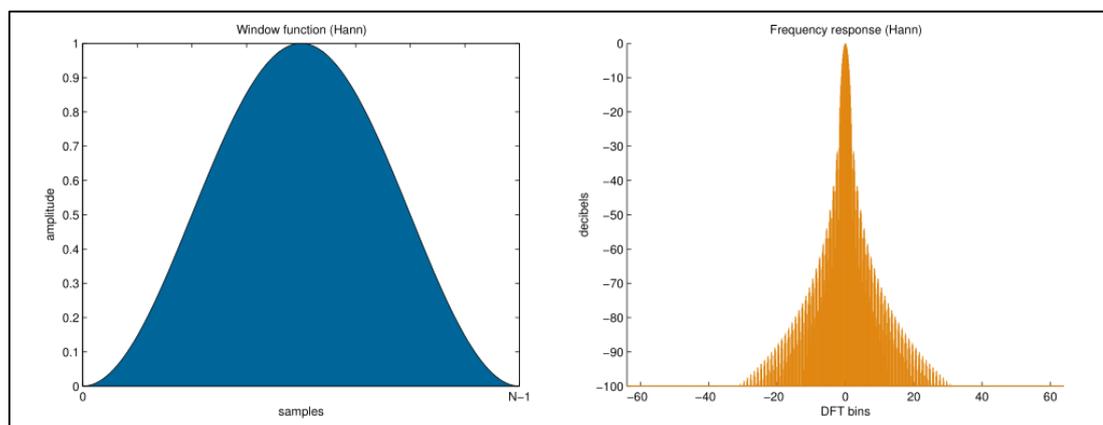


Figura 3-28. Función Hann (izquierda) frente a su respuesta a la frecuencia [21]

Función Hann

$$v(n) = a_0 - a_1 \cos \frac{2\pi}{N-1} \quad (3.2)$$

$$a_0 = 0,5 \quad a_1 = 0,5$$

Debe tenerse en cuenta que en el caso de piezas que poseen varios modos de vibración, no todos los modos son afectados por la presencia del mismo defecto. Solamente se verán afectados aquellos modos para los cuales la región de la pieza donde se sitúe el defecto sufre deformación variando la frecuencia de resonancia teórica. Según este fundamento, comparando el espectro de frecuencia de una pieza con defectos con una pieza de referencia (sin defectos), se podrán detectar piezas con defectos.

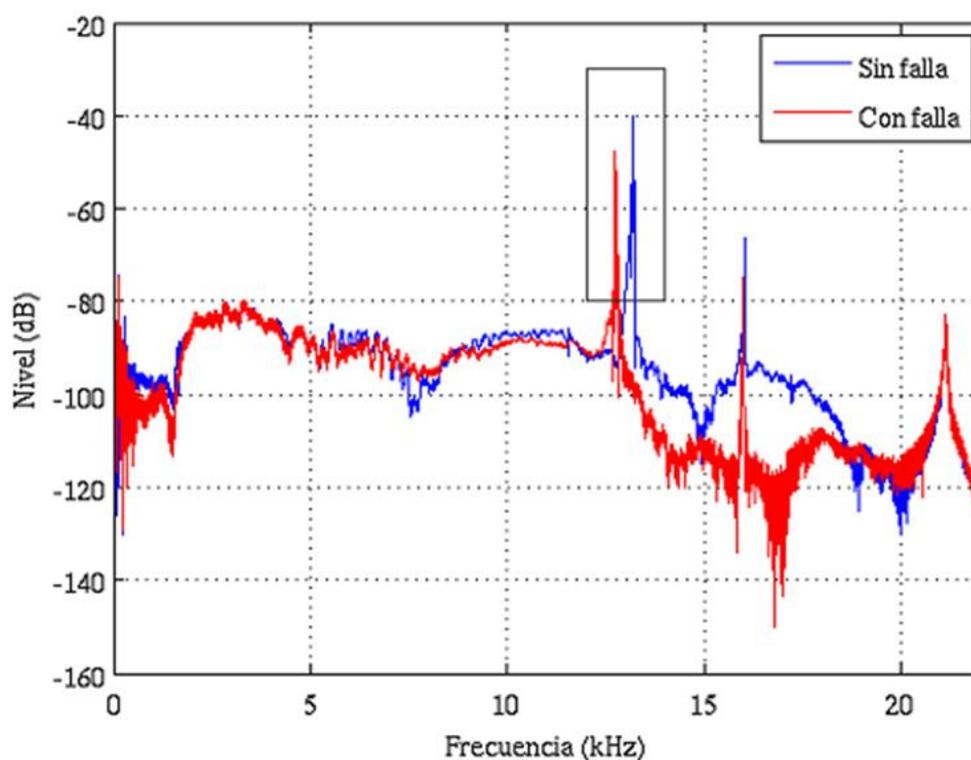


Figura 3-29. Espectro de frecuencia de una pieza con defectos frente a la pieza de referencia (sin defectos). [19]

Adicionalmente, el método puede tener las siguientes aplicaciones: control de dimensiones fuera de tolerancia, diferencias de densidad, dureza, modularidad... Sin embargo, no es aplicable a todos los materiales pero sí a fundiciones grises, fundiciones dúctiles, piezas sinterizadas o piezas cerámicas.

De manera general, en la tabla 3.13 se muestran los pros y contras de la resonancia acústica:

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> - Resultados inmediatos - Método rápido - Económico - Detecta defectos superficiales e internos - Permite monitorear toda la pieza e un único ensayo - Automatizable 	<ul style="list-style-type: none"> - No aplicable a todos los materiales - No detecta el tamaño del defecto - Problema en la detección de desgarros ya que interrumpen la propagación del sonido - En piezas de geometría compleja, la amplitud de frecuencias de resonancia se diferencian en unos pocos Hz

Tabla 3.13 Ventajas y desventajas de la resonancia acústica

3.1.4 Técnicas de Inspección de la Hermeticidad

Ensayos hidráulicos a alta presión

Se trata de una técnica muy extendida en la verificación de depósitos a presión así como en redes de tuberías. Permite verificar la hermeticidad de las juntas y soldaduras y en última instancia la resistencia mecánica de estos elementos.

El ensayo consiste en someter al sistema a una presión hidráulica superior a la presión de operación durante un tiempo, comprobando que no existen fugas. El fluido utilizado habitualmente es el agua (libre de aditivos y químicos corrosivos) debido a su bajo coste.

Este método se suele utilizar tanto para homologar la instalación nuevas instalaciones hidráulicas así como de reparaciones o ampliaciones en la misma.

Estudiaremos como ejemplo el procedimiento de la prueba de una red de tuberías de acero. Para poder realizar la prueba será necesario conocer las características de la instalación (diagrama de tuberías e instrumentación) de manera que se pueda acotar debidamente el tramo de control. El equipo necesario para realizar la prueba es el siguiente:

- Bombas de alta presión
- Manómetro
- Termógrafo

El procedimiento operativo es el siguiente:

1. Instalación de los sistemas de seguridad necesarios que aíslen la red de tuberías estudiadas del resto del circuito. De esta manera, en caso de fallo de las propias válvulas del sistema, la presión no se transmite a otros tramos del sistema que no se desean controlar.
2. Llenado de la tubería y expulsión del aire que pueda quedar retenido. Esta fase es muy importante ya que el aire podría interferir en los resultados obtenidos sin tener en cuenta el peligro que acarrea por tratarse de un fluido compresible.
3. Bombeo de agua al circuito y aumento gradual de la presión en etapas hasta alcanzar el 150% de la presión máxima de trabajo de la tubería. El tiempo que deberá mantenerse presurizado el sistema varía en función
4. En cada etapa, se registrará la presión en cada tramo y se realizará una inspección visual de localización de fugas. Adicionalmente, deberá tenerse en cuenta el efecto del aumento de la temperatura en el fluido que se encuentra en el interior de la tubería. Teniendo en cuenta todo lo anterior, en situación de estabilidad, cualquier reducción de presión mayor a 5psi puede indicar la presencia de una fuga.



Figura 3-30. Procedimiento operativo de una prueba hidrostática [28]

Ensayos neumáticos a alta presión

Se trata de un método análogo al anterior pero sustituyendo el uso de un líquido por el de un gas que debe ser seco y libre de aceite. El uso de gases a presión en la verificación de instalaciones de tuberías es una técnica peligrosa y que en caso de colapso, puede acarrear consecuencias desastrosas debido a la elevada energía del aire comprimido y la capacidad destructiva de la explosión generada. En la figura 3-31, podemos observar un ejemplo ilustrativo de estas consecuencias. El

ensayo estaba llevándose a cabo a 125 bares de presión. La brida de una tubería de 16 pulgadas falló, provocando daños muy importantes en el equipo. Además, una persona falleció en el accidente 15 personas resultaron heridas de diversa gravedad.

Las pruebas neumáticas no solo permiten detectar la presencia de fugas, sino que limpian y secan la red, dejándola lista para ser utilizada tras el ensayo. Este método se utiliza generalmente cuando no es posible utilizar otros métodos, como por ejemplo en caso de bajas temperaturas donde exista peligro de congelamiento de otros fluidos.



Figura 3-31. Colapso de una red de almacenamiento y transporte de fluido durante una prueba neumática [27]

Ensayos por pérdida de fluido

Existen varios métodos para detectar las pérdidas de fluido en una instalación o durante un ensayo hidráulico o neumático. Todos ellos son aplicables a los siguientes equipos:

- Recipientes y componentes herméticos: dispositivos electrónicos, circuitos integrados, motores...

- Sistemas herméticos: sistemas de refrigeración, sistemas hidráulicos, válvulas, tuberías, depósitos...
- Recipientes, componentes y sistemas generadores de vacío: juntas de expansión, tubos de rayos catódicos...

Comentaremos a continuación las técnicas utilizadas para detectar y cuantificar el tamaño de las fugas:

- Ultrasonidos: esta técnica es utilizada en la detección de fugas de gas o aire. El gas, al abrirse paso hacia el exterior, emite una señal ultrasónica detectable utilizando equipos especiales. Este método posee una sensibilidad comprendida entre 3 y 10 cm³/s.
- Pruebas de fugas por burbujeo: dentro de este grupo, existen dos variantes:
 - Técnica de presión directa: este método consiste en presurizar el elemento a inspeccionar para después sumergirlo en agua o bien aplicarle una solución (similar al agua jabonosa) superficialmente. El gas produce un brote de burbujas en la zona de fuga. Es por tanto un método cualitativo ya que no permite cuantificar exactamente la pérdida registrada.
 - Técnica de cámara de vacío: aplicable a aquellas piezas que no pueden ser presurizadas o bien a las que no se puede acceder por ambos lados, consiste en aplicar la solución salina sobre una superficie que actúe como barrera de presión. Posteriormente se genera una diferencia de presión en la zona, generándose burbujas en caso de fuga. Esta técnica, se utiliza en el control de las soldaduras de los depósitos a presión a las que solo se puede acceder por un lado. Posteriormente, se genera vacío en el interior del depósito mediante una cámara de vacío generándose la diferencia de presión entre el interior y el exterior.
- Detección de halógenos: se trata de un método de elevada sensibilidad (5-10 cm³/s). Consiste en presurizar la pieza con un gas trazador (habitualmente un halógeno) y mediante una sonda, inspeccionar la superficie exterior de la misma en busca de pequeñas emisiones de halógenos.

- Pruebas por cambios de presión: aplicable a elementos herméticos a los que se puede someter a alta presión o a vacío. Cuantificando la variación de presión en la pieza a lo largo del tiempo, es posible determinar la tasa de fuga.
- Espectrómetro de masas: esta técnica utiliza habitualmente helio como gas trazador. El espectrómetro de masas es el encargado de detectar la presencia de helio. El espectrómetro de masas es un dispositivo empleado para conocer la composición de una sustancia. Dada una muestra en estado gaseoso, ésta es ionizada mediante un haz de electrones y los iones son acelerados mediante un campo eléctrico y separados de acuerdo a su relación masa/carga mediante la acción de un campo magnético. Lo que se obtiene es la abundancia relativa de los distintos iones y la relación masa/carga permite identificar los iones, es decir, la composición de la muestra.

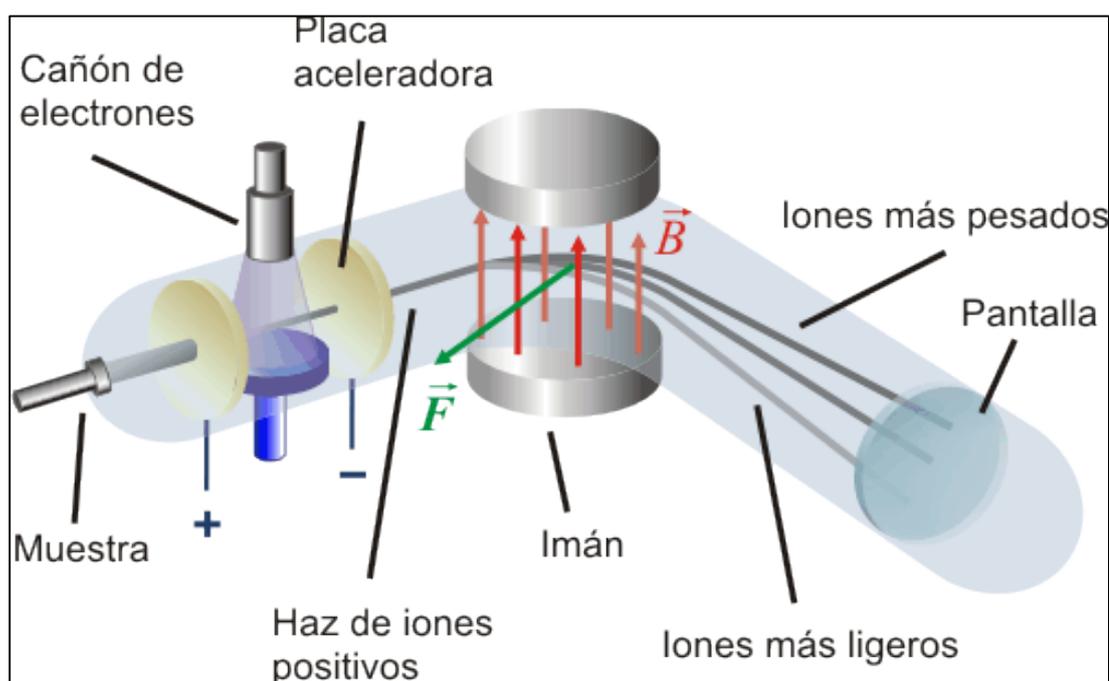


Figura 3-32. Fundamento de un espectrómetro de masas [31]

Existen tres modalidades diferentes para este método:

- Técnica de sonda de detección: en este caso, la pieza a controlar se presuriza con gas helio y con una sonda se examina la superficie exterior de la pieza para comprobar si existe presencia de helio, lo cual destaparía la presencia de fugas a través del espectrómetro de masas.

- Técnica de sonda trazadora: se hace el vacío en el interior de la pieza donde se encuentra conectado el espectrómetro de masas. A continuación, se rocía la pieza con helio mediante una sonda trazadora. En caso de existir alguna grieta, el helio se introducirá en el interior de la pieza debido a la diferencia de presión entre el exterior y el interior de la pieza. La presencia de helio en el interior de la pieza se detectará a través del espectrómetro de masas.
- Técnica de campana: en ella, se hace nuevamente el vacío y se conecta el espectrómetro de masas en su interior. A continuación, se cubre la pieza con una "campana", también llamada "envoltorio". Esta campana se llena de helio. En caso de existir algún resquicio en el material, el helio se abrirá paso hacia el interior de la pieza debido a la diferencia de presión, siendo detectado por el espectrómetro de masas. Este método, a diferencia del anterior (sonda trazadora), permite examinar una zona de gran tamaño de una sola vez.

Debe destacarse la elevada sensibilidad de este método. Dicha sensibilidad se debe al pequeño tamaño de las moléculas de helio, que pueden introducirse en grietas de muy pequeño tamaño y de esta manera detectar fugas imperceptibles por otros métodos.

3.2 NEUMÁTICA INDUSTRIAL

Podría definirse la neumática como una tecnología que emplea el aire comprimido para producir el movimiento de máquinas y mecanismos industriales. Este tipo de tecnología ya fue utilizada por los antiguos griegos; el matemático e inventor griego Ktesibios (285 a.C – 222 a.C) es considerado "el padre de la neumática". Escribió los primeros tratados acerca de la utilización del aire comprimido y los aplicó a la construcción de una catapulta. Sin embargo, que no fue hasta mediados del siglo XX cuando comenzó a investigarse el comportamiento del aire en su generación, distribución y aprovechamiento. Fue entonces cuando se sentaron las bases de una tecnología que hoy va de la mano de casi cualquier sistema de producción industrial automatizado.

Para poder diseñar correctamente el circuito neumático del fugómetro, estudiaremos cada una de las fases de tratamiento de aire comprimido desde su generación hasta su aprovechamiento. Adicionalmente, detallaremos los elementos neumáticos utilizados en cada fase, detallando el criterio de selección de los mismos de acuerdo a un correcto dimensionado del circuito y a una eficiencia del mismo.

3.2.1 Calidad del aire comprimido según ISO 8573.1:2010

Inicialmente, y antes de estudiar los componentes que integran los circuitos neumáticos, conviene hacer referencia a la clasificación del aire comprimido por su calidad. La calidad del aire comprimido se encuentra estandarizada según la norma ISO 8573.1:2010. Esta norma establece los niveles de pureza del aire en función de la concentración de sus principales contaminantes (partículas sólidas, agua y aceite). Este aspecto posee gran importancia ya que existen equipos neumáticos que requieren mayor calidad del aire de suministro que otros.

ISO8573 - 1:2010	Partículas sólidas				Agua		Aceite
	Número máximo de partículas por m ³			Concentración másica (mg/m ³)	Punto de rocío a presión de vapor	Líquida (g/m ³)	Concentración total en forma líquida, aerosol y vapor (mg/m ³)
Clase	0,1 - 0,5 µm	0,5 - 1 µm	1 - 5 µm				
0	Tal como especifique el usuario o el proveedor del equipo y más estrictos que la clase 1						
1	≤ 20 000	≤ 400	≤ 10	-	≤ -70 °C	-	0,01
2	≤ 400 000	≤ 6000	≤ 100	-	≤ -40 °C	-	0,1
3	-	≤ 90 000	≤ 1000	-	≤ -20 °C	-	1
4	-	-	≤ 10 000	-	≤ +3 °C	-	5
5	-	-	≤ 100 000	-	≤ +7 °C	-	-
6	-	-	-	≤ 5	≤ +10 °C	-	-
7	-	-	-	5 - 10	-	≤ 0,5	-
8	-	-	-	-	-	0,5 - 5	-
9	-	-	-	-	-	5 - 10	-
X	-	-	-	> 10	-	> 10	> 10

Tabla 3.14 Calidad del aire según ISO8573-1:2010 [43]

La denominación de la calidad de un determinado aire se realiza de acuerdo al siguiente criterio (aire de Clase a.b.c). De este modo, un aire de clase ISO 2.4.1,

utilizado habitualmente en la industria (troquelado, estampación, montaje, pintura acabado...) tendrá las características de la tabla 3.15:

Nomenclatura		Ejemplo (clase 2.4.1)	
Dígito	Significado	Dígito	Valor
a	Clase de partículas sólidas	2	0,1-0,5 μm $\leq 400\,000$ partículas/ m^3
			0,5-1 μm ≤ 6000 partículas/ m^3
			1-5 μm ≤ 100 partículas/ m^3
b	Clase de partículas de agua	4	Punto de rocío a presión de vapor $\leq 3^\circ\text{C}$
c	Clase de partículas de aceite	1	$\leq 0,01$ mg/ m^3

Tabla 3.15 Nomenclatura en la identificación de la clase de aire

El punto de rocío tiene gran importancia ya que condiciona la cantidad de condensados que se generarán en las redes de suministro y distribución de aire. En la figura 3.33 podemos contrastar cómo varía la humedad relativa de distintas calidades de aire en función de su temperatura. Si la humedad relativa se mantiene constante en el circuito, el rendimiento del sistema será mayor.

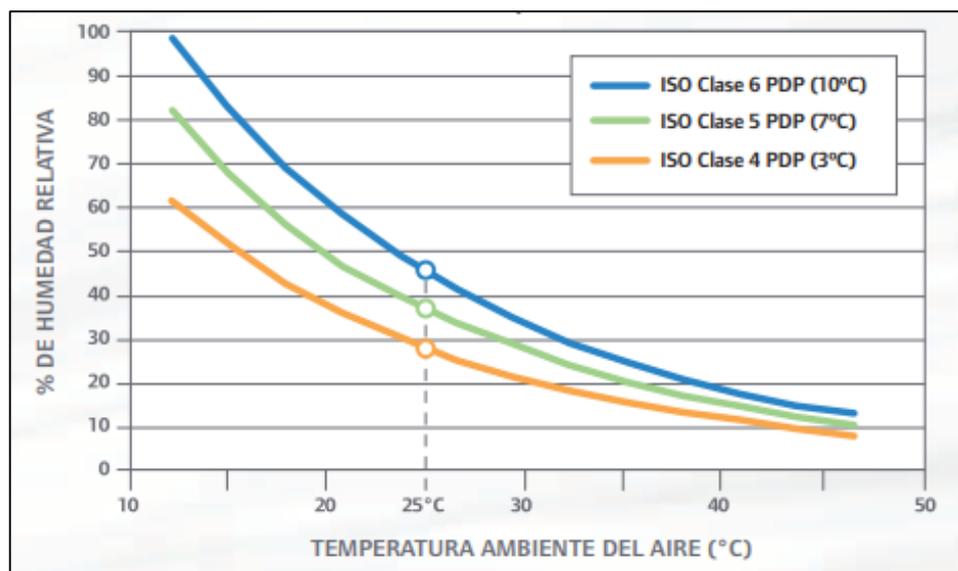


Figura 3-33. % de HR frente a temperatura ambiente del aire [44]

La presencia de contaminantes en el circuito viene condicionada por los siguientes factores:

- Aire atmosférico: el compresor de aire capta gran cantidad de aire atmosférico que posee en mayor o menor proporción los siguientes contaminantes:

- Vapor de agua
- Suciedad atmosférica
- Vapores de aceite, procedentes de motores de combustión generalmente.
- Microorganismos
- Compresor de aire: durante la compresión, si existe contacto entre el aire comprimido y el aceite lubricante del compresor, se producirá una contaminación del aire con residuos de aceite en forma de:
 - Aceite líquido
 - Aerosoles de aceite
 - Vapores de aceiteAdicionalmente, durante el postenfriamiento del aire a la salida del compresor, se producirá un condensado adicional de agua introduciéndose en el caudal de aire comprimido:
 - Agua líquida
 - Aerosoles de agua
- Dispositivos de almacenamiento y tuberías de distribución de aire comprimido: la presencia de humedad residual en la corriente de aire comprimido genera óxido e incrustaciones en las tuberías y favorece la proliferación bacteriana. Estos contaminantes son absorbidos por la corriente de aire que atraviesa estos conductos.

La circulación de estos contaminantes por el circuito provoca un deterioro prematuro de sus componentes y del proceso productivo:

- Desgaste y daño de componentes neumáticos y sistemas de distribución de aire.
- Corrosión de herramientas, tuberías y equipos.
- Orificios y válvulas obstruidos
- Acabados defectuosos
- Proceso productivo ineficiente (aumento de los costes de fabricación)

Por esta razón es de vital importancia tratar el aire a lo largo del circuito de manera que la cantidad de partículas del mismo se ajusten a la calidad exigida por los componentes neumáticos. De cara a obtener una referencia de la cantidad de partículas contaminantes que atraviesan un circuito, se puede establecer lo

3.2.2 Generación de aire comprimido

La generación de aire comprimido se lleva a cabo a través de compresores que son los encargados de tomar aire atmosférico y aumentar su presión, confiriéndole la energía necesaria para alimentar el resto del circuito. El aire comprimido es posteriormente almacenado en un depósito que permite estabilizar el suministro de aire al circuito.

Compresor

Ya hemos tratado la función que estos dispositivos poseen en la generación de aire comprimido. Sin embargo, en la selección del compresor más adecuado para un propósito concreto, deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

- Caudal mínimo necesario (m^3/min).
- Presión mínima necesaria para el funcionamiento de los elementos del circuito.
- Temperatura de descarga del aire comprimido.
- Condiciones del aire ambiente: temperatura, humedad, partículas en suspensión y altitud respecto al nivel del mar.
- Condiciones de descarga: sin aceite, refrigerada o seca.

Existen muy distintos tipos de compresores, cada uno de ellos idóneo para una aplicación diferente. Generalmente, estos dispositivos se clasifican en función de su principio de funcionamiento:

- o Compresores de desplazamiento positivo: son aquellos en los que el aire es comprimido en el interior de un recinto hermético mediante el movimiento lineal de un émbolo o una membrana.
- o Compresores dinámicos: basados en las leyes de dinámica de fluidos, convierten la energía cinética del aire en energía de presión.

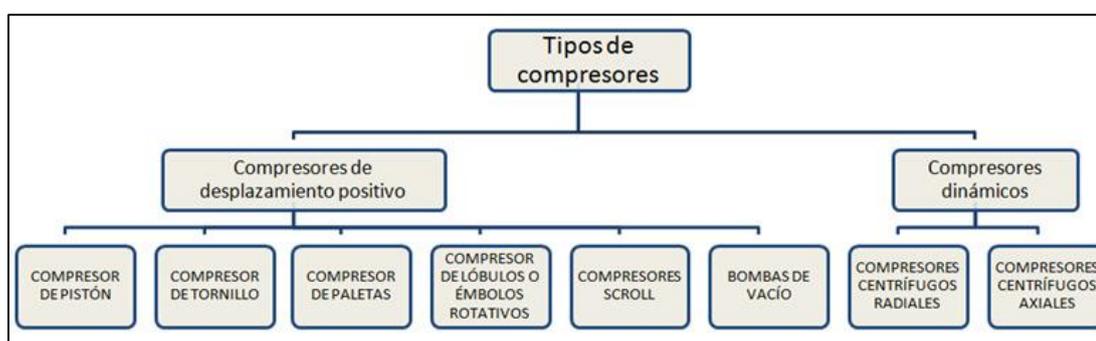


Figura 3-35. Clasificación de los compresores [38]

Estudiaremos algunos de los tipos de compresores más destacados para la aplicación industrial que nos compete:

Compresor de pistón

Es el tipo de compresor más común en la industria. Reciben este nombre debido a que la compresión del aire se produce por el movimiento alternativo de un pistón. El funcionamiento de un compresor de pistón obedece a un proceso cíclico:

1. Admisión de aire en el cilindro: con la válvula de admisión abierta, el pistón se desplaza desde el PMS hasta el PMI (carrera de admisión) llenándose el cilindro de aire atmosférico.
2. Compresión de aire: la válvula de admisión se cierra y el pistón se desplaza desde el PMI hasta el PMS (carrera de compresión). Situado el pistón en el PMS, se produce la apertura de la válvula de descarga, produciéndose la salida del aire a presión hacia el depósito. Expulsado el aire del cilindro, se cierra la válvula de descarga y se repite el ciclo.

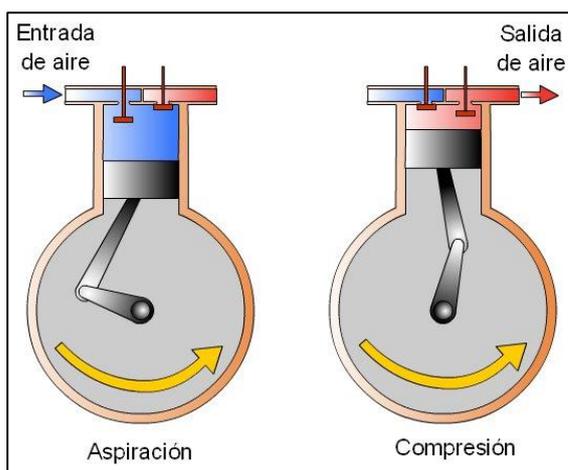


Figura 3-36. Fases de funcionamiento de un compresor de pistón de una etapa [32]

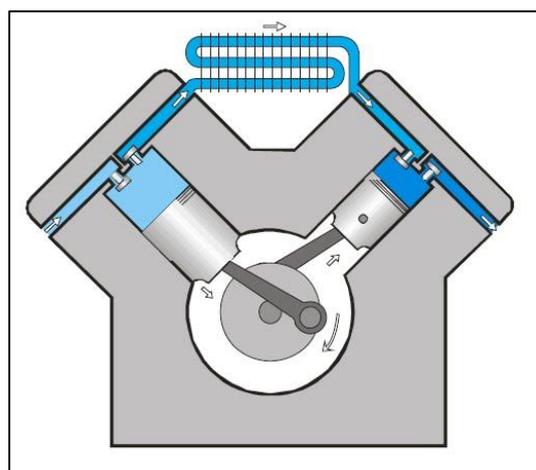


Figura 3-37. Compresor de pistón de dos etapas [32]

La relación de compresión e_c es el cociente entre la presión absoluta de descarga y la presión absoluta de admisión.

$$e_c = \sqrt[n]{\frac{p_{descarga}}{p_{admisión}}} \quad (3.3) \quad \boxed{n = \text{n}^\circ \text{ de etapas}}$$

Para relaciones de compresión superiores a 3,5 o 4, los compresores de una etapa no son los más adecuados ya que se requeriría de un pistón de gran tamaño y por lo tanto de un equipo voluminoso. Además, el rendimiento volumétrico del

compresor disminuye conforme aumenta la relación de compresión (figura 3-39); y dado que la compresión del aire genera un elevado calentamiento del mismo, si la relación de compresión es muy elevada, la temperatura de los gases de descarga también lo será. Una elevada temperatura de los gases puede ser perjudicial para los elementos mecánicos del compresor así como para la lubricación del mismo (carbonización del aceite lubricante).

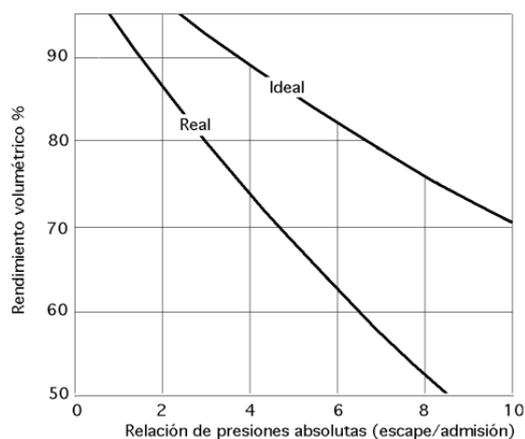


Figura 3-39. Rendimientos reales e ideales de un compresor de una etapa en función de su relación de compresión [34]

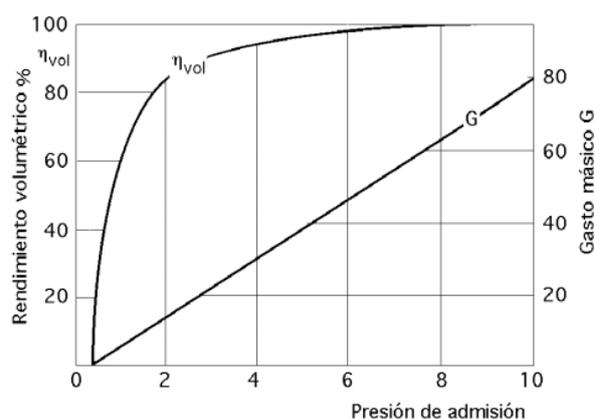


Figura 3-38. Influencia de la presión de admisión sobre el rendimiento volumétrico y el gasto másico ideal supuesta constante la presión de escape [34]

En la figura 3-36 se muestra el esquema de funcionamiento típico de un compresor de pistón de dos etapas. El aire comprimido en un primer cilindro (primera etapa), es refrigerado y comprimido nuevamente en una segunda etapa. En este tipo de compresores, la energía necesaria para realizar la compresión del aire es muy inferior a la que se requeriría si la compresión del aire se hubiera realizado en una única etapa.

En la tabla 3.17, se establece de manera sintetizada la presión que se puede alcanzar conforme se aumentan el número de etapas de compresión.

Número de etapas de compresión	Presión
1 etapa	3-4 bar
2 etapas	8-10 bar
3 etapas o más	Superior a 10 bar

Tabla 3.17 Presión de descarga en función del número de etapas de compresión

En general, este tipo de compresores poseen grandes ventajas frente a otras modalidades, pero también algunos inconvenientes.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> - Elevadas relaciones de compresión - Bajo coste de operación - Elevada robustez - Alta eficiencia a plena carga (con refrigeración intermedia) - Elevada relación $m^3/(\text{min} \cdot \text{CV})$ 	<ul style="list-style-type: none"> - Provoca un elevado calentamiento del aire - Requiere de lubricación - Funcionamiento ruidoso - Flujo de aire pulsante

Tabla 3.18 Ventajas y desventajas de los compresores de pistón

Compresores de tornillo o helicoidales

Existen dos variantes de compresores helicoidales:

- De dos rotores (Lysholm): compuestos de dos rotores o husillos roscados, uno motor y uno conducido. El husillo conductor posee cuatro o cinco dientes helicoidales mientras que el conducido posee seis. La relación de giro entre los dos es por tanto 6/4 o 5/4.

Por analogía a un compresor de pistón, podríamos decir que el husillo conductor sería el pistón (produce la compresión) mientras que el conducido actuaría como cilindro (espacio sobre el que se produce la compresión). Es decir, cada diente del rotor conductor actúa de pistón, primero cierra y después comprime el volumen inicialmente aspirado, por lo que un compresor helicoidal no es sino un compresor alternativo de seis cilindros helicoidales.

El funcionamiento de estos compresores obedece a un proceso cíclico:

1. Aspiración: se corresponde con el llenado de una de las cámaras de trabajo.
2. Desplazamiento a presión constante: en un primera parte del giro, conforme el husillo gira, la cámara de trabajo se desplaza helicoidalmente sin variar su volumen.
3. Compresión: en esta etapa, cada diente del rotor conductor engrana con cada cámara de trabajo desplazando el aire axialmente y reduciendo progresivamente el volumen de la cámara de trabajo.
4. Escape

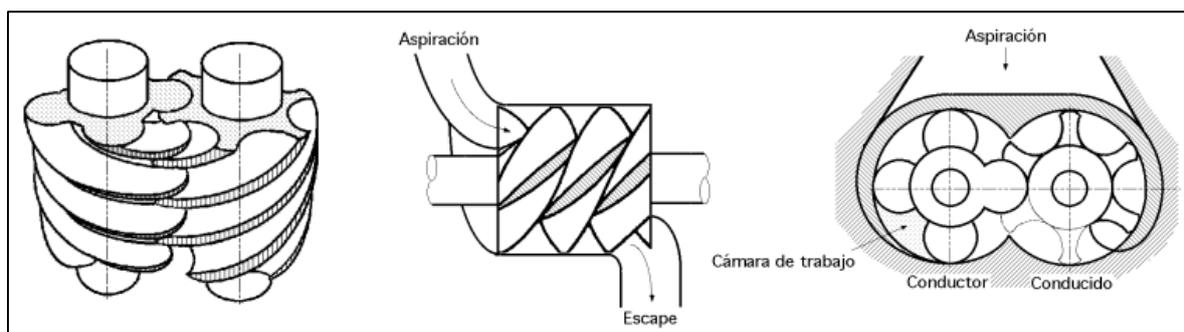


Figura 3-40. Tornillos de un compresor helicoidal de dos rotores [34]

- o De rotor único (Zimmern): compuestos de un único husillo (motor) que engrana con dos ruedas satélites idénticas (conducidas).

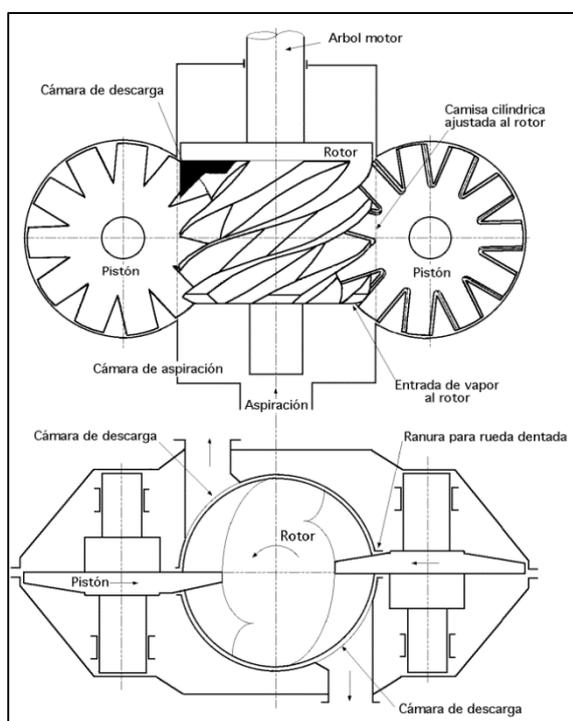


Figura 3-41. Compresor helicoidal de rotor único [34]

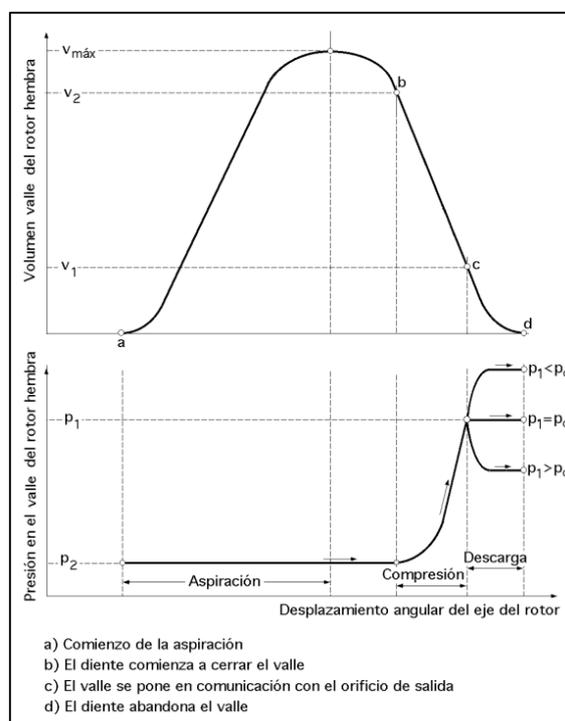


Figura 3-42. Funcionamiento del compresor helicoidal de rotor único [34]

El proceso de funcionamiento de estos compresores obedece también a un proceso cíclico:

1. Aspiración: se corresponde con el llenado de las cámaras de trabajo.
2. Compresión: conforme el husillo gira, las cámaras de trabajo se cierran finalizándose la aspiración y produciéndose la compresión del aire por efecto del movimiento del husillo sobre las ruedas.
3. Escape

Para reducirse las pérdidas por holguras y rozamiento entre partes móviles, si las exigencias de la calidad del aire no son muy restrictivas, suele utilizarse aceite lubricante entre las mismas. En estos casos, se requiere de un tratamiento posterior del aire una vez comprimido para eliminar el exceso de aceite.

Los compresores de tornillo presentan para su uso habitual (producción frigorífica) una gama de prestaciones según tabla 3.19.

Presión	Caudal
15-20 bar	600-4000 m ³ /h

Tabla 3.19 Prestaciones habituales de los compresores de tornillo

En la tabla 3.20, se establecen las principales ventajas y desventajas de los compresores de tornillo.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> - Fácil regulación - No poseen válvulas - No existe espacio muerto en la compresión - Caudal aportado continuo, sin pulsaciones - Silenciosos (sobre todo los de rotor único) - Bajo calentamiento del aire tras la compresión 	<ul style="list-style-type: none"> - Menor eficiencia a carga parcial que los compresores de pistón - La presencia de aceite lubricante en el aire comprimido requiere de un mantenimiento adecuado del separador aire/lubricante

Tabla 3.20 Ventajas y desventajas de los compresores de tornillo

Compresor de paletas deslizantes

Se trata de un compresor que presenta una excentricidad entre el eje del rotor y el del cárter. El rotor posee unas paletas que están permanentemente en contacto con las paredes del cárter por efecto de la fuerza centrífuga estableciendo diferentes cámaras de compresión, tantas como paletas tenga. Durante el funcionamiento del compresor se introduce aceite en el interior del estator para lubricar las paletas, enfriar el bloque y generar estanqueidad.

La regulación de estos compresores se produce a través de la válvula de gestión de admisión y de descarga.

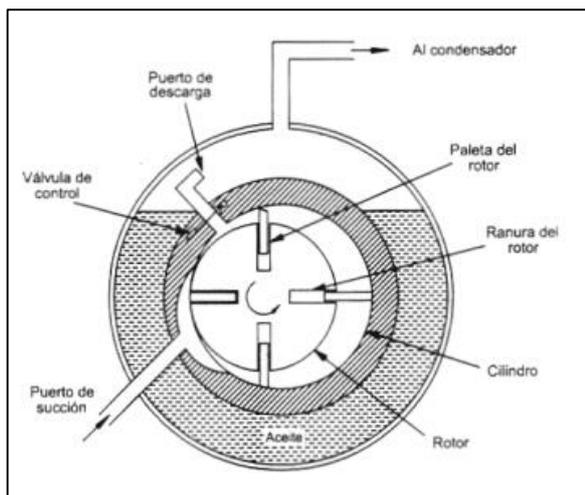


Figura 3-44. Elementos compresor rotativo de paletas [36]

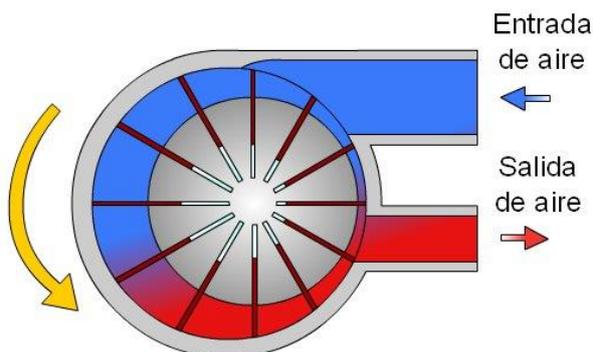


Figura 3-43. Flujo de aire un compresor rotativo de paletas [53]

En la tabla 3.21, se establece la gama de prestaciones de este tipo de compresores:

Presión	Caudal
3-5 bar	600-5000 m ³ /h

Tabla 3.21 Prestaciones de los compresores rotativos de paletas

En la tabla 3.22, se establecen las principales ventajas y desventajas de los compresores rotativos de paletas.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> - Reducidas dimensiones - Funcionamiento silencioso - Caudal aportado continuo, sin pulsaciones - Rendimientos volumétricos elevados 	<ul style="list-style-type: none"> - Fabricación complicada (requiere gran precisión)

Tabla 3.22 Ventajas y desventajas de los compresores rotativos de paletas

Compresor rotativo tipo Scroll

Podríamos considerar los compresores tipo Scroll como un sofisticado compresor rotativo de paletas en los que éstas últimas han sido reemplazadas por un rotor con forma de espiral que es también excéntrico con respecto al árbol motor. Sin embargo, en este tipo de compresores, la espira móvil (voluta móvil) no gira solidariamente con el rotor, sino que se traslada con él en una trayectoria paralela

a ella misma. La espiral móvil en su movimiento realiza la compresión contra una espiral o voluta fija (figura 3-46). Es en el centro de la voluta fija donde se sitúa el orificio de descarga.

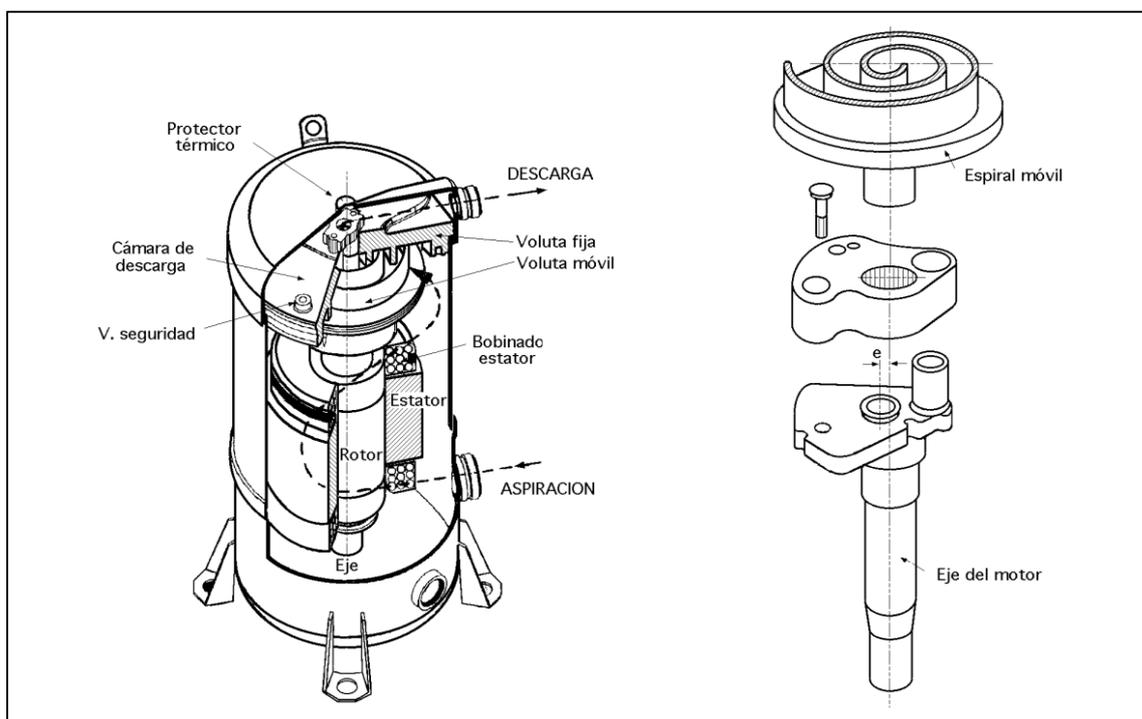


Figura 3-45. Vista del conjunto árbol motor-rotor del compresor Scroll, y conjunto espiral móvil-eje del motor [34]

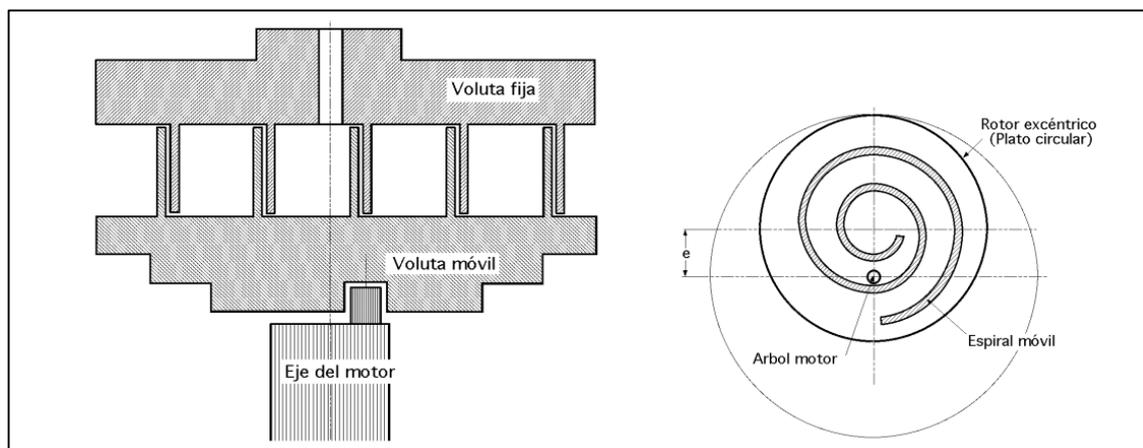


Figura 3-46. Volutas fija y móvil [34]

Dado que los perfiles de las dos espirales (fija y móvil) son de evolvente, según la teoría de engranajes, el movimiento relativo de la voluta móvil con respecto de la fija se realizará sin deslizamiento. La las fases de admisión, compresión y escape de gas se realizan conforme a la figura 3.47:

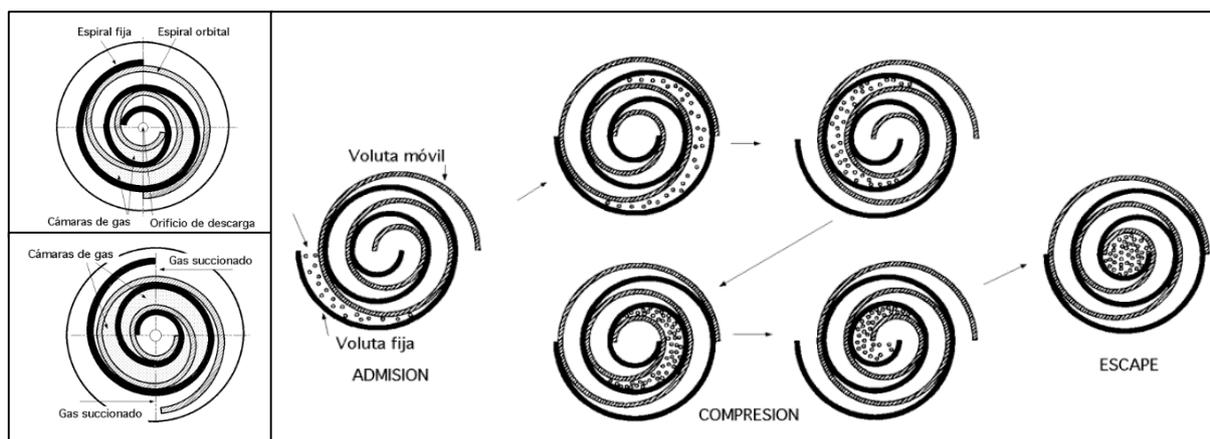


Figura 3-47. Etapas de funcionamiento del compresor Scroll [34]

En la tabla 3.23, se establecen las principales ventajas y desventajas de los compresores rotativos de tipo Scroll.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> - Rendimientos volumétricos elevados - Caudal aportado continuo, sin pulsaciones - Ausencia de válvulas de admisión y escape - Buen acoplamiento entre volutas (contacto continuo radial y axialmente) - Pequeño tamaño (entre 15% y 40% que su compresor alternativo equivalente) - Buen nivel sonoro - Vibraciones bajas 	<ul style="list-style-type: none"> - No apto para elevadas presiones (baja mucho su rendimiento por las holguras generadas entre voluta fija y móvil)

Tabla 3.23 Ventajas y desventajas de los compresores Scroll

Compresor de lóbulos o tipo Roots

Los compresores de lóbulos se denominan así porque posee dos rotores lobulados (bilobulares o trilobulares). Estos lóbulos están conectados a dos ruedas dentadas que giran a la misma velocidad pero en sentidos contrarios.

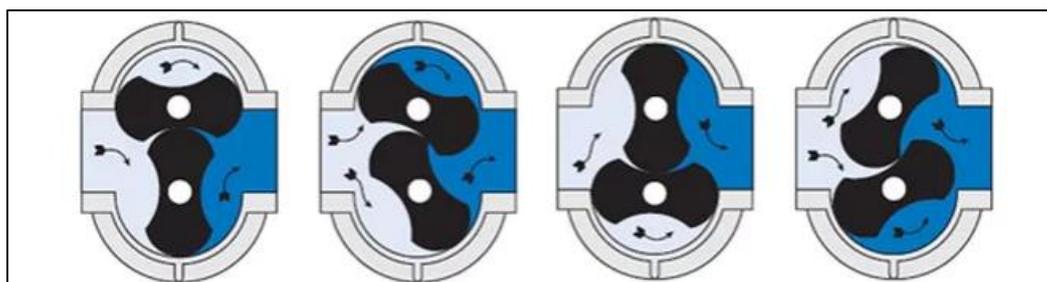


Figura 3-48. Etapas de funcionamiento del compresor Roots de rotores [54]

Los compresores tipo Roots transportan el aire aspirado sin modificar su volumen y por lo tanto sin generar apenas aumento de presión.

Estos compresores son utilizados como soplantes, en aplicaciones en las que se requiera de elevados caudales de aire libre de lubricante a baja presión. En la tabla 3.25 se establecen el caudal máximo así como la presión máxima habitual proporcionada por este tipo de compresores.

Presión máxima	Caudal máximo
2 bar	1500 m ³ /h

Tabla 3.25 Prestaciones máximas de los compresores tipo Roots

Compresores centrífugos

Estos compresores se sirven de la fuerza centrífuga del aire al describir una trayectoria circular para generar la compresión del mismo. Se utilizan para aplicaciones en las que se requiere de grandes caudales a baja presión. Es por esa razón que su uso no está muy extendido en la industria, siendo utilizados procesos

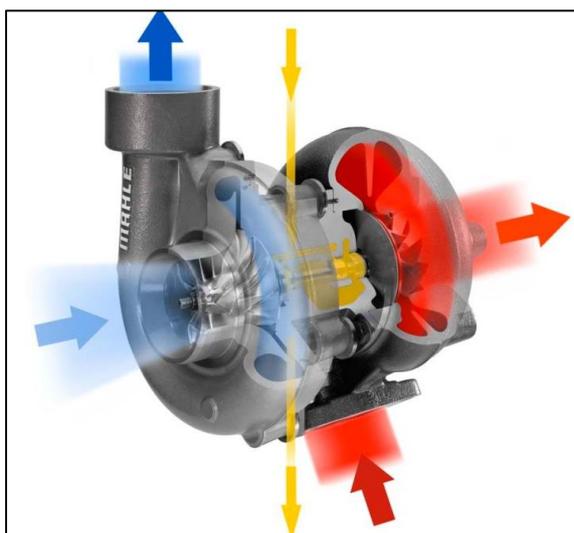


Figura 3-50. Flujo de aire a través de un compresor centrífugo radial [55]

para el procesamiento de aire o como turbocompresores en la sobrealimentación de motores de combustión.

Existen dos variantes de compresores centrífugos:

- Compresores centrífugos radiales: Estos compresores se componen de un rotor que gira en el interior de una carcasa espiral; pero en este caso, el aire aunque tomado axialmente, es expulsado a gran velocidad en sentido radial.

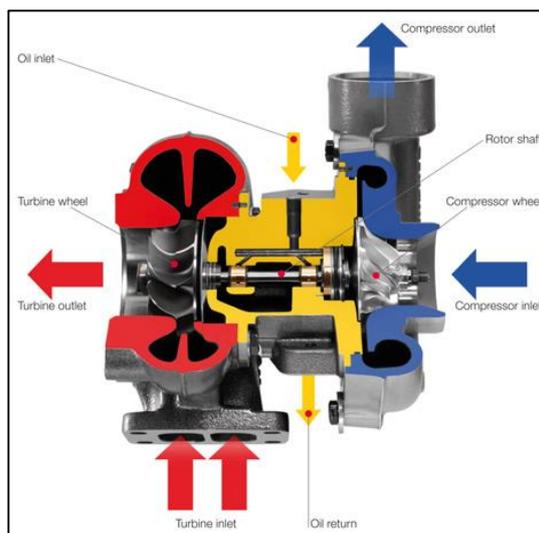


Figura 3-49. Componentes de un compresor centrífugo radial [55]

- Compresores centrífugos axiales: en ellos, el aire es tomado axialmente y forzado a realizar una trayectoria en espiral en sentido radial para posteriormente ser expulsado en sentido axial. Lógicamente, cuanto mayor sea la fuerza centrífuga, mayor será la compresión sufrida por el aire, es decir, mayor será la presión suministrada. Es por esta razón, que los compresores centrífugos giran a muy elevadas revoluciones (15000-20000 rpm).

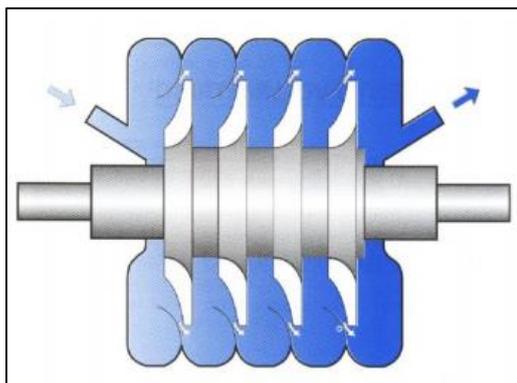


Figura 3-52. Flujo de aire a través de un compresor centrífugo axial [52]

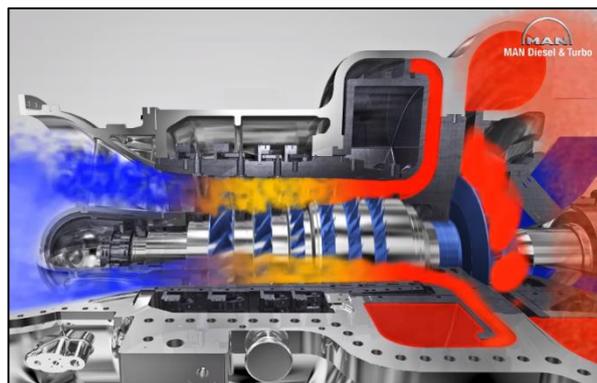


Figura 3-51. Compresor centrífugo axial [56]

En la tabla 3.26 se establecen las ventajas y desventajas de los compresores centrífugos.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> - Aire comprimido generado libre de aceite - Construcción compacta - Volumen reducido del compresor - Reducidas vibraciones - Regulación progresiva fácil 	<ul style="list-style-type: none"> - Las altas velocidades de giro que alcanzan somete a los rodamientos a elevados esfuerzos y reduce su vida útil

Tabla 3.26 Ventajas y desventajas de los compresores centrífugos

3.2.3 Almacenamiento y tratamiento del aire

El aire atmosférico presenta partículas en suspensión: líquidas (vapor de agua) y sólidas (polvo). Además, durante su compresión, puede contaminarse con restos de aceite provenientes del compresor y partículas de óxido provenientes de la instalación. Cuando el vapor de agua se mezcla con el aceite a altas temperaturas,

éste último se deteriora formando ácidos corrosivos. Todas estas partículas reducen la vida útil de los equipos neumáticos. Es por esa razón por la que deben eliminarse estas partículas del aire. A lo largo del circuito, se sitúan una serie de dispositivos con este fin (figura 3-53). Estudiaremos las situaciones más habituales de estos elementos:

- En la toma de aire del compresor: suele estar provista de un filtro grueso para eliminar partículas de gran tamaño así como de un sistema de refrigeración del aire que aumenta el rendimiento del compresor deshumidifica el aire.
- A la salida del compresor: suele situarse una unidad de refrigeración, un depósito de purga de condensados y un depósito acumulador. Todos estos elementos favorecen el secado del aire a presión.
- A la salida del depósito: suele proveerse de una unidad de mantenimiento (filtro, regulador de presión y lubricador) que trata el aire para que a su salida posea la calidad adecuada para un correcto funcionamiento del circuito.

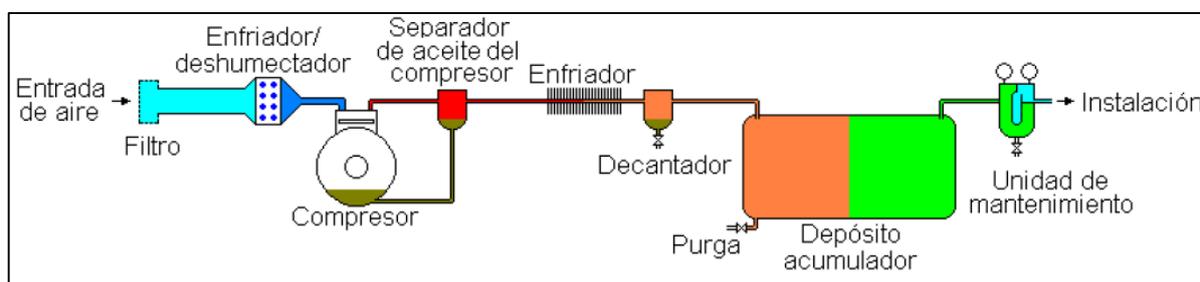


Figura 3-53. Instalación convencional de generación y tratamiento de aire comprimido [49]

Depósito de aire comprimido

Habitualmente, el aire, tras ser comprimido es almacenado en un depósito. De manera, se garantiza una estabilidad en el suministro de aire al circuito neumático, reduciendo las pulsaciones de aire provenientes del compresor. Sin embargo, esta no es la única función que cumple este componente:

- Actúa como reserva energética, permitiendo hacer frente a picos de consumo superiores a la capacidad del compresor.
- Permite regular la cantidad de aire suministrado al circuito, ya que habitualmente, la demanda del mismo es diferente a la capacidad del compresor.

- Ayuda al enfriamiento del aire comprimido. De esta manera, se produce una separación adicional de condensados de agua y aceite ya que el aire frío admite menor cantidad de estas sustancias que el aire caliente.
- Permite un funcionamiento interrumpido del compresor (con paradas de descanso). De este modo, se garantiza una mayor vida útil del compresor.

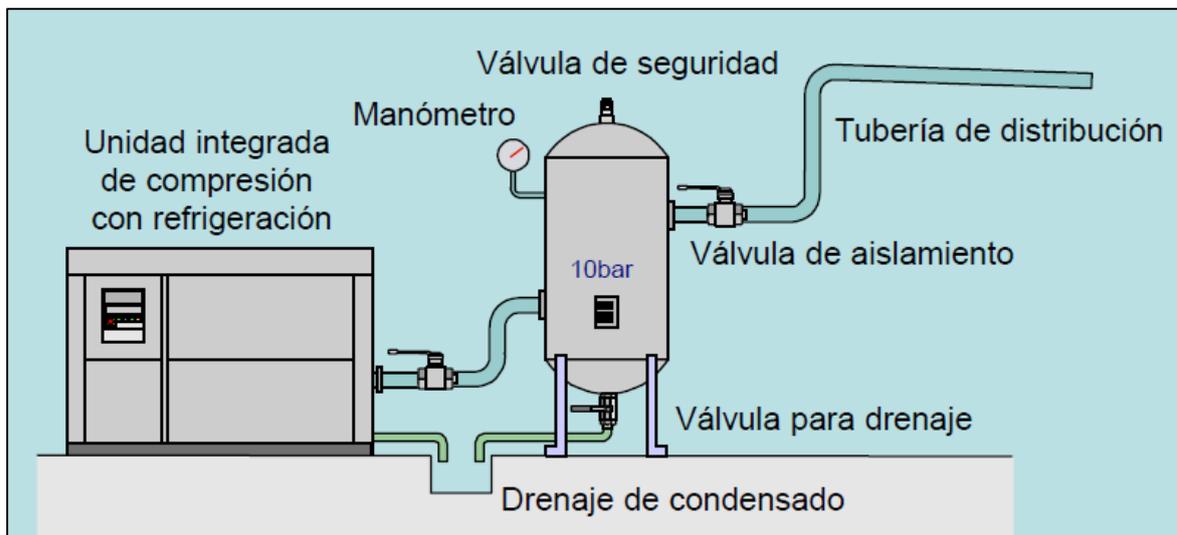


Figura 3-54. Sistema básico de un depósito de aire a presión [49]

El depósito incorpora una serie de accesorios fundamentales para que éste cumpla su función correctamente:

- Válvula de seguridad.
- Manómetro, generalmente anexo a un termómetro.
- Drenaje de condensado.
- Presostato de mínima-máxima presión para el control de arranque y parada del compresor.
- Válvula de aislamiento.

Filtros de aire

Como ya se ha comentado, se requiere de filtros para eliminar las partículas sólidas presentes en el aire. De los elementos filtrantes debe cumplir una serie de exigencias:

- Baja pérdida de carga
- Elevada duración
- Cambio y mantenimiento sencillos
- Ausencia de productos corrosivos que dañen el equipo

La limpieza del aire a través de un elemento filtrante suele realizarse por etapas, reteniendo las partículas de mayor tamaño en las primeras etapas y las más pequeñas en las últimas.

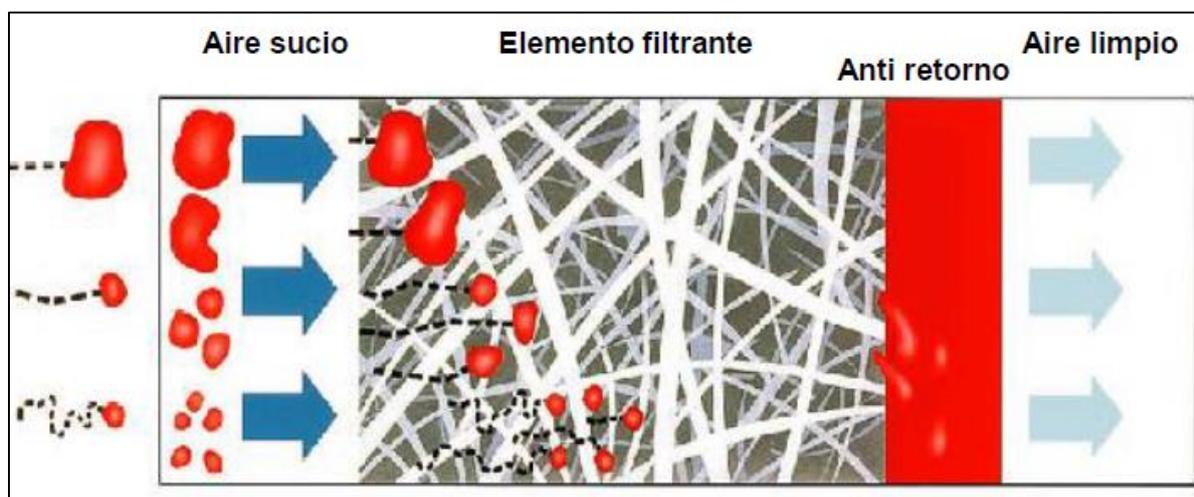


Figura 3-55. Retención de partículas sólidas en elementos filtrantes [49]

Etapa	Eficiencia	Tamaño mínimo de partícula retenida
1	98 %	10 μm
2	Función del panel específico del circuito	
3	98%	4 μm
4	99,7 %	2 μm

Tabla 3.27 Eficiencia y tamaño de partículas retenidas en las diferentes fases de filtrado

Para las aplicaciones neumáticas más habituales se utilizan filtros de aire estándar. Para conseguir una mayor calidad del aire comprimido, se utilizan filtros submicrónicos coalescentes y de carbón activo.

Tecnologías de los equipos de purificación	Reducción/eliminación de la contaminación							
	Agua condensada	Vapor de agua	Aerosoles de agua	Suciedad atmosférica y partículas sólidas	Microorganismos	Vapores de aceite	Aceite líquido y aerosoles de aceite	Óxido e incrustaciones
Separadores de agua	.							
Filtros coalescentes		
Filtros de adsorción						.		
Secadores de adsorción		.						
Secadores de refrigeración		.						
Filtros de eliminación de polvo				.	.			.
Filtros microbiológicos*					.			

Tabla 3.28 Eliminación de contaminantes según el tipo de filtro [42]

Filtro estándar

Un filtro de aire estándar posee un deflector centrífugo que crea un movimiento ciclónico del aire, obligándolo a atravesar un elemento filtrante que retiene las partículas sólidas y de aceite, expulsando las pequeñas gotas de condensado hacia el exterior del vórtice por acción de la fuerza centrífuga. Las partículas líquidas y sólidas filtradas caen a la parte inferior del vaso a través de las aberturas existentes en el deflector-separador inferior y son eliminadas por la purga del condensado.

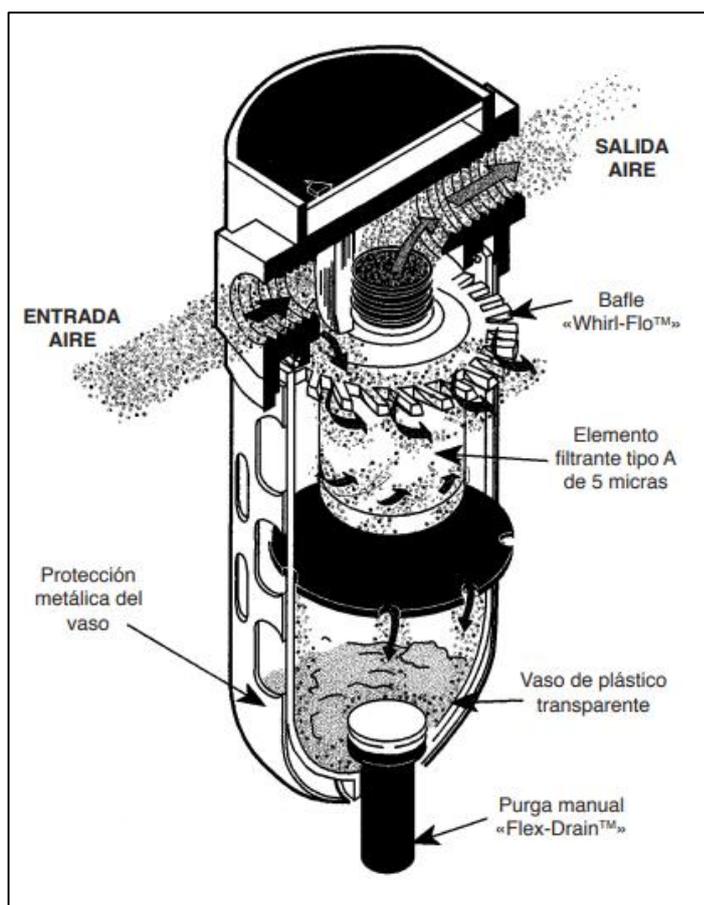


Figura 3-57. Elementos de un filtro de aire estándar [42]

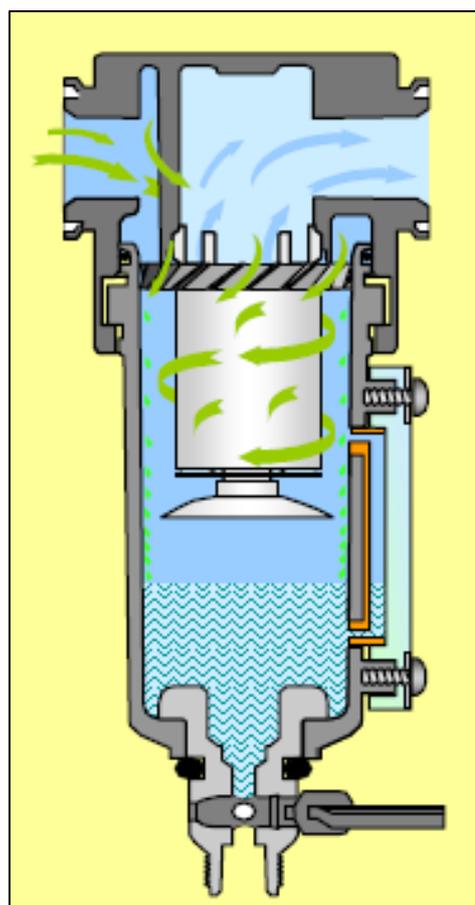


Figura 3-56. Flujo de aire a través de un filtro de aire estándar [49]

Filtro submicrónico coalescente

Los filtros submicrónicos están diseñados para separar partículas sólidas, agua y aceite cuyos tamaños sean inferiores a $0,01 \mu\text{m}$. El aire proporcionado por estos filtros presenta una concentración de aceite por debajo de 0.01 ppm a 21°C y una presión de 7 bares, utilizando un lubricante standard de compresor. Es por esta

razón por la que se utilizan en aquellos circuitos que requieran aire comprimido de alta calidad.

El proceso de microfiltrado de este tipo de filtros es el siguiente. El aire entra al interior del elemento filtrante atravesando las siguientes capas:

1. Una pantalla perforada de acero inoxidable
2. Una capa de microfibras de vidrio borosilicato, donde se produce la microfiltración.
3. Una cubierta de plástico esponjoso. Este elemento impide el paso de las partículas de líquido que han atravesado las capas anteriores. De este modo, se consigue frenar su movimiento cayendo al fondo del vaso donde se extraerán mediante el correspondiente dispositivo de purga.

A veces, estos filtros incorporan un indicador de presión diferencial para controlar el estado de saturación del elemento filtrante. Cuanto mayor sea su saturación, mayor será la caída de presión registrada. Para alargar el tiempo de vida de la capa de microfibras, se recomienda la instalación de un filtro estándar que atrape las partículas de mayor tamaño.

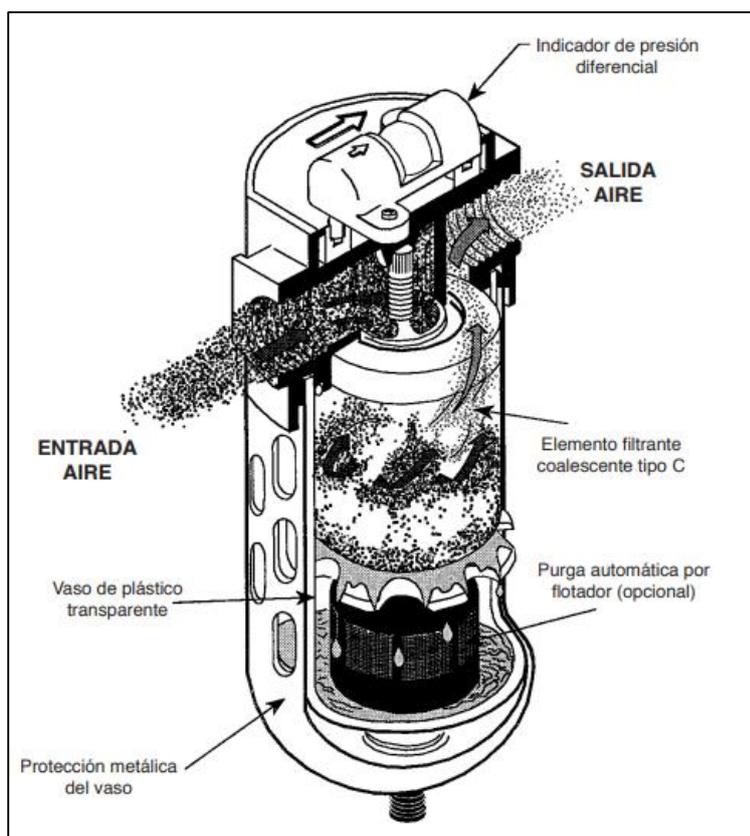


Figura 3-59. Elementos de un filtro submicrónico coalescente [42]

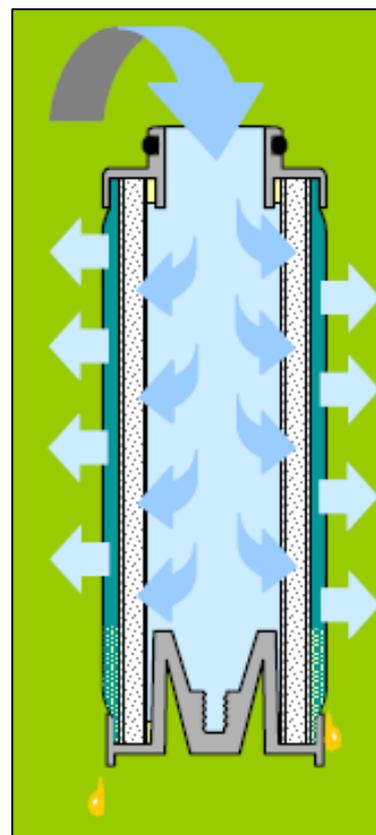
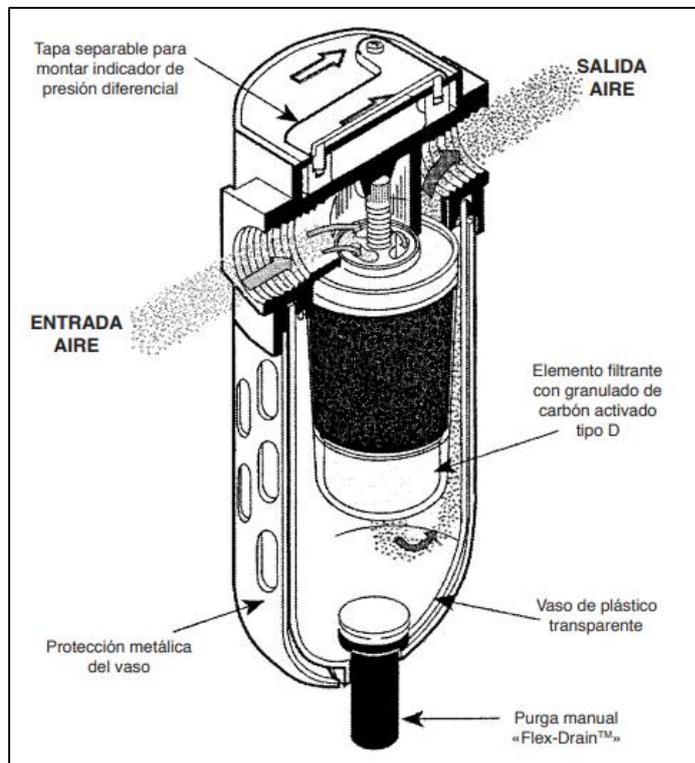


Figura 3-58. Flujo de aire a través de un filtro submicrónico coalescente [49]

Filtros submicrónicos con carbón activo

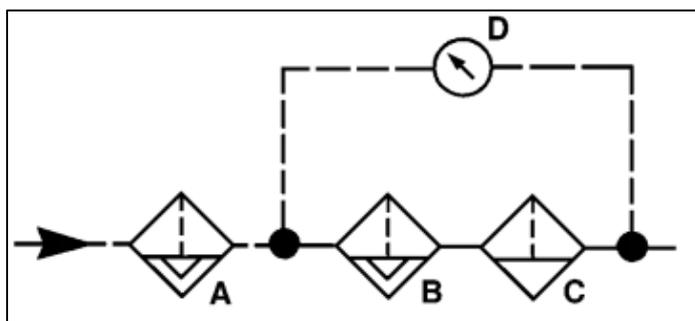
El aire comprimido, después de haber atravesado un filtro estándar y un filtro submicrónico coalescente, aún puede contener vapores de aceite provenientes del compresor. El máximo contenido de aceite remanente en el aire saliente del filtro es inferior a 0,003 ppm a 20 °C y 7 bar de presión.



El elemento filtrante que incorpora este dispositivo posee un granulado de carbón activo compuesto de microfibras neutras de borosilicato estratificado. Para partículas de tamaño especialmente reducido, este granulado está contenido en el interior de una cápsula de plástico con insertos de filtro en plástico poroso.

Figura 3-60. Elementos de un filtro submicrónico con carbón activo [42]

Debe tenerse en cuenta que este elemento filtrante solamente puede retener partículas líquidas secas. En caso de que el flujo de aire transporte líquidos, este dispositivo pierde su eficacia. Por ello, los filtros submicrónicos con carbón activo deben instalarse a continuación de un filtro submicrónico coalescente.



Ref.	Elemento
A	Prefiltro (5 micras)
B	Filtro submicrónico
C	Filtro submicrónico con carbón activo
D	Manómetro diferencial

Figura 3-61. Instalación característica de filtros submicrónicos [42]

Tabla 3.29 Elementos instalación figura 3-61

Filtros secadores

Este tipo de filtros eliminan la humedad presente en la corriente de aire que aún no ha condensado, para evitar que se acumule agua en el interior del circuito y así prevenir la oxidación y la proliferación de microorganismos. Existen distintos tipos de filtros secadores: secadores por absorción, secadores por adsorción, secadores frigoríficos y secadores de membrana.

Conviene hacer un inciso sobre la diferencia entre los materiales absorbentes y adsorbentes:

- Material absorbente: permite que las moléculas de otro material penetren dentro de él.
- Material adsorbente: permite que las moléculas de otro material sean atraídas y acumuladas sobre su superficie.

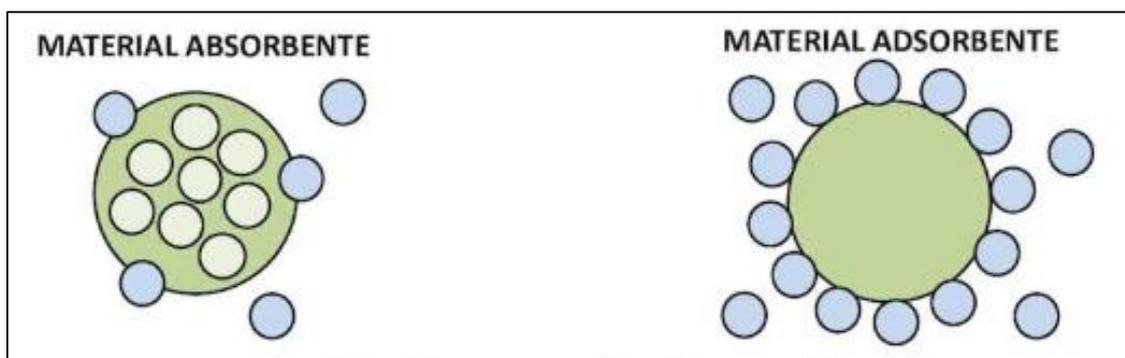


Figura 3-62. Comportamiento material absorbente frente a material adsorbente [45]

Filtros secadores por absorción

Estos filtros realizan el secado mediante un adsorbente sólido compuesto de una sustancia higroscópica de elevada porosidad (alúmina, carbón activado, gel de sílice, etc.). El principio de funcionamiento de este filtro es el siguiente: el aire a presión al acceder al filtro atraviesa este material secante que absorbe la humedad hasta que se satura y la humedad comienza a caer en forma de gotas al depósito de condensados para ser eliminada posteriormente. Este

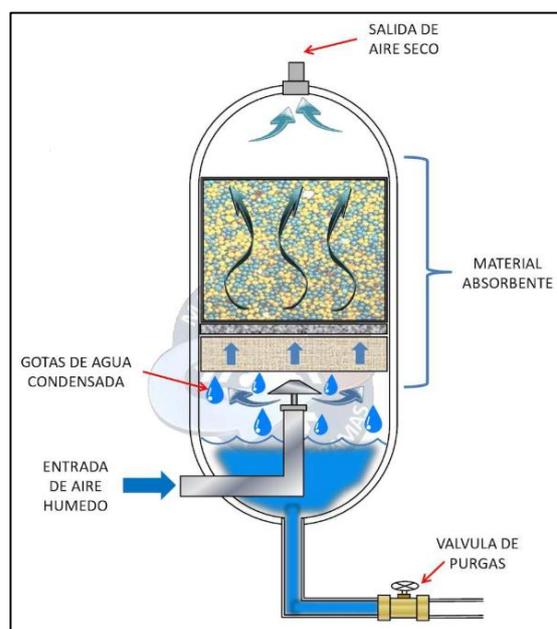


Figura 3-63. Filtro secador por absorción [45]

adsorbente debe ser regenerado periódicamente ya que su capacidad de filtración merma mucho cuando se satura.

Filtros secadores por adsorción

Este sistema se compone de dos depósitos de material adsorbente en forma de pequeñas bolas. Se trata de un proceso cíclico de manera que mientras uno de los depósitos se encuentra adsorbiendo, el otro se encuentra regenerando. Se denomina regeneración al proceso por el que se retira el aire retenido por el material adsorbente haciendo pasar aire seco a su través.

Existen dos métodos de regeneración:

- Sin aporte de calor: se utiliza parte del aire secado por el primer depósito (10% aproximadamente) para regenerar el material adsorbente del segundo. Incorpora una válvula de 4 vías que invierte el flujo de aire para que la torre que se encontraba adsorbiendo pase a regenerar y viceversa.
- Con aporte de calor: se utiliza un generador de aire caliente para regenerar el material adsorbente.

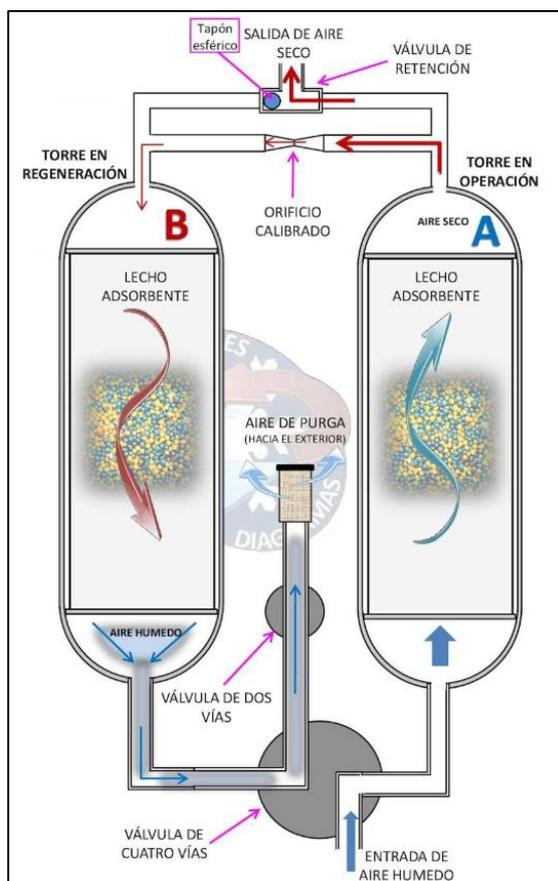


Figura 3-65. Secador por adsorción sin aporte de calor [45]

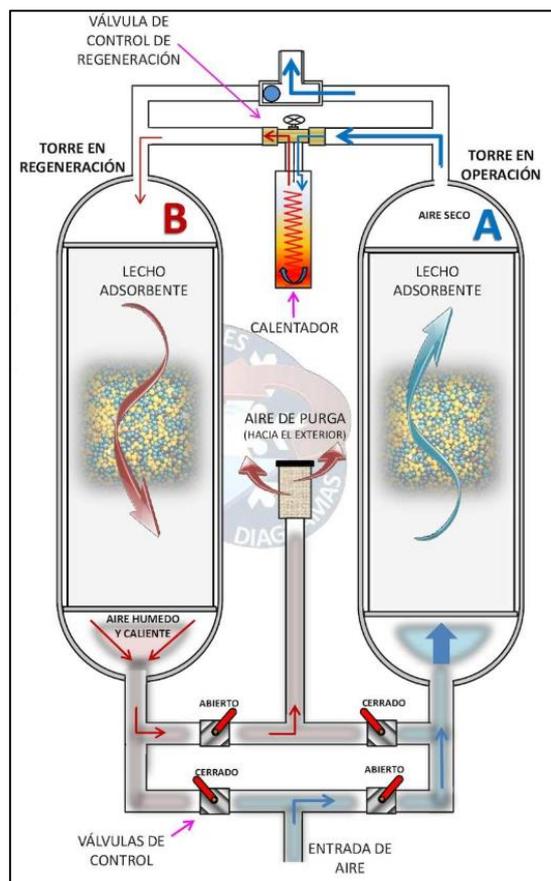


Figura 3-64. Secador por adsorción con aporte de calor [45]

Filtros secadores frigoríficos

Este tipo de sistema de secado se basa en la variación de la capacidad del aire para contener vapor de agua en función de su temperatura. A menor temperatura del aire, menor cantidad de vapor de agua es capaz de retener. De esta manera, el exceso de humedad condensa, secándose el aire.

El secado del aire por enfriamiento se realiza en intercambiador de calor. El aire cede calor en favor de un fluido que forma parte del circuito frigorífico y que se encuentra a menor temperatura que el mismo. El agua condensada es retirada a través del separador de drenaje.

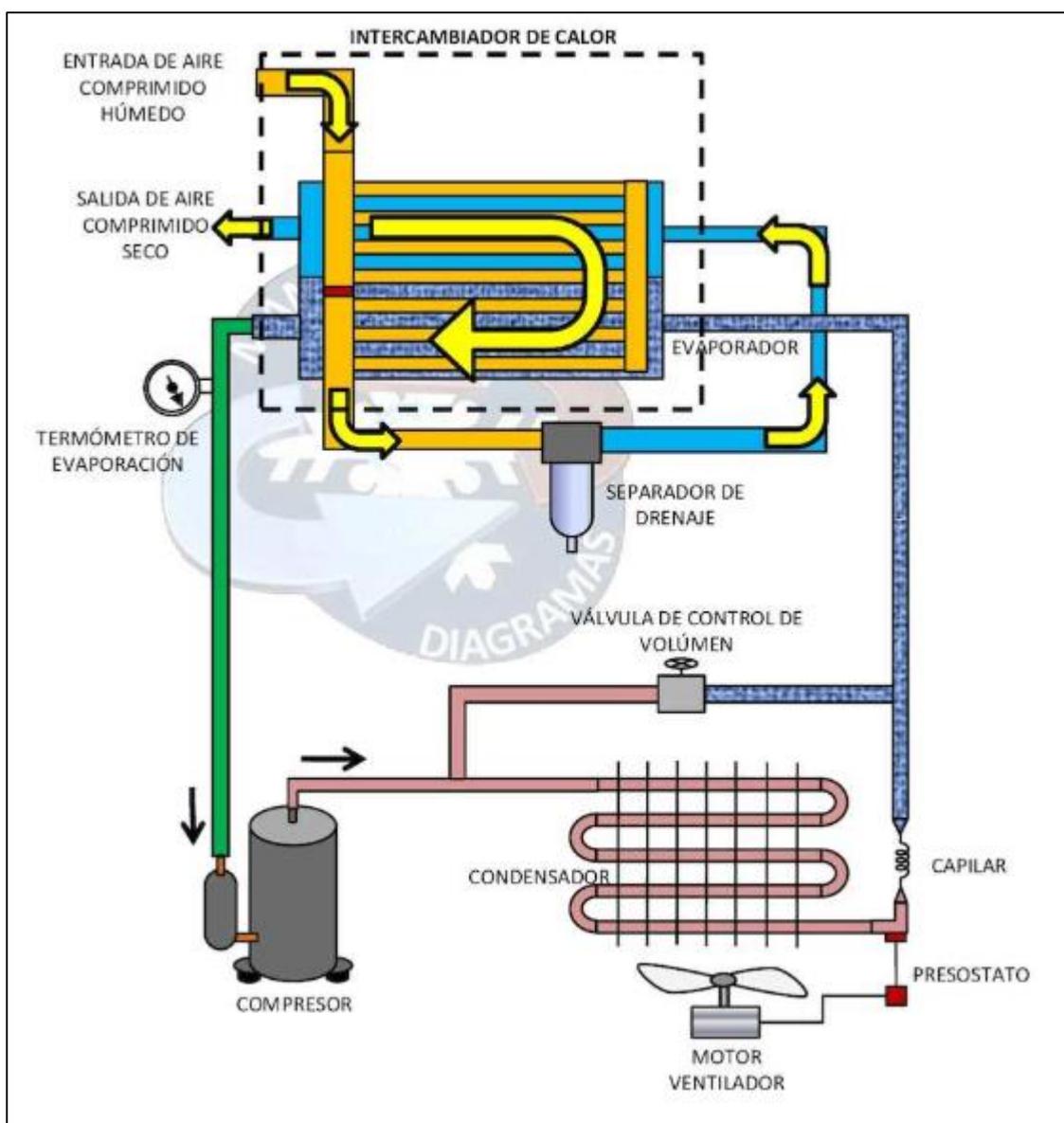


Figura 3-66. Filtro secador frigorífico [45]

Secadores de membrana

Los secadores de membrana son dispositivos muy completos que permiten realizar conjuntamente el filtrado y el secado de la corriente de aire. El secado se basa en la difusión de la humedad a través de una membrana parcialmente permeable.

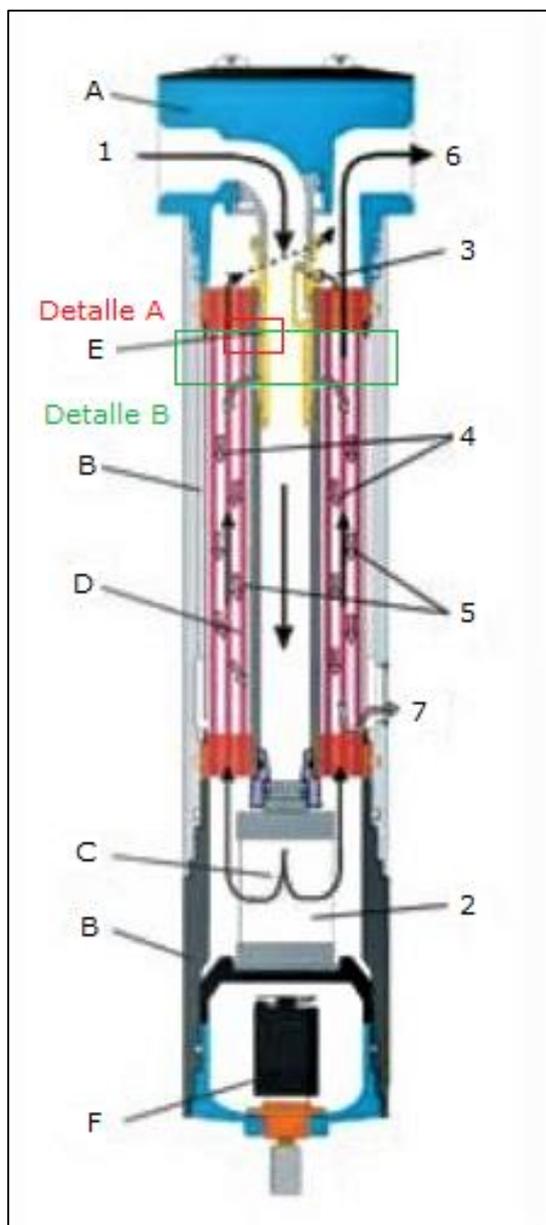


Figura 3-68. Filtro secador de membrana [49]

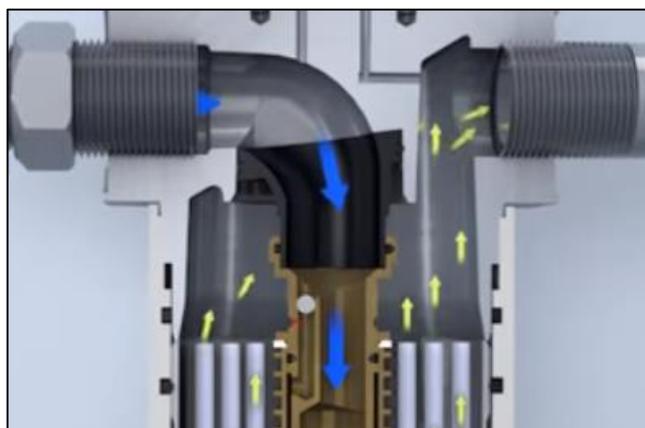


Figura 3-67. Flujo de entrada y salida del aire [65]

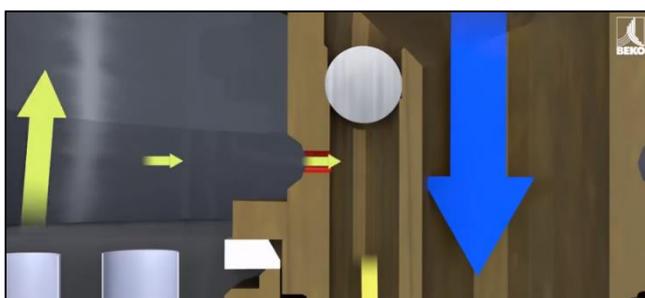


Figura 3-70. Detalle A. Reflujo del aire de barrido a través de la tobera E [65]

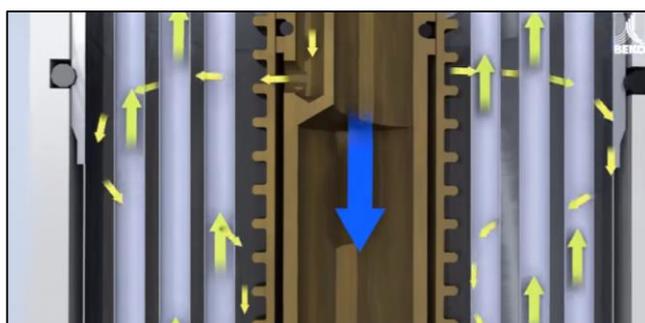


Figura 3-69. Detalle B. Flujo a través de las membranas del aire desviado en la tobera [65]

Este tipo de filtros funcionan de acuerdo a la siguiente secuencia:

1. El aire comprimido entra por el orificio 1 y flulle debido a su elevada presión a lo largo de la conducción central D.

2. Al final de este conducto, atraviesa el nanofiltro C que retiene partículas y aerosoles.
3. El aire comprimido fluye en sentido ascendente atravesando un módulo de membranas que lo secan. De este modo, por el tubo central (interior) circula el aire húmedo mientras que por el exterior lo hace el aire seco. Debido a la diferencia de humedades entre ambas corrientes, se difunde humedad del aire comprimido al aire seco, también llamado de barrido.
4. En su ascenso, una parte del aire seco (de barrido), se desvía y se expande en la tobera E. Este aire se ralentiza y vuelve a la conducción exterior fluyendo entre las distintas fibras de membrana como aire de purga para conseguir aún más seco.
5. El aire comprimido seco sale del filtro a través del conducto 6, mientras que el aire de barrido accede al ambiente a través del conducto 7.

De manera sintetizada, podemos comparar la idoneidad de los tipos de secadores vistos anteriormente para requerimientos de calidad diferentes en función del caudal de trabajo de aire comprimido (figura 3-71).

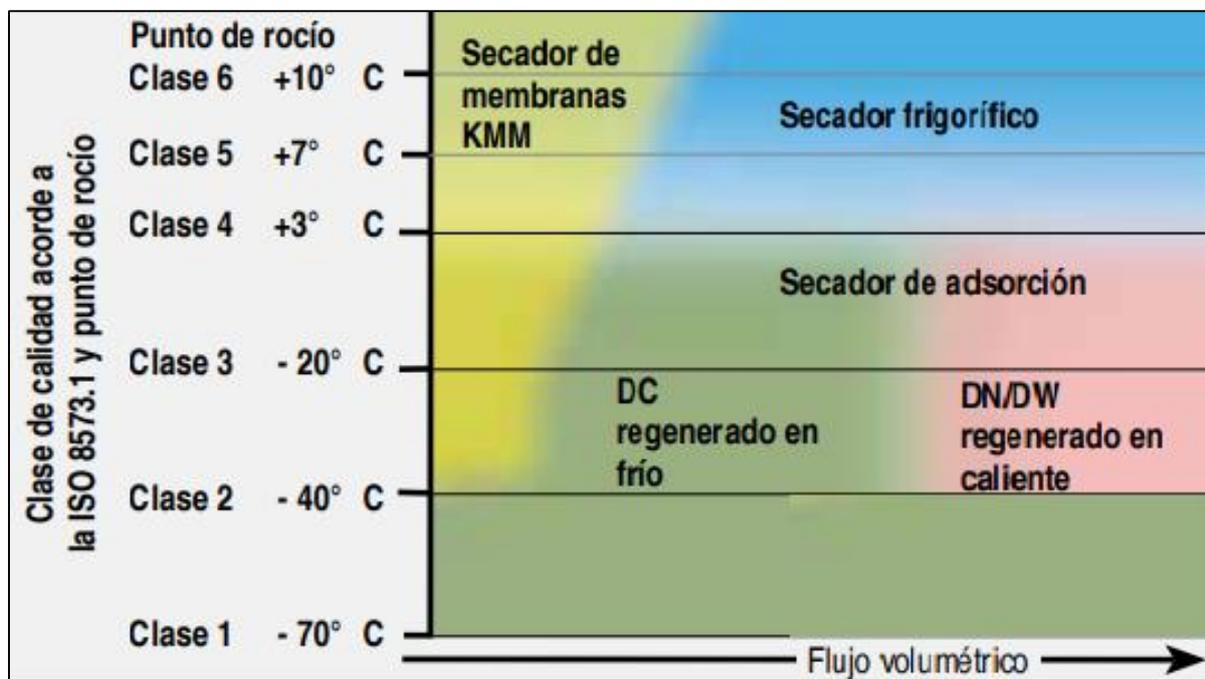


Figura 3-71. Selección del filtro secador en función de la calidad de aire requerida y el caudal de trabajo necesario [46]

Lubricadores

Cada equipo neumático requiere de una lubricación del aire para un funcionamiento óptimo y un desgaste mínimo de sus componentes. Esta tarea es llevada a cabo por los lubricadores.

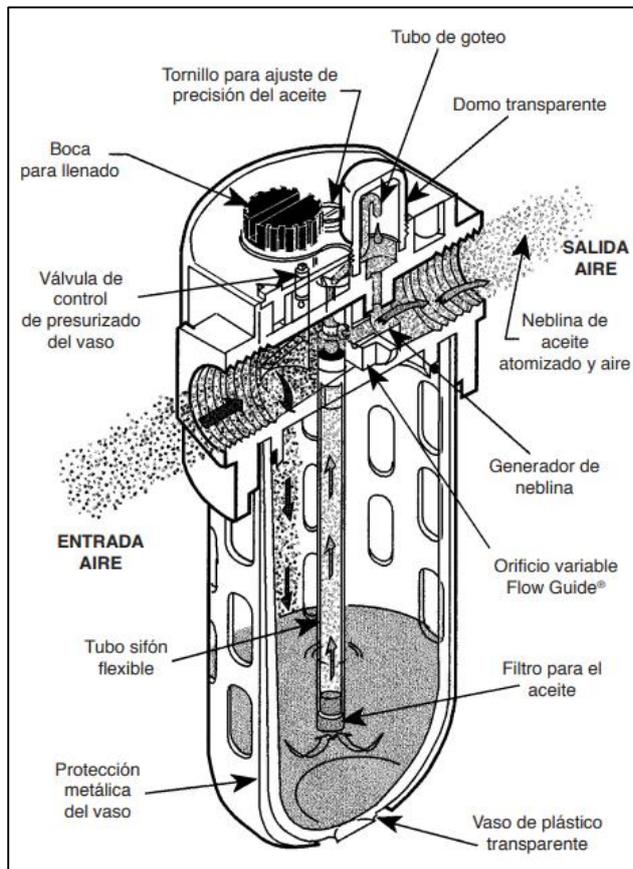


Figura 3-72. Componentes de un lubricador [42]

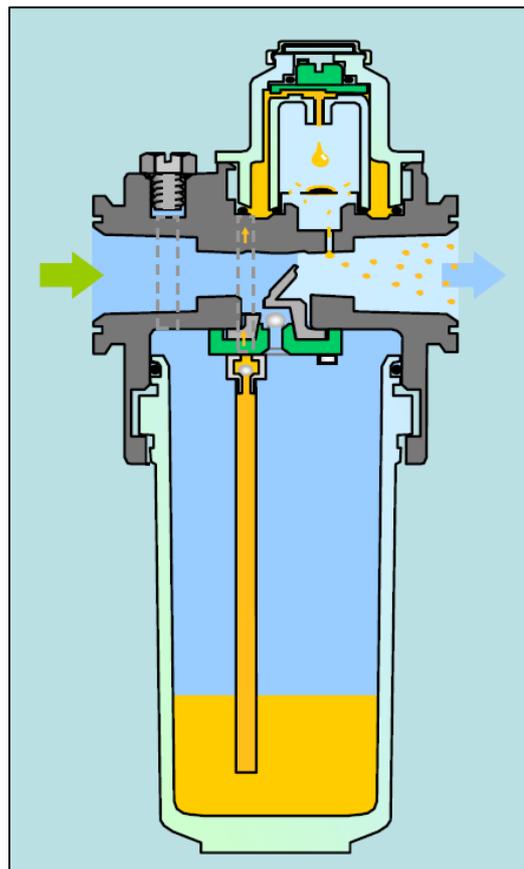


Figura 3-73. Efecto Venturi [49]

Los constan de un orificio variable o válvula que genera una diferencia de presión entre la entrada y la salida, un depósito de aceite que se encuentra a la presión de suministro (orificio de entrada) y un sifón que comunica este depósito con la salida. El funcionamiento de estos dispositivos se basa en el efecto Venturi y es el siguiente:

1. El aire es obligado a atravesar una válvula u orificio regulable a través de la conducción. De este modo, se producirá una depresión al otro lado de dicha válvula. El control de esta diferencia de presión permite variar la lubricación conseguida (relación aire/aceite). Esto se consigue a través de la regulación de un tornillo de ajuste.
2. Al encontrarse el depósito de aceite a la presión de suministro, superior a la presión de salida, el lubricante ascenderá por el sifón para alcanzar una

el tubo de goteo para acumularse en un pequeño depósito denominado canal de dosificación que es la que regula el goteo del aceite en el canal de dosificación. Por efecto Venturi, el aceite del canal de dosificación se pulveriza a través de un pequeño conducto vertical sobre la corriente de aire de salida lubricándolo.

Unidad de mantenimiento

La unidad de mantenimiento es el conjunto de tres de los dispositivos que hemos anteriormente: filtro de aire (1), regulador de presión (2) y lubricador (3). Se trata de un dispositivo compacto que se conecta justo antes de una máquina neumática. De este modo, garantiza unas características de aire óptimas para el funcionamiento de la misma.



Figura 3-75. Unidad de mantenimiento [45]

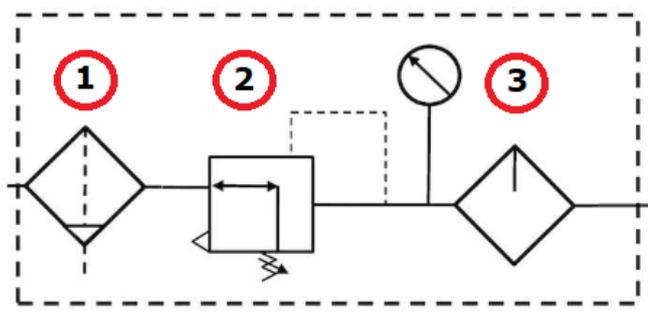


Figura 3-74. Representación neumática de una unidad de mantenimiento según DIN ISO 1219-1, 03/96

3.2.4 Distribución del aire comprimido

La distribución de aire comprimido en el circuito se realiza a través de tuberías de distintos materiales en función de su aplicación. Habitualmente, se utilizan tubos de goma para suministrar aire a las herramientas neumáticas debido a su gran flexibilidad y libertad de movimientos. Para elevadas presiones en líneas de gran longitud, se utiliza acero inoxidable. Para líneas en las que se precise de una especial resistencia al calor y a la corrosión, se utilizan tuberías de cobre.

La red de distribución debe diseñarse de manera que las pérdidas por caída de presión sean las menores posibles. Además, deben tenerse en cuenta una serie de consideraciones en el diseño del entramado de las tuberías:

- Las líneas de tuberías deben tener una pequeña inclinación descendente (1-2%) en el sentido de circulación del aire para evitar la acumulación de gotas de agua condensada. En caso de que la distancia desde el punto de suministro sea muy elevada, debe conectarse una conexión entre tramos de tuberías con inclinación inicial cero para comenzar de nuevo la inclinación. Esta inclinación ayuda a desplazar la humedad hacia las trampas de agua para ser retirada.
- Las líneas bajantes o acometidas a las que se conectarán las máquinas neumáticas (conducciones secundarias) tienen una trayectoria ascendente de manera que no lo atraviesen restos de humedad. No obstante, deben instalarse drenajes en cada ramal y cada acumulador.

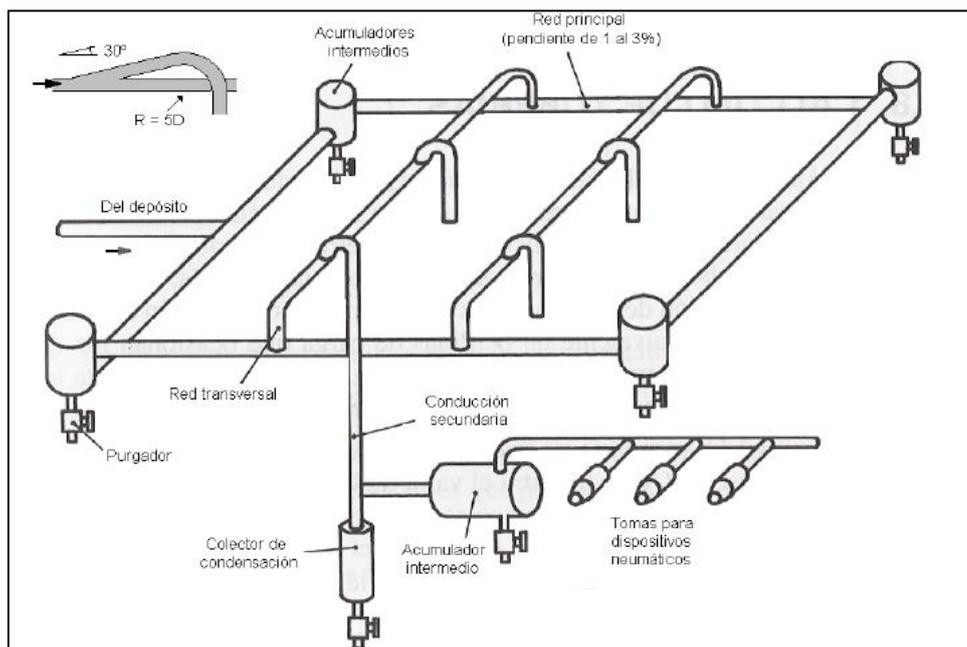


Figura 3-76. Disposición habitual de una línea de distribución de aire [49]

Existen tres variantes de conexionado de las redes de tuberías en función de las necesidades del sistema:

- Red abierta: se compone de una única línea principal de la cual parten las acometidas secundarias y de servicio. Requiere de una baja inversión, pero sin embargo, debe pararse completamente el suministro de aire para realizar el mantenimiento de la red.

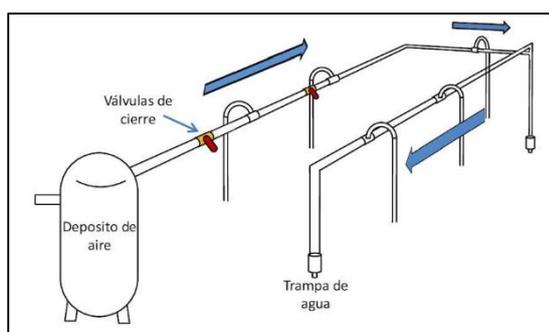


Figura 3-78. Conexionado de tubería en red abierta [45]

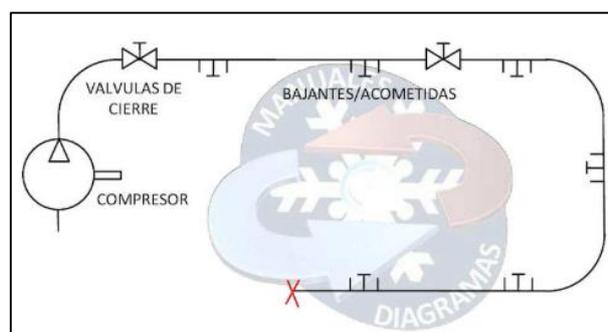


Figura 3-77. Representación neumática conexionado de tubería en red abierta [45]

- Red cerrada: a diferencia de la conexión en red abierta, en este caso, el extremo final de la tubería se encuentra conectado con el inicio de la línea formando un "anillo" que cierra el circuito.

Este tipo de conexionado evita el corte de suministro en caso de avería ya que unas partes del circuito pueden ser aisladas del resto. Este aspecto facilita ampliaciones del circuito. Además, con esta disposición se reducen las pérdidas de carga y se permite un reparto óptimo de caudales. Sin embargo, este tipo de conexionado es más caro que el anterior.

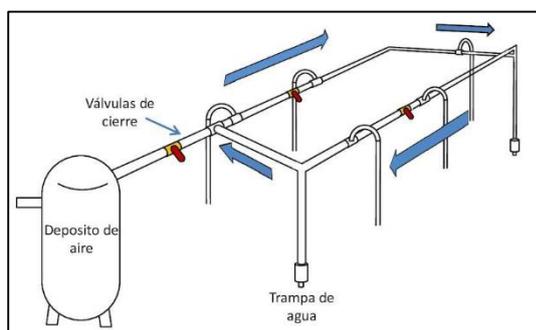


Figura 3-80. Conexionado de tubería en red cerrada [45]

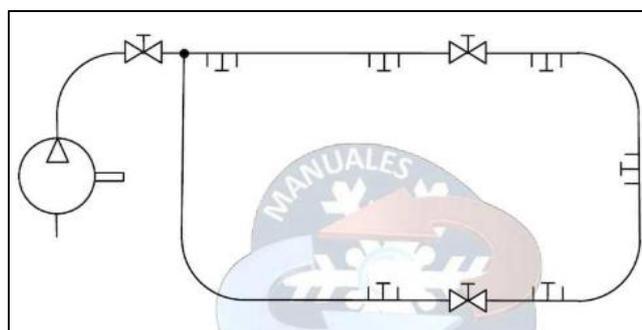


Figura 3-79. Representación neumática conexionado de tubería en red cerrada [45]

- Red mixta: incorpora tanto circuitos abiertos como circuitos cerrado para adecuarse más fielmente a las necesidades específicas de cada tramo. Se trata de la disposición más habitualmente utilizada ya que presenta las ventajas de las redes abiertas y cerradas.

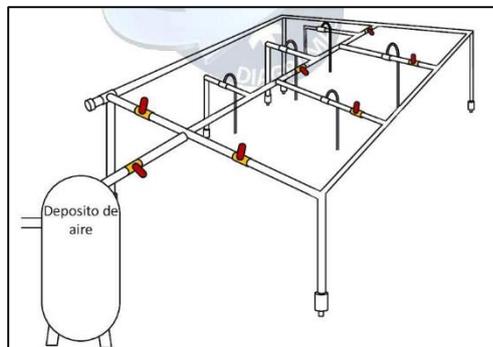


Figura 3-82. Conexión de tubería en red mixta [45]

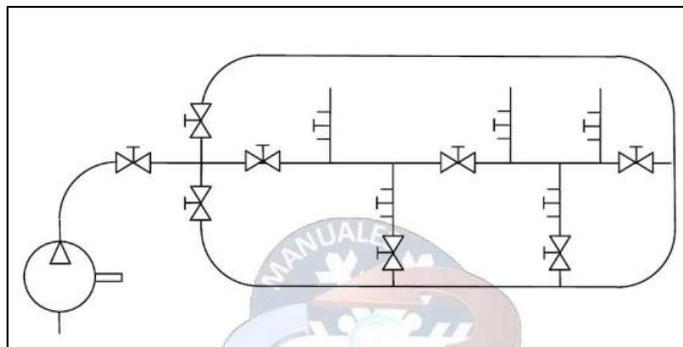


Figura 3-81. Representación neumática de tuberías en red mixta [45]

3.2.5 Elementos de fuerza: Cilindros Neumáticos

La energía de presión del aire comprimido puede ser utilizada tanto para accionar de máquinas industriales o herramientas neumáticas como para realizar procesos de limpieza o pintado: soplar suciedad, inflado de neumáticos, pintado con pistola... Sin embargo, los elementos principales en la transformación de la energía de presión del aire comprimido en energía mecánica (movimiento lineal o rotativo) son los actuadores o cilindros neumáticos. Estos dispositivos también son utilizados para ejercer una fuerza de presión sobre un elemento cuando se requiere realizar una función de prensado o fijación del mismo. Si la energía de presión se transforma en un movimiento de rotación continuo, estaríamos hablando de un motor neumático.

Actuador	Función	Parámetro básico
Cilindro	Trabajo rectilíneo	Fuerza y carrera
Actuador de giro	Trabajo angular	Par y ángulo de giro
Motor neumático	Accionamiento mecanismos rotativos	Par y rpm

Tabla 3.30 Tipos de actuadores neumáticos

Los cilindros neumáticos son elementos de bajo coste y fáciles de instalar. Constan de una cámara llamada cilindro en el que se expande el aire introducido en el

mismo, desplazando un émbolo linealmente. Habitualmente, se acopla un vástago rígido al émbolo, capaz de fijar un desplazar piezas. El desplazamiento máximo que es capaz de producir un cilindro neumático viene determinado por la carrera del mismo.

Estudiaremos a continuación las tipologías más comunes de cilindros neumáticos.

Cilindro de simple efecto

En este tipo de cilindros, uno de los movimientos es generado por el aire comprimido mientras que el otro es producido por un muelle o por una fuerza externa (generalmente la gravedad).

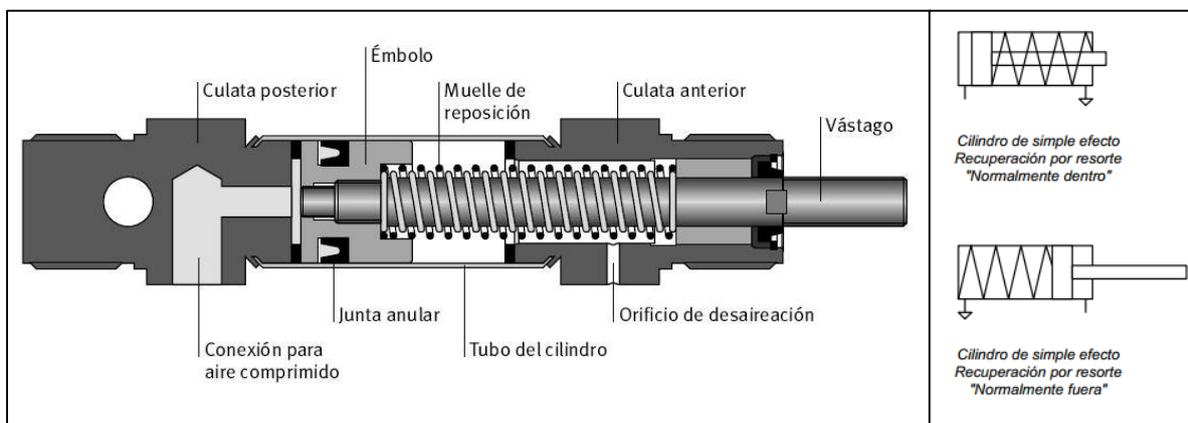


Figura 3-83. Componentes de un cilindro de simple efecto recuperado por resorte (izquierda) y simbología según DIN ISO 1219-1, 03/96 (derecha) [57]

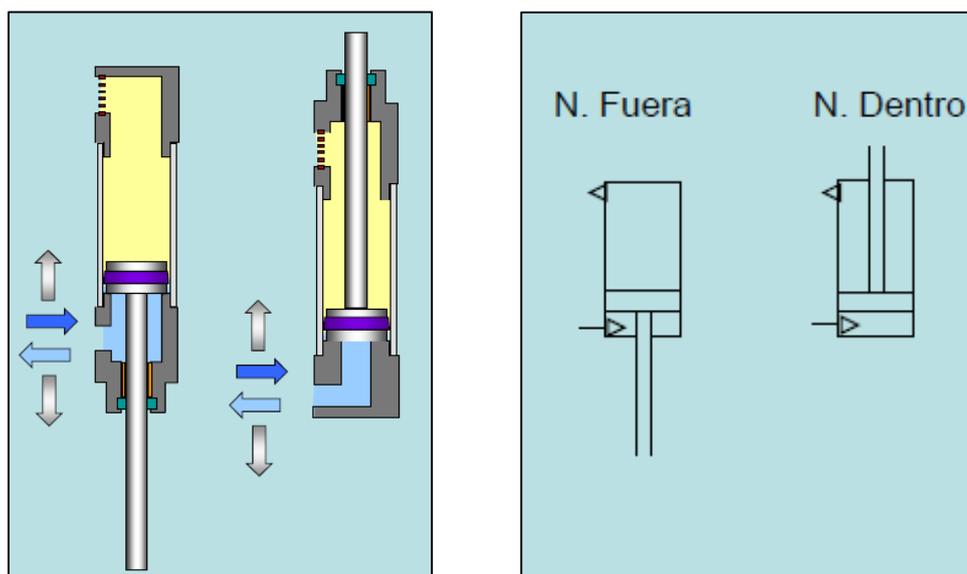


Figura 3-84. Cilindro de simple efecto sin muelle (izquierda) y simbología según DIN ISO 1219-1, 03/96 (derecha) [49]

En la tabla 3.31 se muestran las principales ventajas y desventajas de los cilindros de simple efecto.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
- Bajo consumo de aire comprimido	- Carrera máxima de 100 mm - Permite realizar trabajo solo en un sentido

Tabla 3.31 Ventajas y desventajas de los cilindros de simple efecto

Cilindros de doble efecto

Son cilindros en los que el avance y el retroceso del émbolo se controlada mediante la entrada de aire comprimido en el cilindro. Es decir, el aire puede acceder al cilindro por dos cámaras, en función del desplazamiento que se quiera llevar a cabo. De este modo, puede regularse tanto la velocidad de avance como la de retroceso del vástago. Este tipo de cilindros son utilizados para trabajos con carreras de elevada longitud.

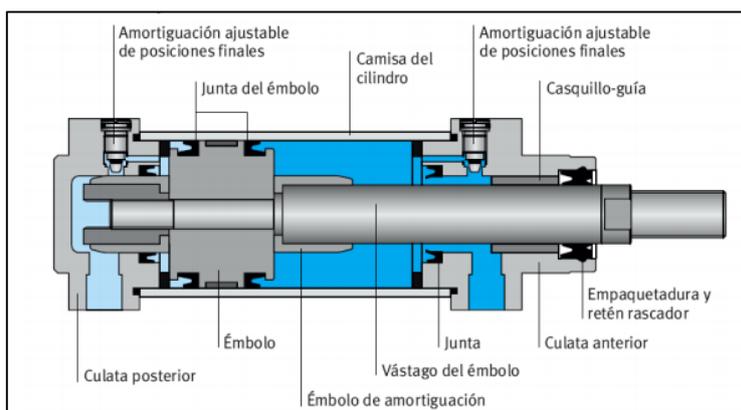


Figura 3-85. Componentes de un cilindro de doble efecto [58]

Existen tres variantes diferentes de cilindros de doble efecto:

- Cilindros de doble efecto sin amortiguación: diseñados para aplicaciones con cargas ligeras y baja velocidad.

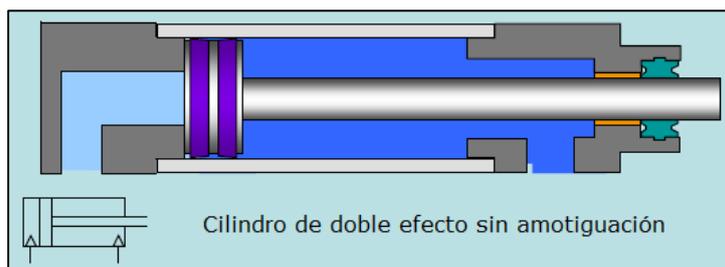


Figura 3-86. Cilindro de doble efecto sin amortiguación, simbología según DIN ISO 1219-1, 03/96 [49]

- Cilindros de doble efecto con amortiguación fija: diseñados para trabajar con pequeñas cargas, son de pequeño diámetro. Un anillo de goma es el encargado de absorber el choque del cilindro cuando llega al final del recorrido.

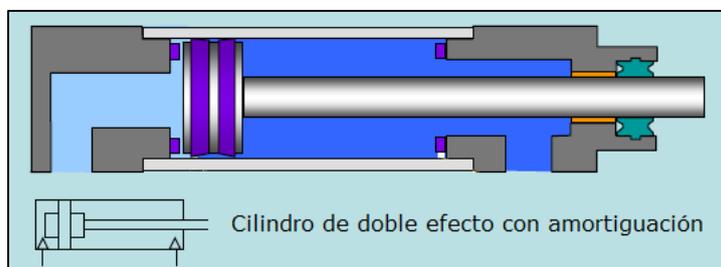


Figura 3-87. Cilindro de doble efecto con amortiguación, simbología según DIN ISO 1219-1, 03/96 [49]

- Cilindros de doble efecto con amortiguación regulable: permiten una amortiguación progresiva del movimiento del vástago en el tramo final de la carrera de avance o de retroceso. Este efecto se consigue evacuando el aire a través de un conducto de diámetro reducido cuando la salida habitual del aire se cierra con un casquillo de amortiguación (1) que presiona contra la junta de amortiguación (2). El casquillo de amortiguación solamente cierra el paso del aire a la salida, dejándolo abierto a su entrada en el cilindro.

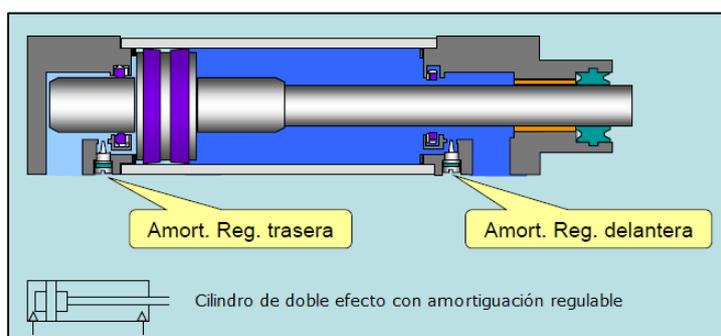


Figura 3-88. Cilindro de doble efecto con amortiguación regulable, simbología según DIN ISO 1219-1, 03/96 [49]

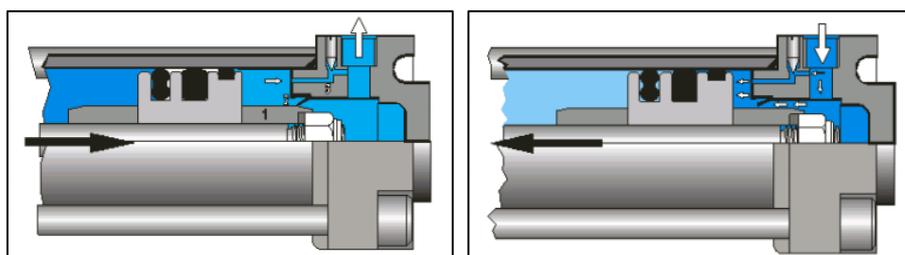


Figura 3-89. Circulación del aire a la entrada y a la salida del cilindro

Debe tenerse en cuenta que en este tipo de cilindros, la superficie del émbolo para realizar el retroceso del vástago es menor que la correspondiente al avance debido a la sección ocupada por el eje del vástago. Es por esta razón que la fuerza en el retroceso no podrá ser tan alta como en el avance.

Cilindro de doble vástago

Este tipo de actuadores son cilindros de doble efecto que poseen un vástago que sobresale por ambos lados del cilindro. El vástago un diámetro constante. Así, la fuerza transmitida por el cilindro es ambos sentidos de desplazamiento es la misma. Además, el vástago se encuentra biapoyado en dos cojinetes permitiendo a estos cilindros absorber cargas laterales.

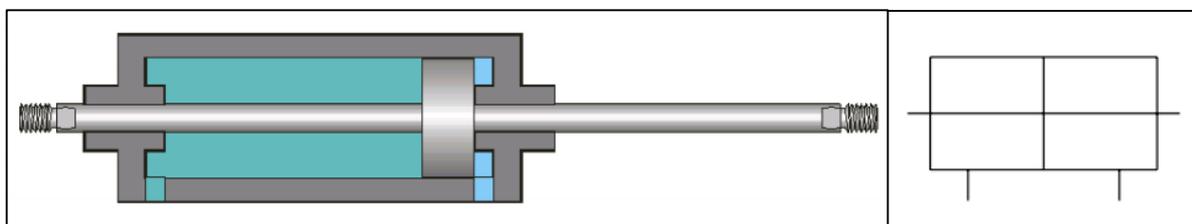


Figura 3-90. Cilindro de doble vástago (izquierda) y simbología según DIN ISO 1219-1, 03/96 (derecha)

Cilindro con doble pistón o en tándem

Este tipo de cilindros podrían definirse como dos cilindros de doble efecto unidos por un vástago común. Al poseer dos émbolos, proporciona una fuerza de acción casi del doble que la de un cilindro convencional del mismo diámetro. Se utilizan en aplicaciones con espacio reducido en las que no podría instalarse un cilindro de mayor diámetro .

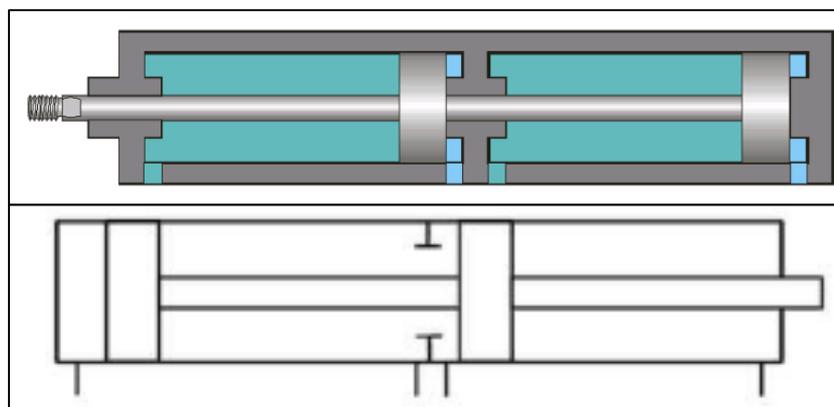


Figura 3-91. Cilindro tándem y simbología según DIN ISO 1219-1, 03/96

Cilindros compactos

Pueden tratarse como cilindros de simple o de doble efecto. Poseen una carrera muy corta. Son utilizados en aplicaciones donde se requiera poca carga/carrera y en las que se disponga de poco espacio.

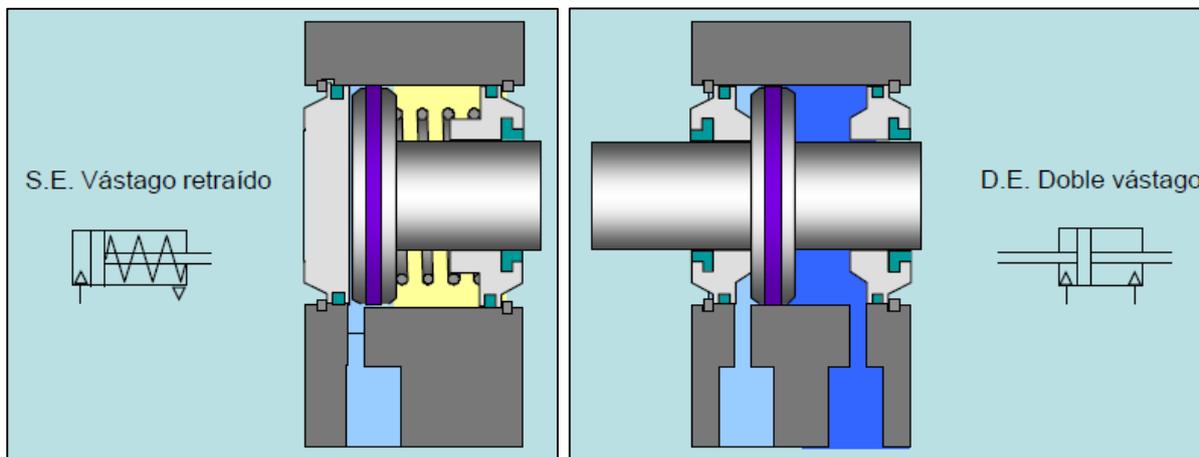


Figura 3-93. Cilindro compacto de simple efecto, simbología según DIN ISO 1219-1, 03/96 [49]

Figura 3-92. Cilindro compacto de doble efecto, simbología según DIN ISO 1219-1, 03/96 [49]

Cilindros de impacto

Estos cilindros son utilizados cuando se necesitan fuerzas de trabajo de gran magnitud (siete veces superiores a la de los cilindros convencionales): operaciones de remachado, prensado, estampado.

Suelen poseer una carrera corta y pueden generar una fuerza de impacto incluso superior a 2000 kg desplazándose a una velocidad de entre 7 y 10 m/s (un cilindro neumático convencional se desplaza a una velocidad de entre 0,5 y 1,5 m/s)

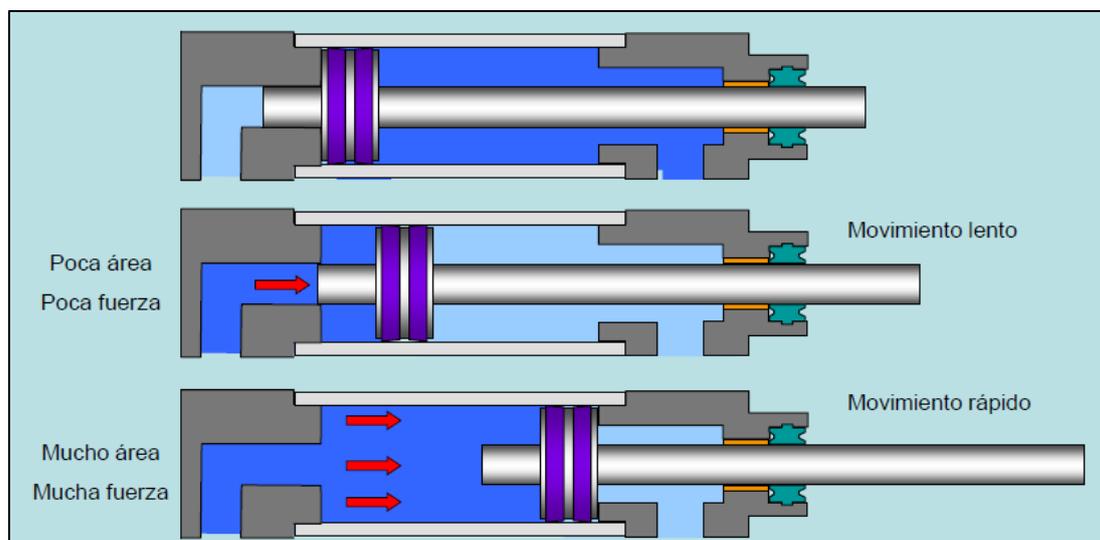


Figura 3-94. Fases de movimiento de un cilindro de impacto [49]

Cilindros telescópicos

Son utilizados para conseguir grandes carreras aunque no permiten controlar la posición de salida intermedia.

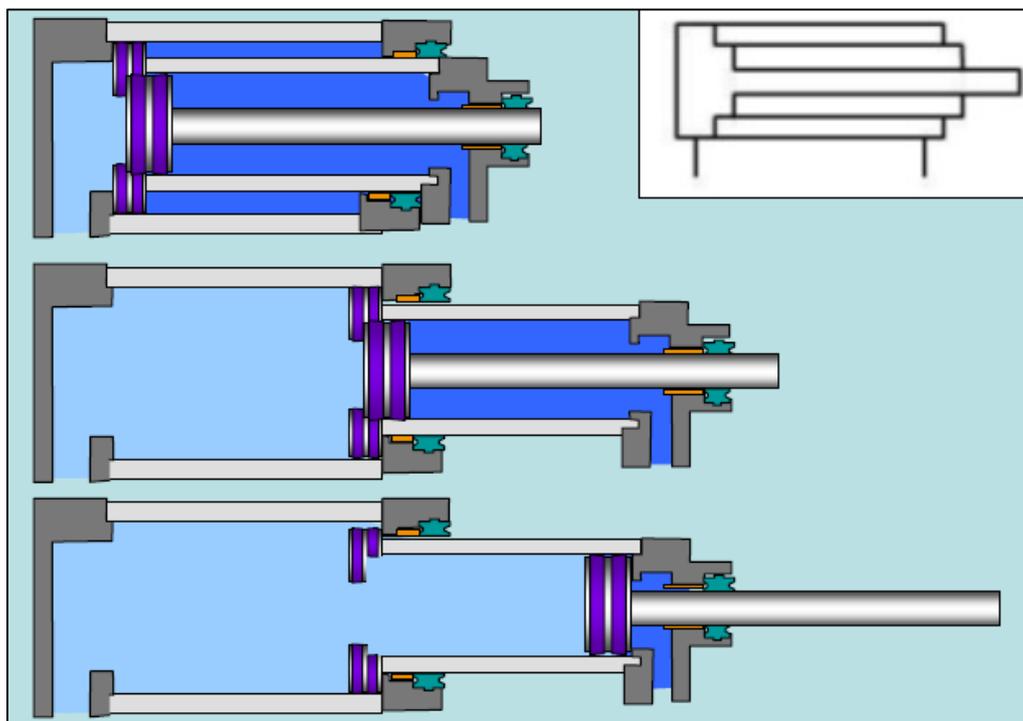


Figura 3-95. Cilindro telescópico, simbología según DIN ISO 1219-1, 03/96 [49]

Cilindro multiposicional

Se trata de un cilindro capaz de proporcionar diferentes distancias de carrera. Consta de dos cilindros situados en dos cámaras distintas, existiendo el contacto entre el vástago del primero y el émbolo del segundo. Su principio de funcionamiento es sencillo (según figura 3-97).

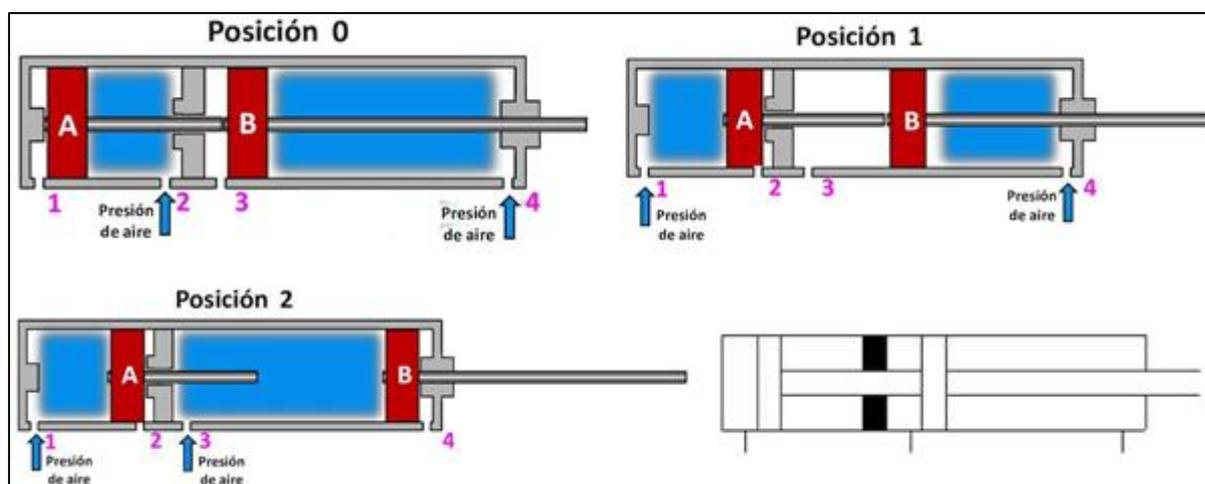


Figura 3-96. Posiciones intermedias cilindro multiposicional, simbología según DIN ISO 1219-1, 03/96 [45]

Cilindros sin vástago de transmisión mecánica

En este tipo de cilindros de doble efecto, el émbolo es solidario a un carro desplazable. Se utilizan para trabajos con líneas transportadoras o para la elevación de cargas en espacios reducidos ya que no se requiere de espacio para alojar el vástago. En contraposición con esto, presentan problemas de fugas de aire a través de la ranura que une el émbolo con el carro.

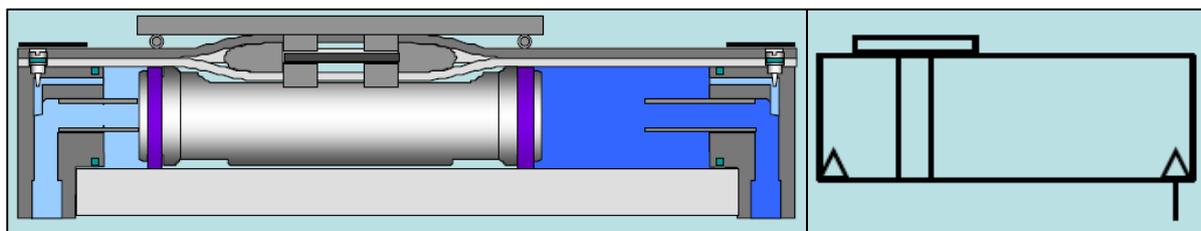


Figura 3-97. Cilindro sin vástago de transmisión mecánica, simbología según DIN ISO 1219-1, 03/96 [49]

Cilindros sin vástago con arrastre magnético

Se trata de una variante de los cilindros anteriores. En ellos, no existe una ranura para que el émbolo y el carro se muevan solidariamente, sino que el arrastre se realiza por medio de atracción magnética entre un imán colocado en el émbolo y otro en el carro. Su principal desventaja es la limitación de carga que es capaz de desplazar el cilindro por la fuerza magnética del imán así como la dificultad de ser utilizado en áreas en las que exista presencia de viruta metálica.

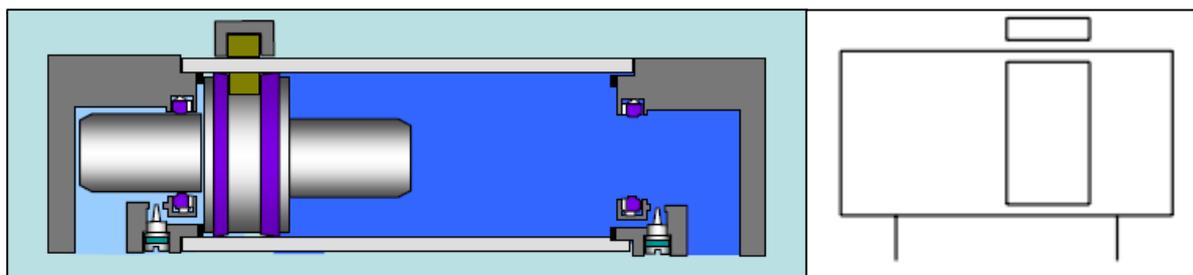


Figura 3-98. Cilindro sin vástago con arrastre magnético, simbología según DIN ISO 1219-1, 03/96 [49]

Actuadores rotativos

Estos dispositivos convierten la energía de presión del aire en la rotación alternativa de un eje. Con los actuadores neumáticos puede regularse la velocidad de rotación y el par torsor en ambos sentidos regulando la presión suministrada. Son habitualmente utilizados en aplicaciones de robótica o para actuar válvulas de control de proceso.

Existen dos tipologías principales de actuadores rotativos:

- Actuador DRQ

Está basado en un mecanismo de piñón y cremallera. Un émbolo conectado a la cremallera es el encargado de producir el movimiento del piñón (eje de giro) cuando el aire a presión es introducido en la cámara del cilindro. Posee unos topes ajustables que permiten regular la amplitud angular del giro realizado.

Permite realizar giros comprendidos entre 90° y 360°.

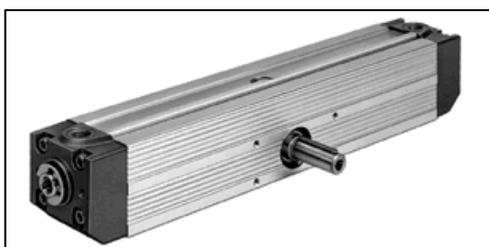


Figura 3-100. Actuador DRQ [62]

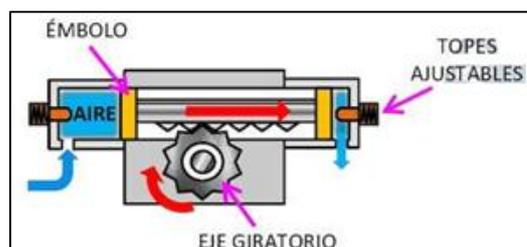


Figura 3-99. Componentes de un actuador DRQ [45]

- Actuador DSM

Incorpora una aleta unida al eje de giro sobre la que actúa la presión del aire empujándola y desplazándola de un lado a otro alternativamente. Permite realizar giros de hasta 270°.



Figura 3-102. Actuador DSM [45]

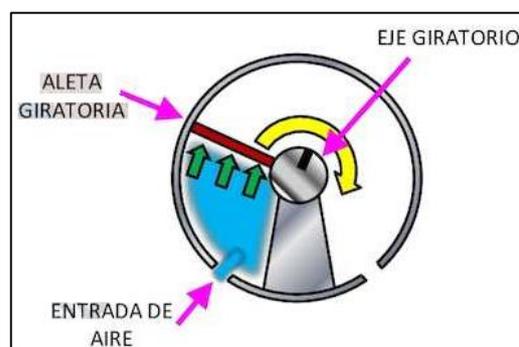


Figura 3-101. Componentes de un actuador DSM [45]



Figura 3-103. Actuador giratorio, simbología según DIN ISO 1219-1, 03/96 [49]

Motor neumático

Se trata de un dispositivo que transforma la presión del aire en un movimiento de rotación continuo. Existen varias tipologías de motores neumáticos, aunque los más representativos son los siguientes:

- **Motores neumáticos de aletas:**

Podría asemejarse a un compresor de paletas por los componentes que contiene, pero en este caso las aletas son impulsadas por la presión del aire haciendo girar el eje del motor. Estos motores son capaces de girar a una velocidad comprendida entre 3000 y 25000 r.p.m.

Son la opción más barata y más frecuente en la industria.

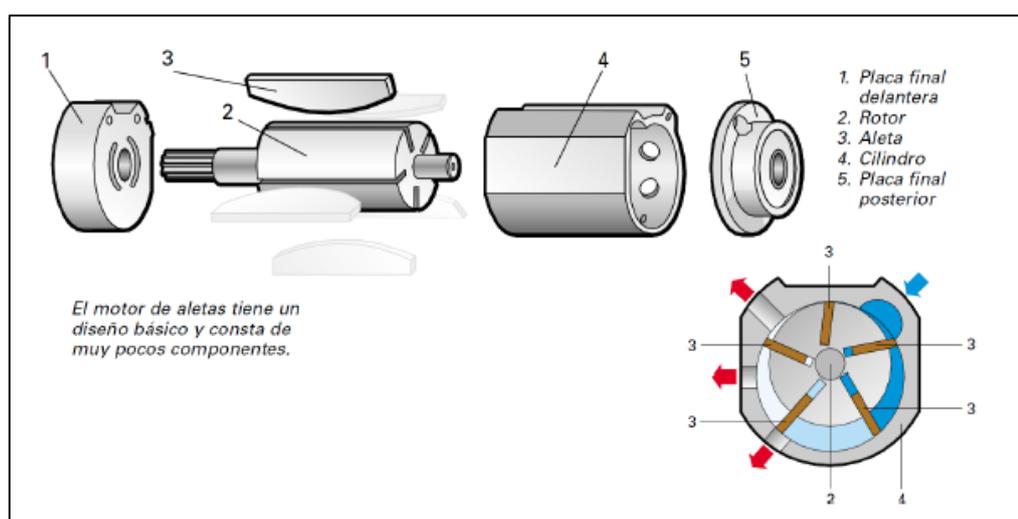


Figura 3-104. Motor neumático de aletas [66]

- **Motores neumáticos de pistones:**

Se asemejan a los compresores de pistones, pero su funcionamiento es inverso. Trabajan a menor velocidad que los compresores anteriores al ser el peso de sus componentes mayor, pero poseen un par de arranque mayor.

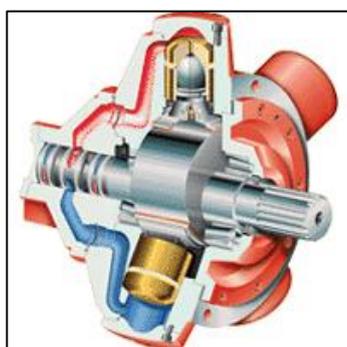


Figura 3-106. Motor neumático de pistones [32]

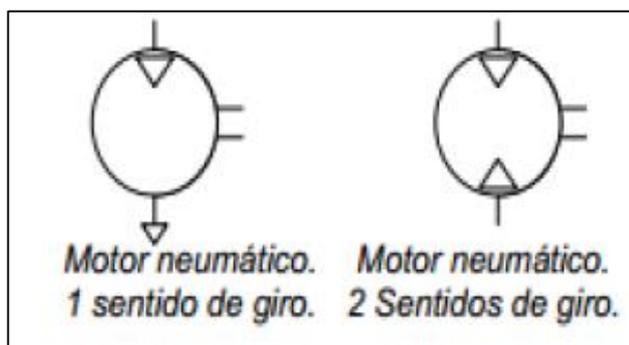


Figura 3-105. Motor neumático, simbología según DIN ISO 1219-1, 03/96 [49]

3.2.6 Elementos de mando: Válvulas Distribuidoras

Se requiere de unos dispositivos que regulen el paso de aire para accionar los distintos equipos de que dispone un circuito neumático. Las válvulas distribuidoras son las encargadas de establecer el sentido de flujo del aire través del circuito.

Estos elementos de mando se suelen identificar en función de sus características:

- Número de vías y posiciones. Las vías se corresponden con el número de orificios de conexión externa (por donde puede entrar o salir aire a presión de la válvula). La numeración de las vías se realiza de acuerdo al tipo de conexión de las mismas (ver tabla 3.32). Las posiciones son las distintas conexiones entre conexiones internas que permite la válvula.

La denominación de una válvula de acuerdo al nº de vías y posiciones queda recogida en la tabla 3.33.

Tipo de conexión	Numeración
De presión	1
De trabajo	2,4,6,8, ...
Escape	3,5,7, ...
Pilotaje	12,14, ...

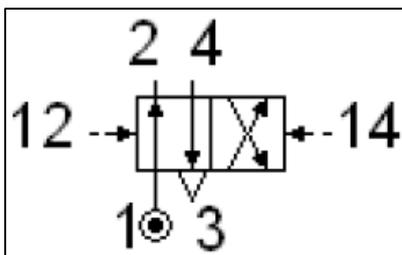


Figura 3-107. Numeración de las vías de una válvula [49]

Válvula	Nº vías	Nº pos.
2/2	2	2
3/2	3	2
4/2	4	2
5/2	5	2

Tabla 3.33. Válvulas distribuidoras más habituales

Tabla 3.32 Numeración de las vías de una válvula según el tipo de conexión

- Tipo de accionamiento: manual, mecánico, neumático o eléctrico.

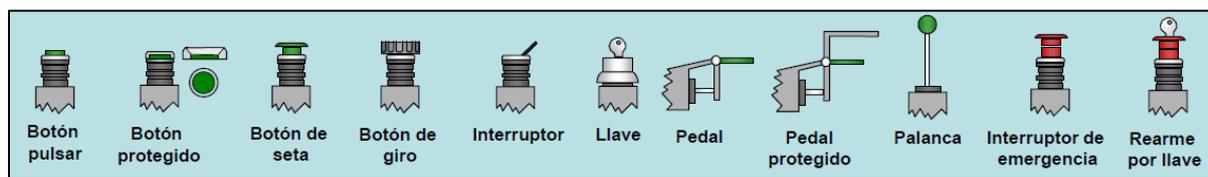


Figura 3-108. Accionamientos manuales [49]

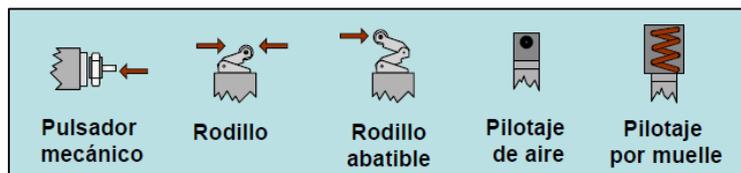


Figura 3-110. Accionamientos mecánicos [49]

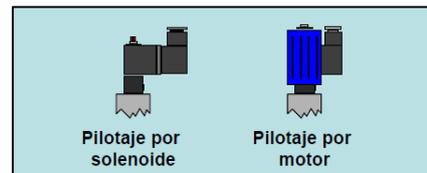


Figura 3-109. Accionamientos eléctricos [49]

- Número de accionamientos. Este aspecto está relacionado con el número de estados de estabilidad que posee la válvula. De este modo, permite diferenciar dos modalidades de válvulas:
 - Válvulas monoestables: poseen un único accionamiento, el retorno de la válvula a la posición de estabilidad se realiza mediante un muelle.
 - Biestables: poseen dos estados de estabilidad y dos accionamiento para pasar de una posición a otra.

Aparte de lo expuesto anteriormente, las válvulas también pueden agruparse en función de construcción interna:

- Válvulas de asiento: son de fabricación sencilla, con pocos elementos sometidos a desgaste en las que la suciedad influye muy poco en su funcionamiento. Todo ello las convierte en válvulas económicas con una vida útil elevada. Esta es la estructura de construcción típica de válvulas 2/2 o 3/2.

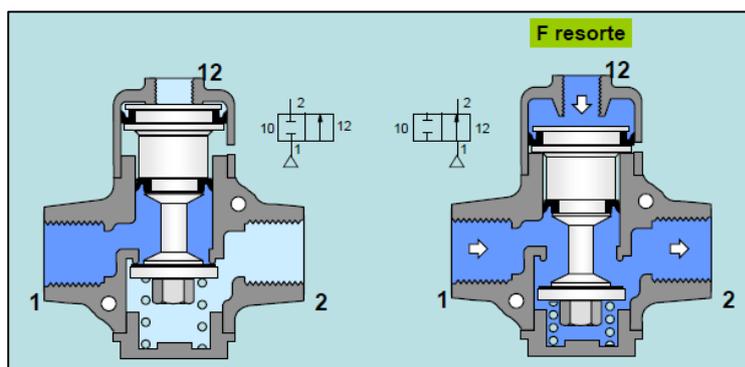


Figura 3-111. Válvula pilotada de asiento [49]

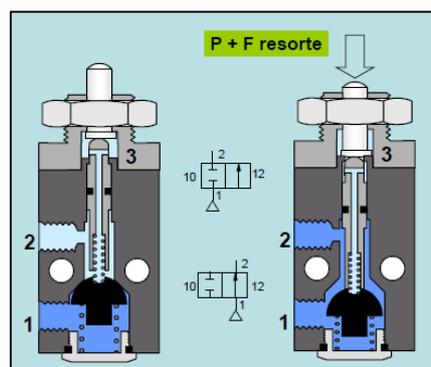


Figura 3-112. Válvula mecánica de asiento [49]

- Válvulas de corredera: su funcionamiento se basa en un émbolo deslizante que al desplazarse longitudinalmente va cambiando las conexiones entre las vías. Estas válvulas pierden estanqueidad con el uso debido al desgaste de las juntas.

Existen dos variantes principales de esta tipología de válvulas:

- Válvulas de corredera con juntas estáticas: en ellas es el eje el que se desplaza sobre las juntas.
- Válvulas correderas de juntas dinámicas: en ellas las juntas son solidarias al eje y se desplazan con él.

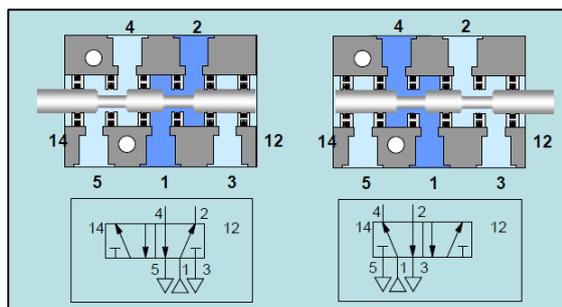


Figura 3-114. Válvula mecánica de corredera con juntas estáticas [49]

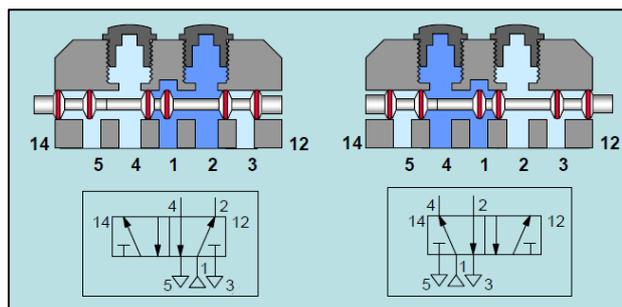


Figura 3-113. Válvula mecánica de corredera con juntas dinámicas [49]

3.2.7 Elementos de regulación y control

Además de variar el sentido de flujo del aire a través de un circuito neumático, resulta indispensable llevar un control sobre el caudal y la presión suministrados. Para llevar a cabo esta acción se utilizan válvulas de presión y caudal. Existen distintas tipologías de válvulas de regulación según la función que desempeñan:

- Válvulas reguladoras de presión: reducen la presión de suministro de un sistema o subsistema a un valor preestablecido y constante.
- Válvulas de flujo o reguladoras de caudal: permiten ajustar el caudal suministrado al sistema. Este tipo de válvulas son utilizadas típicamente para controlar la velocidad de actuación de los cilindros neumáticos.
- Válvulas limitadoras o de sobrepresión: al alcanzarse una presión superior al límite de la válvula, ésta envía una parte del aire a escape para evitar una sobrepresión en el sistema.
- Válvulas de secuencia: se sirven de válvulas de sobrepresión para conseguir temporizaciones, limitar la presión de llenado de cilindros o establecer un mando secuencial de cilindros.

Válvulas reguladoras de presión

Las necesidades de caudal y presión de aire comprimido no son las mismas para todos los componentes del circuito neumático. El hecho de hacer trabajar a los elementos del circuito a una presión superior que la recomendada por el fabricante conduce a un aumento del consumo de aire ya que el caudal suministrado es función de la presión.

Un regulador de presión cumple las siguientes funciones:

- Compensar las pulsaciones y las variaciones de presión provenientes del compresor.
- Mantener una presión de trabajo constante e independiente de la presión suministrada.
- Evitar un consumo de aire excesivo debido al sobredimensionamiento de la red para un equipo concreto.
- Conseguir la máxima eficiencia de cada equipo.

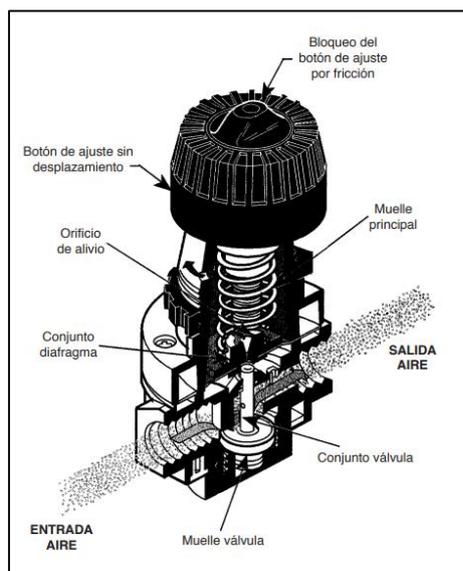


Figura 3-115. Componentes de un regulador de presión [42]

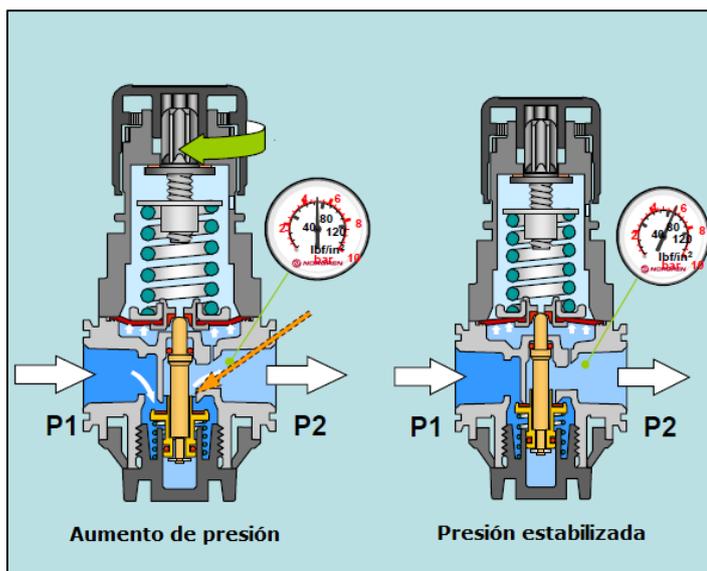


Figura 3-116. Aumento de la presión de suministro al apretar el botón de ajuste [49]

Para poder comprender de mejor manera cómo establece una presión de consideraremos un caso en el que se deba aumentar momentáneamente la presión en un punto del mismo. El funcionamiento del regulador de presión ante esta situación será el siguiente:

1. Al girar el botón de ajuste en sentido antihorario, se comprime el resorte principal contra el diafragma. El diafragma se encuentra en contacto con el vástago de la válvula principal, ejerciendo una fuerza adicional sobre el mismo y abriendo por lo tanto el paso entre el orificio de entrada y el orificio de salida del aire.
2. Normalmente, los reguladores de presión incorporan dos manómetros que miden la presión del aire a la entrada y a la salida del regulador. El botón de ajuste se girará hasta que se alcance la presión necesaria.

Una vez establecida la presión de servicio, el regulador será capaz de contrarrestar las variaciones de demanda del aire comprimido en el circuito para que la presión se mantenga constante. Pueden darse las siguientes situaciones:

1. Aumento del consumo del sistema: un repunte momentáneo del consumo de aire provoca una disminución de la presión P_2 . De este modo, disminuye la fuerza de presión del aire sobre el diafragma y el muelle ejerce un desplazamiento hacia abajo hasta encontrar el equilibrio. Al descender el vástago, se abre el paso de aire, aumentando el caudal de aire y la presión hasta encontrarse el equilibrio.
2. Disminución del consumo del sistema: una reducción momentánea del consumo de aire provoca un aumento de la presión P_2 . De este modo, aumenta la fuerza de presión del aire sobre el diafragma y el muelle se comprime hasta encontrar el equilibrio. Al ascender el vástago, se cierra el paso de aire, disminuyendo el caudal de aire y la presión hasta encontrarse el equilibrio.

Válvulas reguladoras de caudal

Estas válvulas realizan una estrangulación del flujo del aire reduciendo el orificio de paso, que se regula a través de un tornillo. Estas válvulas son utilizadas para

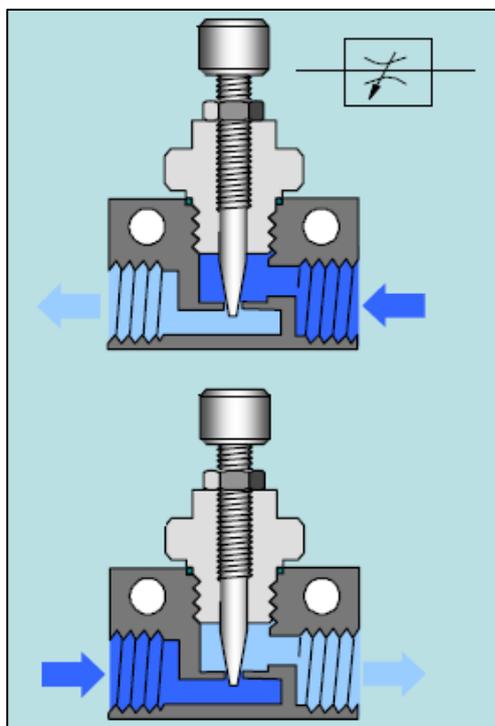


Figura 3-118. Regulador de caudal bi-direccional [49]

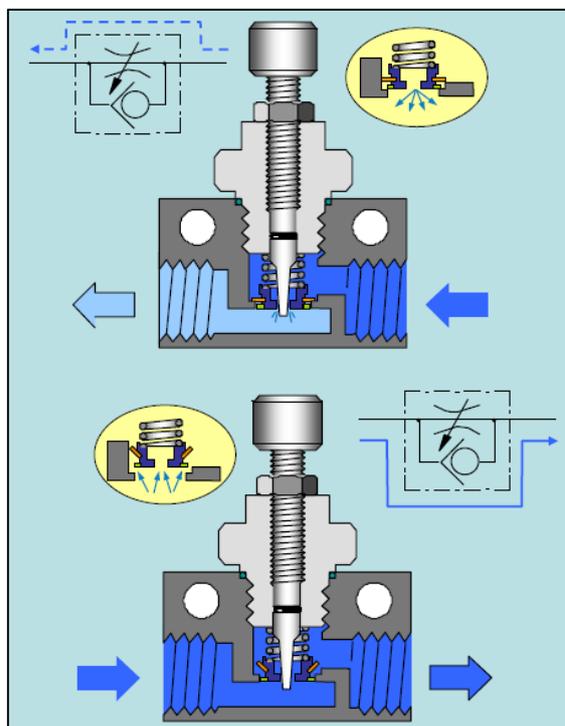


Figura 3-117. Regulador de caudal unidireccional [49]

controlar la velocidad de actuación de cilindros neumáticos o gestionar efectos de retardo de las señales neumáticas (temporizadores neumáticos) regulando el tiempo de presurización de acumuladores.

En función de si el flujo de aire es regulado en una única dirección o en ambas direcciones, podemos distinguir entre reguladores de presión uni-direccionales o bi-direccionales.

Válvulas limitadoras

Este tipo de válvulas son utilizadas como válvulas de seguridad. Su principio de funcionamiento. Un muelle mantiene cerrado un orificio de escape. Si se alcanza en el sistema una presión superior a un máximo preestablecido, el muelle se comprime por efecto de la presión abriendo el orificio de escape. Dicho orificio permanecerá abierto hasta que la presión se sitúe por debajo del límite.

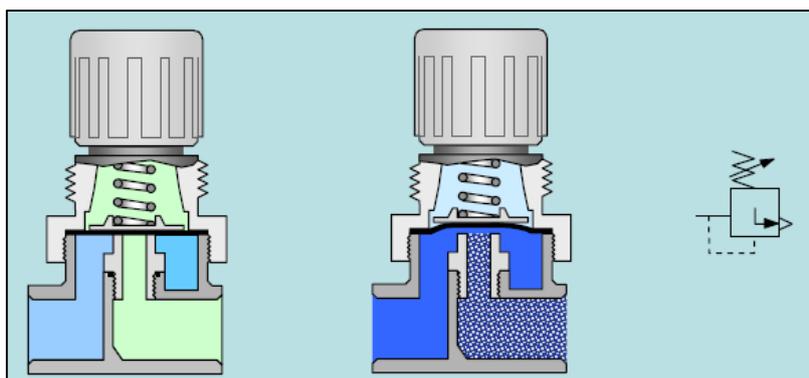


Figura 3-119. Válvula de sobrepresión, simbología según DIN ISO 1219-1, 03/96 [49]

Válvulas de secuencia

El funcionamiento de este tipo de válvulas va asociado al uso de válvulas de sobrepresión. Habitualmente, se utilizan en aplicaciones en las que se requiera de

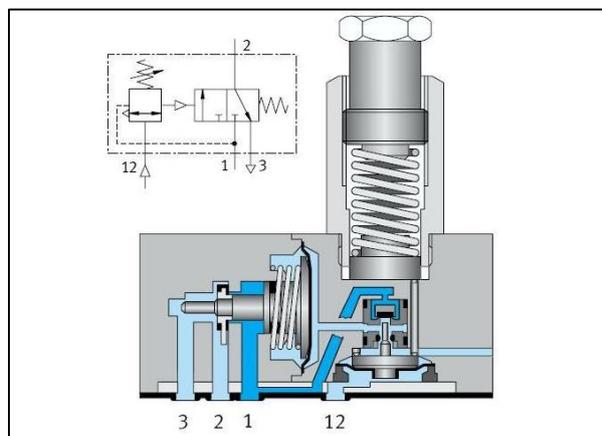
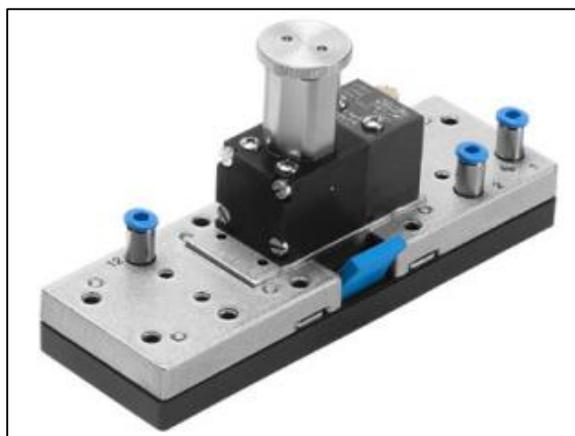


Figura 3-121. Válvula de secuencia [62] Figura 3-120. Esquema válvula de secuencia [32]

una presión mínima para el correcto funcionamiento de un dispositivo como puede ser una prensa. Puede utilizarse además en casos en los que existan consumos preferenciales, alimentando el resto de dispositivos únicamente cuando se alcance una presión suficiente.

Estudiaremos dos montajes y usos diferentes de este tipo de válvulas:

1. Accionamiento temporizado de cilindros: en la figura 3-123 se muestra el accionamiento de un cilindro de doble efecto, que no retrocederá hasta que se alcance la presión preestablecida por la válvula de sobrepresión.
2. Mando secuencial de cilindros (temporizado): en la figura 3-124 se muestra el circuito para el accionamiento de dos cilindros de doble efecto (un cilindro de sujeción y un cilindro de trabajo). El accionamiento del cilindro de trabajo no se producirá hasta que la cámara del cilindro de sujeción se encuentre a la máxima presión, garantía de que éste ha actuado.

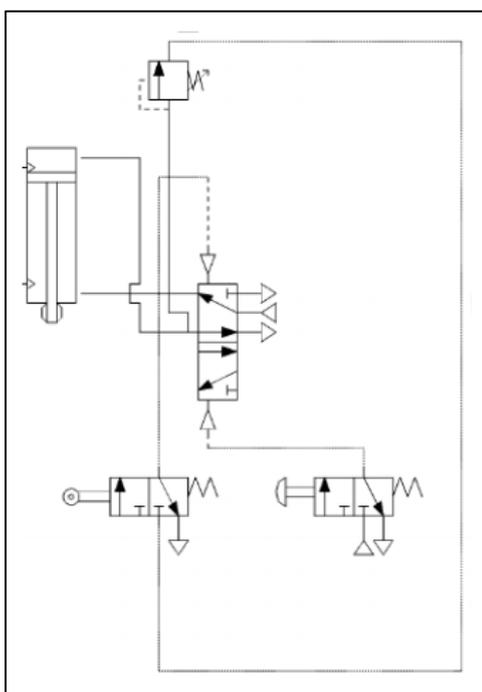


Figura 3-122. Circuito para el accionamiento temporizado de cilindros [49]

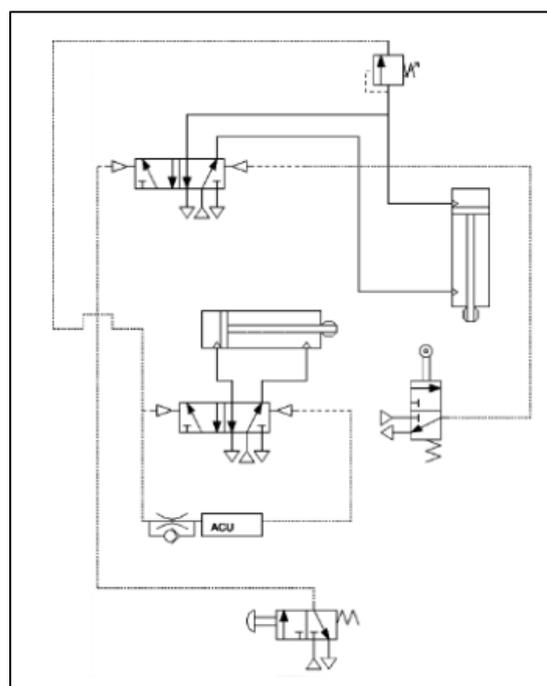


Figura 3-123. Circuito para el accionamiento de cilindros en modo secuencial [49]

3.2.8 Elementos de bloqueo

Los elementos de bloqueo son dispositivos auxiliares que bloquean el paso del aire ya sea en función de su sentido o atendiendo a señales de control. Simplifican el

montaje del circuito reduciendo el número de válvulas distribuidoras necesarias. Existen distintas tipologías de válvulas de bloqueo según la función que desempeñan:

- Válvulas antirretorno: permiten el flujo de aire en un único sentido, impidiendo su circulación en el sentido contrario.
- Válvulas de escape rápido: permiten altas velocidades de retorno de los cilindros.
- Válvulas de simultaneidad (Y)
- Válvulas selectoras (O)

Válvulas antirretorno

En este tipo de válvulas, cuando el sentido de flujo del aire es el permitido por la válvula, si la fuerza del aire a presión es superior a la tensión previa del muelle, el obturador abre el paso, permitiendo el paso del aire. Si el aire intenta fluir en el sentido contrario, la presión del mismo favorece el cierre del obturador, impidiendo el paso del aire.

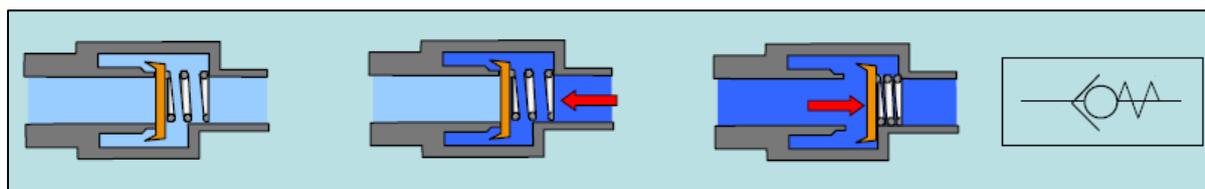


Figura 3-124. Válvula antirretorno, simbología según DIN ISO 1219-1, 03/96 [49]

Válvulas de escape rápido

Con el uso de este tipo de válvulas se reducen drásticamente el tiempo de retorno de los cilindros neumáticos, especialmente en los cilindros de simple efecto. Su funcionamiento es el siguiente:

1. En el llenado del cilindro, la válvula de control permite el paso del aire hacia la cámara del mismo. A su paso por la válvula de escape rápido, la junta de labios cierra el orificio de escape por acción de la presión (todo el aire se introduce al cilindro).
2. En el vaciado del cilindro, al actuar sobre la válvula de control se produce una caída de presión en la misma. Este efecto hace que la junta de labios del escape rápido modifique conectando con el exterior. Normalmente, las válvulas de escape rápido poseen un silenciador que reduce el ruido de los escapes aumentando el área del aire a su salida.

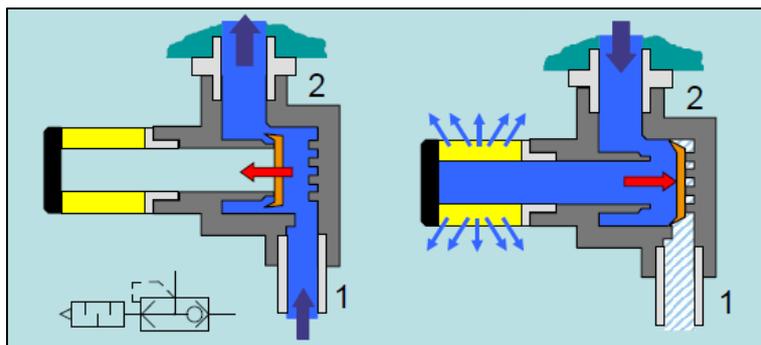


Figura 3-125. Válvula de escape rápido [49]

Válvulas de simultaneidad (Y)

Este tipo de válvulas obedecen a la función lógica Y, de tal manera que únicamente permiten el flujo de aire si las dos señales de aire a presión (1) a la entrada de la válvula actúan simultáneamente. En caso de que haya diferencias de presión entre ambas señales, la señal de presión menor es la que fluye hacia el circuito (2).

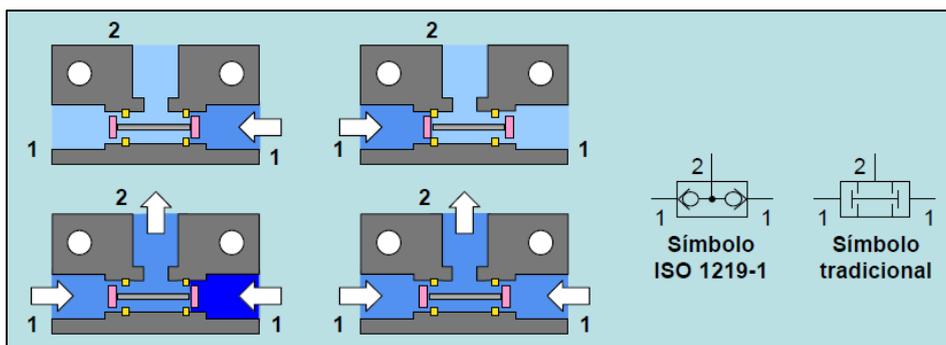


Figura 3-126. Funcionamiento de una válvula de simultaneidad, simbología según DIN ISO 1219-1, 03/96 [49]

Válvulas selectoras (O)

Este tipo de válvulas obedecen a la función lógica O, de tal manera que permiten el flujo de aire si una de las dos señales de aire de entrada (1) introduce presión. En caso de que haya diferencias de presión entre ambas señales, la señal de presión mayor es la que fluye hacia el circuito (2).

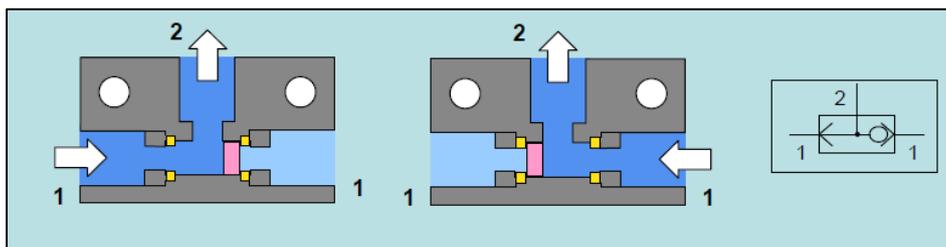


Figura 3-127. Funcionamiento de una válvula selectora, simbología según DIN ISO 1219-1, 03/96 [49]

3.2.9 Elementos de detección: Detectores de señal

Para llevar un minucioso control del estado del circuito neumático en cada momento, se utilizan una serie de dispositivos encargados de recoger esta información, generalmente la posición de los cilindros neumáticos (finales de carrera) o la presencia de objetos. Estos elementos son los detectores de señal y son la base de la automatización industrial. Podemos dividir los detectores neumáticos en 4 grandes grupos:

- Captadores de presión:
 - Presostatos
 - Captadores de umbral de presión
- Captadores de posición:
 - Por contacto
 - Sin contacto (microválvulas neumáticas)
 - Captadores de fuga
 - Captadores de proximidad
 - Captadores de paso
- Amplificadores de señal
- Contadores neumáticos
- Temporizadores neumáticos

Captadores de presión

Presostatos

Estos dispositivos son capaces de emitir una señal eléctrica cuando la presión en el circuito supera un cierto valor ajustado previamente por el diseñador. Pueden ser utilizados como medida de seguridad tanto para advertir de una presión alta o baja en el circuito.

Como ejemplo cercano del uso de estos dispositivos, aunque en aplicación hidráulica, cabe destacar el circuito de aviso de falta de presión de aceite en un vehículo.

Constan de una membrana que por acción de la fuerza de presión del aire se deforma generando un contacto eléctrico.

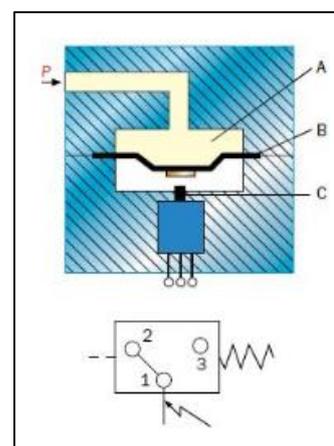


Figura 3-128.
Presostato. A: aire a presión. B: membrana.
C: pulsador eléctrico

[48]

Captadores de umbral de presión

Estos dispositivos responden a la función lógica NO. Ante la ausencia de presión a su entrada, transmiten caudal de aire a la salida a la presión de trabajo. El funcionamiento contrario de este tipo de válvula se correspondería con la función lógica SI. En esencia, se trata del mismo tipo de válvula, la función NO se consigue con la válvula NA mientras que la válvula SI se consigue con la válvula NC.

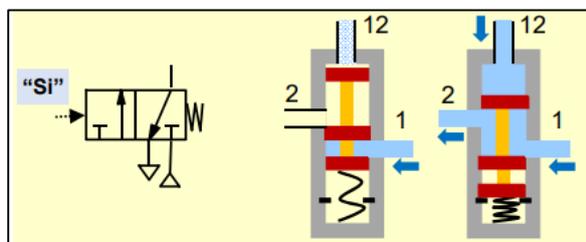


Figura 3-130. Captadores de umbral de presión, función lógica SI [49]

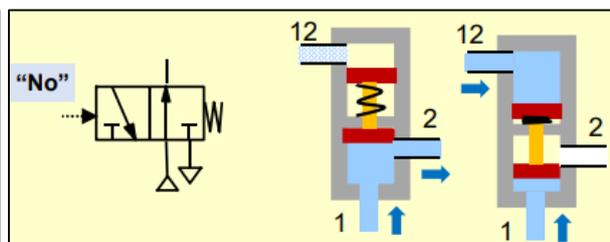


Figura 3-129. Captadores de umbral de presión, función lógica NO [49]

Captadores de posición

Por contacto (Microválvulas neumáticas)

Este tipo de dispositivos emiten una señal eléctrica en función del recorrido, generalmente de los cilindros neumáticos. Los captadores de posición por contacto más utilizados son los finales de carrera.

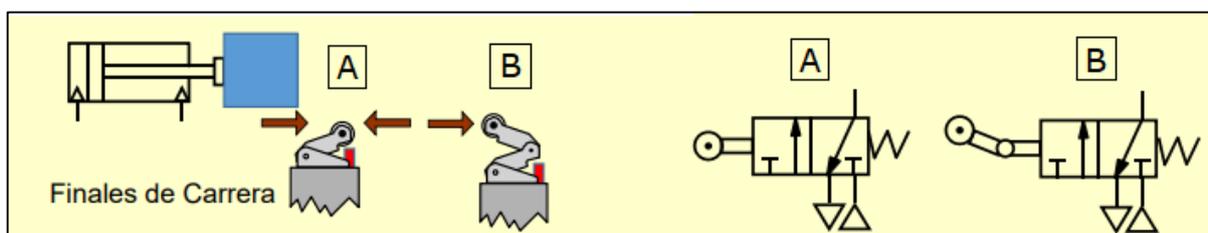


Figura 3-131. Finales de carrera accionados por rodillo (A) y rodillo abatible (B), simbología según DIN ISO 1219-1, 03/96 [49]

Sin contacto

Estos dispositivos son capaces de detectar un objeto sin llegar a tocarle. Los sensores más habituales de este tipo son:

- Focélulas: detentan objetos a través de la recepción del haz luminoso emitido sobre la pieza, resultado de la interferencia con el objeto a detectar. Miden el cambio en la intensidad de la luz. Existen tres tipos diferentes de focélulas:
 - Focélulas de barrera: el emisor y el receptor se encuentran enfrentados situándose el objeto a detectar entre ellos. Este modo

de funcionamiento es muy fiable, poco sensible a la suciedad y a la humedad.

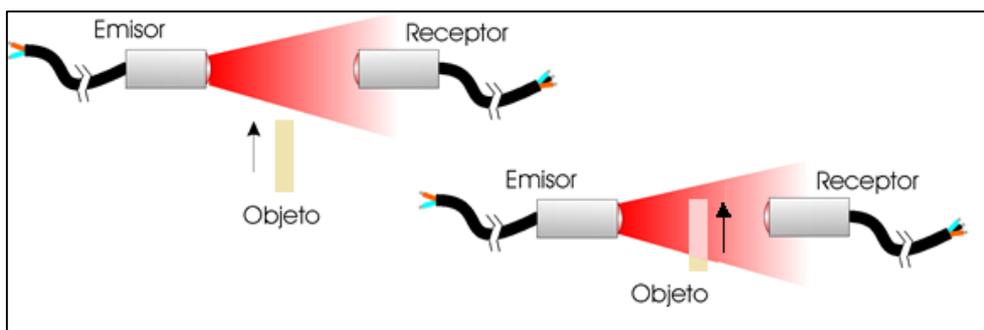


Figura 3-132. Fotocélula de barrera [47]

- Fotocélulas autorreflexivas: el emisor y el receptor se encuentran en una misma carcasa. El haz luminoso, al incidir sobre el objeto, es reflejado y captado por el receptor. Dada la compacidad del sistema, suelen utilizarse en aplicaciones con reducido espacio. La distancia de detección de este sistema depende fuertemente del color del objeto a detectar ya que cada color posee un factor de reflexión de la luz diferente.

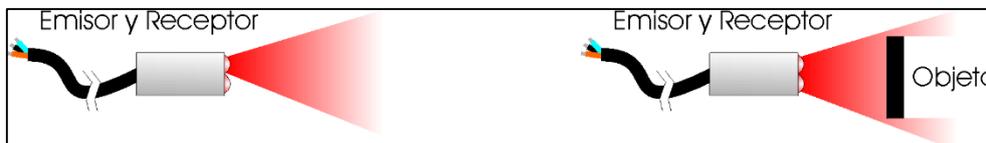


Figura 3-133. Fotocélula autorreflexiva [47]

- Fotocélulas reflexivas con reflector: se diferencia de las fotocélulas autorreflexivas en que se emplea un espejo o reflector situado detrás del objeto. La fotocélula detecta la interrupción del haz de luz (presencia de pieza).



Figura 3-134. Fotocélula reflexiva con reflector [47]

Este tipo de fotocélulas pueden presentar problemas en el caso de que se deseen detectar objetos pulidos o brillantes que puedan reflejar mayor cantidad de luz, alterando el proceso de detección. En

estos casos se utilizan fotocélulas reflexivas con espejo polarizadas. Éstas últimas cuentan con dos filtros de polarización de la luz que permite detectar objetos prácticamente transparentes.

Fotocélula	Distancia de detección	Detecta
De barrera	Elevada	Cuerpos opacos
Autorreflexiva	Baja	Cuerpos opacos
Reflexiva con reflector	Media	Cuerpos opacos

Tabla 3.34 Características de los tipos de fotocélulas principales

- Detectores magnéticos: suelen instalarse en los cilindros neumáticos. Se instala un imán permanente en el émbolo y éste, al desplazarse, cierra un contacto eléctrico.

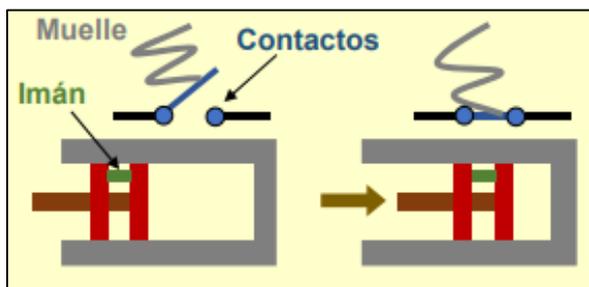


Figura 3-135. Esquema funcionamiento detectores magnéticos [49]



Figura 3-136. Detectores magnéticos [63]

Captadores de fuga

Estos dispositivos detectan la obstrucción de una salida de aire. Su funcionamiento es sencillo: Al cerrarse la salida de aire, el aire circula por la conducción A (ver figura 3-138), que sirve de señal neumática.

Los captadores de fuga deben trabajar a bajas presiones para evitar elevadas pérdidas de aire. Sirven para control de posición de cilindros y finales de carrera.

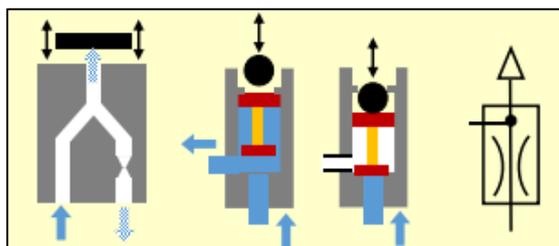


Figura 3-138. Tipologías típicas de captadores de fuga [49]

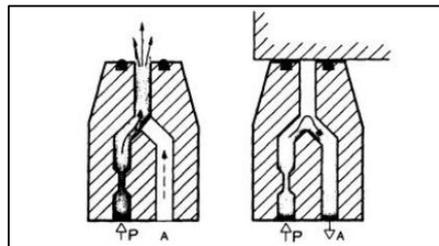


Figura 3-137. Funcionamiento de un captador de fuga [49]

Captadores de paso

Su funcionamiento es similar al de los captadores de fuga. A diferencia de los anteriores, poseen un emisor y un receptor. Estos dos componentes son toberas que emiten y detectan una interrupción del flujo de aire respectivamente. Esta interrupción se produce cuando un objeto se interpone entre la tobera emisora y la receptora.

Estos detectores son muy sensibles a las corrientes de aire y a la suciedad. Por ello, deben instalarse en un espacio lo más protegido posible. Además, la tobera receptora también emite aire a presión, para evitar la deposición de contaminantes.

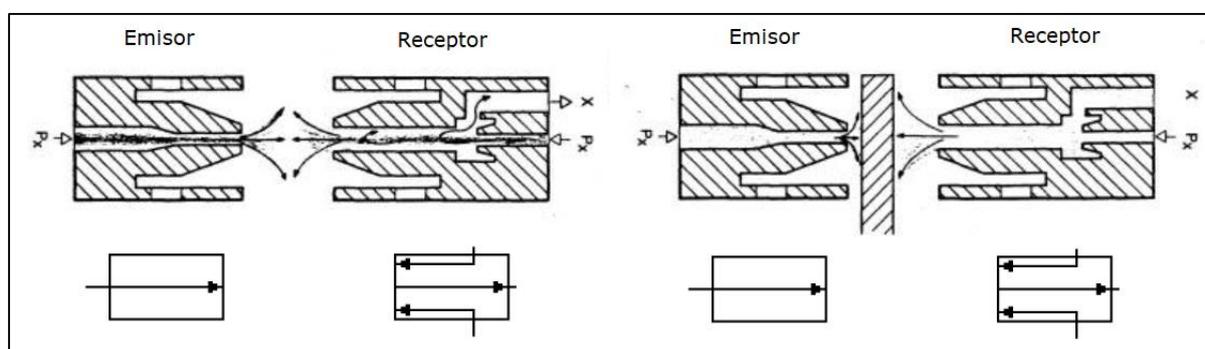


Figura 3-139. Funcionamiento captador de paso, simbología según DIN ISO 1219-1, 03/96 [49]

Captadores de proximidad

Los captadores de proximidad son sensores que permiten detectar la presencia de objetos. El principio físico según el cual funcionan puede ser muy diferente. De este modo, pueden distinguirse distintos tipos de detectores de proximidad: capacitivos, inductivos, fotoeléctricos, ultrasónicos, magnéticos...

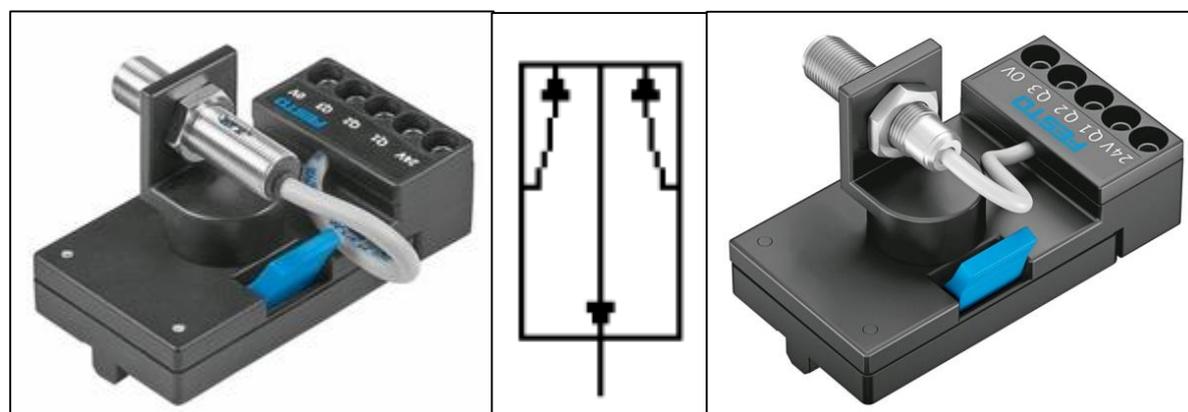


Figura 3-140. Sensor de proximidad óptico (izquierda) frente a Sensor de proximidad inductivo (derecha), simbología según DIN ISO 1219-1, 03/96 [62]

Amplificadores de señal

Estos dispositivos permiten elevar la presión neumática de entrada. No requieren de una fuente de energía externa para su funcionamiento, son alimentados por el mismo aire que amplifican.

Los amplificadores de señal son una alternativa a los compresores de alta presión para conseguir presiones elevadas en puntos concretos de un circuito neumático. Su funcionamiento es simple y está basado en los amplificadores de fuerza. Constan de dos pistones en tándem y de distinto diámetro. El pistón de mayor diámetro recibe el aire de la red, desplazándose por efecto de la presión. Junto con este cilindro, se desplaza el de menor diámetro, que produce una mayor compresión del aire. Para que el movimiento alternativo de los cilindros pueda proporcionar aire a presión en ambas carreras del cilindro, los amplificadores poseen dos finales de carrera.

Existen dos variantes principales de amplificador de señal:

- Amplificadores de señal de una etapa: se utilizan con detectores de fuga.
- Amplificadores de señal de dos etapas: se utilizan con captadores de proximidad y barreras de aire.

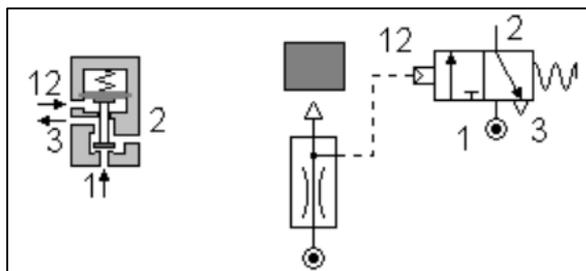


Figura 3-142. Amplificador de una etapa, simbología según DIN ISO 1219-1, 03/96 [49]

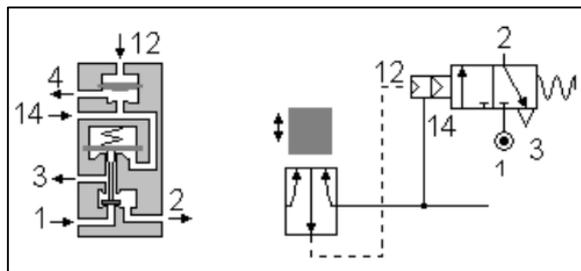


Figura 3-141. Amplificador de dos etapas, simbología según DIN ISO 1219-1, 03/96 [49]

Contadores neumáticos

Estos elementos emiten una señal de salida cuando su contador interno llega a cero. Registran el número de señales neumáticas de entrada, realizando una cuenta atrás que cuando llega a cero, permite el paso de aire entre la entrada y la salida. La señal de salida se mantendrá activa hasta que se seleccione manualmente una nueva cuenta atrás o se inicie la misma con una nueva señal neumática.

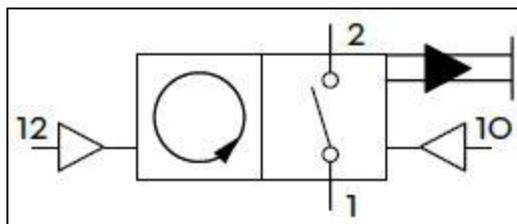


Figura 3-143. Contador neumático, simbología según DIN ISO 1219-1 [48]

Estos contadores son dispositivos muy útiles, utilizados en aplicaciones en las que se requiere que un ciclo se repita varias veces antes de avanzar al siguiente.

Temporizadores neumáticos

Los temporizadores neumáticos proporcionan presión al circuito transcurrido un tiempo desde la recepción de la señal de mando. Están compuestos de varios elementos neumáticos:

- Una válvula reguladora de caudal con antirretorno.
- Un depósito de aire.
- Una válvula distribuidora 3/2 pilotada neumáticamente.

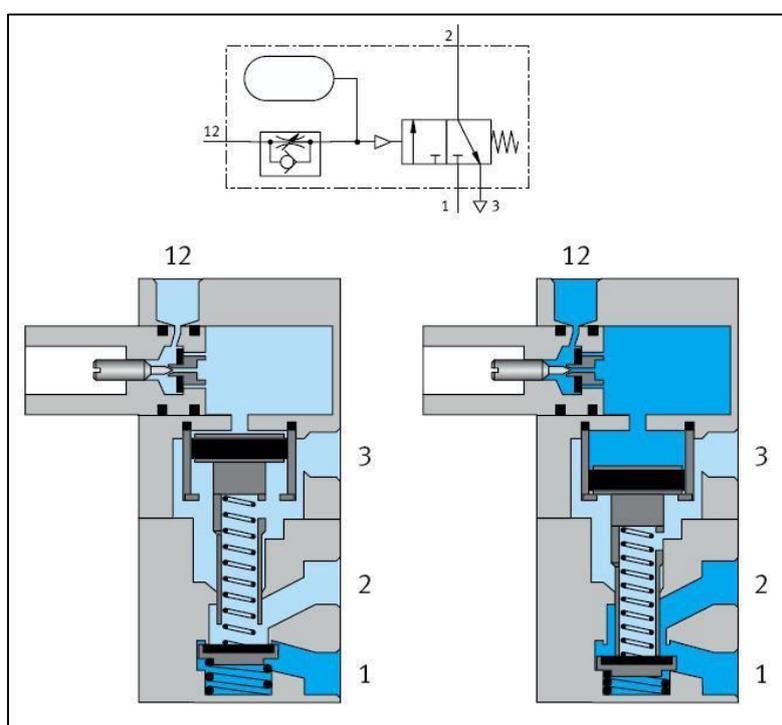


Figura 3-144. Funcionamiento de un temporizador neumático, simbología según DIN ISO 1219-1, 03/96 [32]

La regulación del tiempo de retardo se consigue mediante la estrangulación del caudal de aire que entra al depósito. Cuando la presión de aire en el acumulador es suficiente para realizar la compresión del muelle, se acciona la válvula distribuidora que abre el paso del aire al circuito.

Cuando la línea 12 se encuentra en descarga, el aire contenido en el depósito se libera al ambiente sin regularse su caudal. De esta manera, se permite la conmutación de la válvula distribuidora de forma rápida.

En función del sentido de regulación del aire comprimido en la línea 12, podemos gestionar el tiempo en la conmutación de la válvula distribuidora o en su vuelta a la posición de reposo:

- Temporizadores con retardo en la conexión.
- Temporizadores con retardo en la desconexión.
- Temporizadores con retardo en la conexión-desconexión.

En función de la válvula distribuidora utilizada, los temporizadores pueden dividirse también en:

- Temporizadores normalmente cerrados (NC).
- Temporizadores normalmente abiertos (NA).

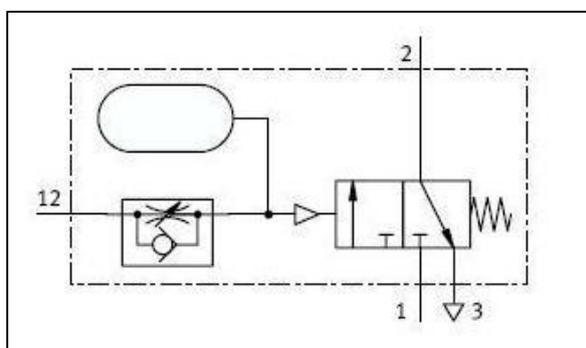


Figura 3-148. Temporizador con retardo a la conexión N.C. Simbología según DIN ISO 1219-1, 03/96 [32]

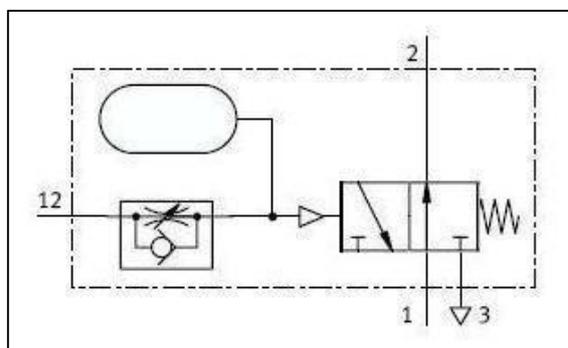


Figura 3-147. Temporizador con retardo a la conexión N.A. Simbología según DIN ISO 1219-1, 03/96 [32]

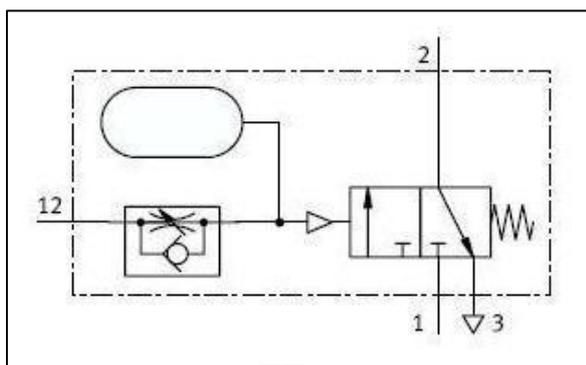


Figura 3-146. Temporizador con retardo a la desconexión N.C. Simbología según DIN ISO 1219-1, 03/96 [32]

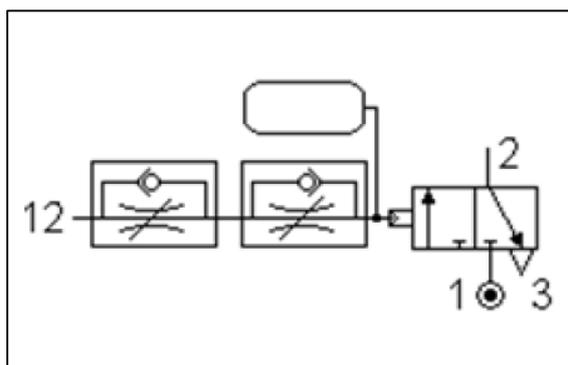


Figura 3-145. Temporizador con retardo a la conexión-desconexión N.C. Simbología según DIN ISO 1219-1, 03/96 [45]

3.2.10 Dimensionado de una instalación neumática

Un correcto dimensionado de los equipos de generación, almacenamiento, distribución, fuerza y control de los circuitos neumáticos es esencial para garantizar un funcionamiento y durabilidad correctos de la instalación. Un sobredimensionado de los equipos se traduce en un mayor coste de instalación y un mayor consumo. No obstante, conviene sobredimensionar ligeramente los equipos de generación y almacenamiento de aire comprimido por dos razones principales:

1. Si los compresores trabajan continuamente en régimen de máxima potencia, su durabilidad puede verse seriamente afectada.
2. Los equipos, válvulas y tuberías se deterioran con el uso, perdiendo prestaciones debido a la aparición de holguras y fugas por efecto del desgaste. De este modo, el consumo de la instalación aumenta con los años a medida que el rendimiento de los equipos disminuye.

Sin embargo, antes de establecer el procedimiento para diseñar y dimensionar un circuito neumático, conviene conocer las leyes que rigen el comportamiento del aire.

Leyes de comportamiento del aire

El aire, por tratarse de un fluido, cumple las leyes de la mecánica de fluidos; es decir, las leyes de comportamiento de los fluidos en equilibrio y en movimiento. Además, el aire cumple con significativa aproximación las leyes de los gases ideales:

$$P V = n R T \quad (3.4)$$

P = Presión absoluta (bar)

V = Volumen (m³)

T = Temperatura absoluta (K)

n = número de moles de gas

R= Constante universal de los gases ideales= 8,314472 (J/ (K · mol))

Leyes de los gases

Las condiciones de un gas, en este caso el aire, se definen mediante tres variables de estado: presión absoluta (P), volumen específico (V) y temperatura absoluta (T). Conocidas dos de ellas, la tercera queda determinada.

Las leyes que establecen la relación entre estas tres variables de estado se recogen en la tabla 3.35.

Ley	Ecuación
Ley de Boyle-Mariotte [T=cte]	$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2 = Cte$ (3.5)
Ley de Charles Gay-Lussac [P=cte]	$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = Cte$ (3.6)
Ley de Amonton [V=cte]	$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2} = Cte$ (3.7)
Ley de Dalton o de las presiones parciales	La presión de una mezcla de gases es la suma de presiones parciales de los gases constituyentes. La presión parcial es la que ejercería cada gas si ocupara él solo el volumen de la mezcla
Ley de Amagat	El volumen de una mezcla de gases es igual a la suma de los volúmenes parciales que los gases constituyentes ocuparían si estuviera cada uno a la presión de la mezcla
Ley de Avogadro	$\frac{V_1}{n_1} = \frac{V_2}{n_2} = Cte$ (3.8)
Ley de Poisson [Proceso adiabático]	$P V^k = P_0 V_0^k = Cte$ (3.9) K: exponente isoentrópico (C_p/C_v). - Varía con P y T, aunque se suele asumir constante. - Para gases biatómicos, $K=1,40$ (aire).

Tabla 3.35. Leyes de los gases

Ecuación de la continuidad de un flujo

Esta ley establece que el flujo másico a lo largo de una tubería de sección variable se mantiene constante.

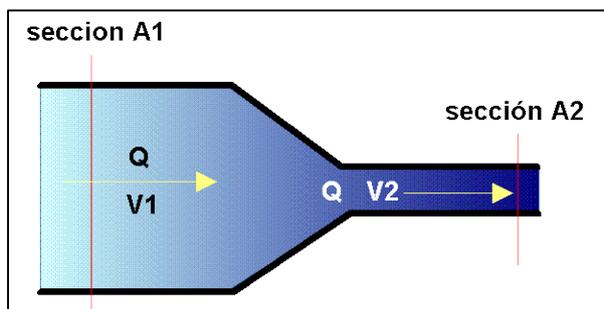


Figura 3-149. Tubería de sección variable [64]

$$Q_1 = Q_2 \quad (3.13)$$

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 \quad (3.10)$$

$$\rho_1 Q_1 = \rho_2 Q_2 \quad (3.11)$$

$$\rho_1 V_1 A_1 = \rho_2 V_2 A_2 \quad (3.12)$$

- \dot{m} = Flujo másico (Kg/s)
- ρ = Densidad del fluido (kg/m³)
- Q= Caudal (m³/s)
- V = Velocidad del flujo (m/s)
- A= Área de la sección de tubería (m²)

Cálculo de la cantidad de agua condensada

En los sistemas neumáticos, la humedad del aire atmosférico es muy importante ya que condiciona la cantidad de condensados que se deberán purgar en el circuito. Por ello, es esencial conocer los siguientes conceptos:

- Temperatura de rocío atmosférico: temperatura a la que el vapor de agua comienza a condensarse a la presión atmosférica.
- Humedad relativa (ϕ , HR): se define como el cociente entre la cantidad de vapor de agua que contiene el aire a una temperatura determinada y el que contendría a esa misma temperatura si se encontrase en estado saturado.
- Humedad absoluta: se define como la cantidad de vapor de agua contenida por metro cúbico de aire.

La cantidad de vapor de agua por metro cúbico de aire que es capaz de contener el aire (a una humedad relativa determinada), solamente depende de su temperatura y no de su presión. De este modo, un m^3 de aire saturado a la presión atmosférica tiene la misma cantidad de vapor de agua que 1 m^3 de aire saturado a 10 bar, siempre que ambos se encuentren a la misma temperatura.

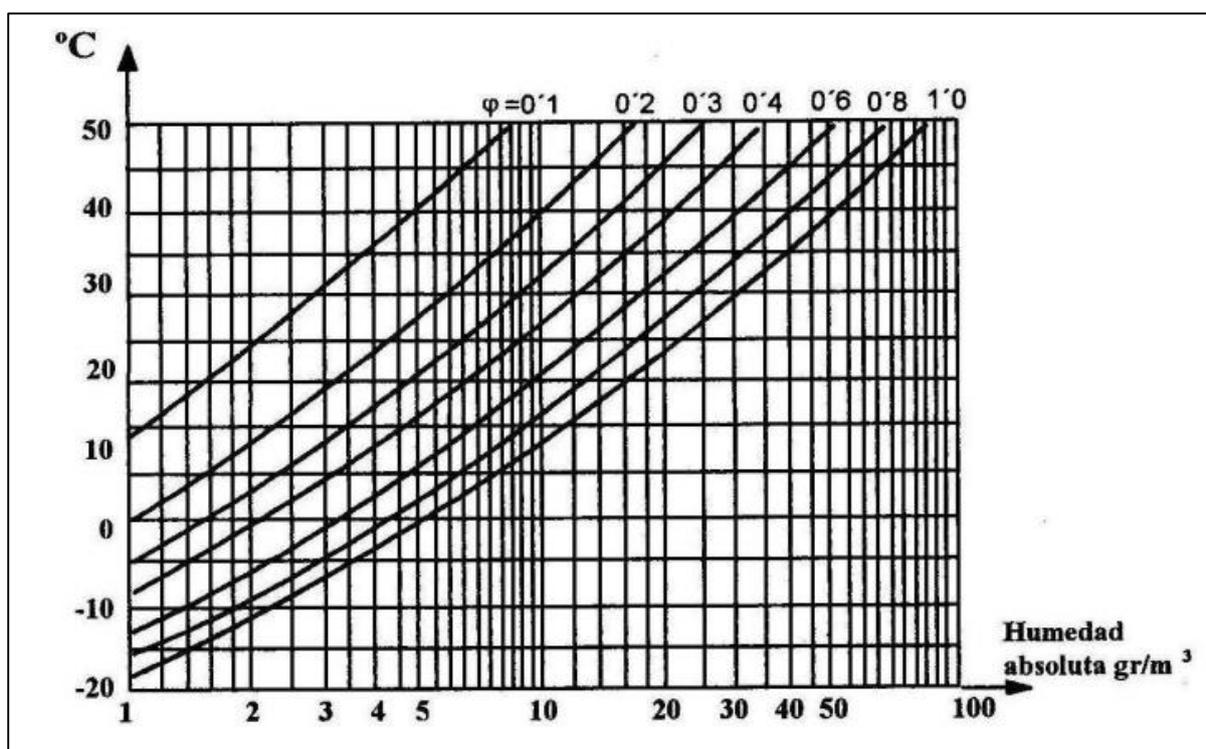


Figura 3-150. Gráfico que relaciona la humedad absoluta del aire a diferentes temperaturas y humedades relativas

Para poder comprender de mejor manera el cálculo de la cantidad de agua condensada sobre el gráfico anterior, plantearemos dos casos hipotéticos:

- Caso 1: Imaginemos un m^3 de aire saturado que se encuentra a una temperatura de 20°C . Si es enfriado hasta 0°C , ¿cuál es la cantidad de vapor de agua condensado?

Si el aire se encuentra saturado ($\phi=1$), a 20°C , la cantidad de vapor de agua que contiene, que es la máxima que puede contener, es de 16 g/m^3 . Al enfriar el aire a volumen constante, la cantidad máxima de vapor que es capaz de contener se reduce a 5 g/m^3 . La cantidad agua condensada será la diferencia:

$$\text{Agua condensada} = 16\text{ gr/m}^3 - 5\text{ g/m}^3 = 11\text{ g/m}^3$$

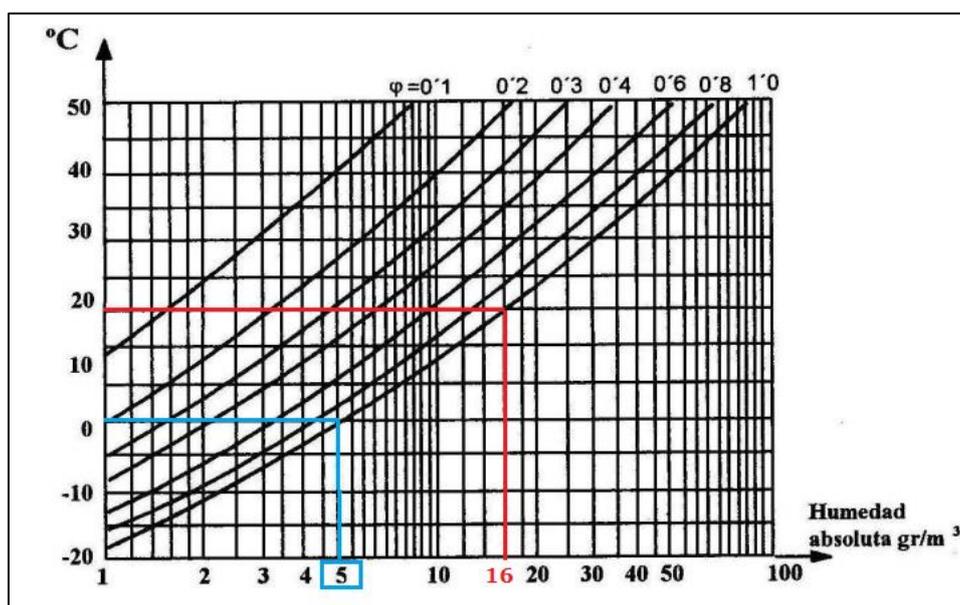


Figura 3-151. Caso 1: Obtención de la humedad absoluta máxima del aire a las temperaturas de 20°C y 0°C

- Caso 2: Imaginemos un m^3 de aire saturado a la presión de 1 bar que se encuentra a una temperatura de 20°C . Si es comprimido a temperatura constante a 3 bar de presión, ¿cuál es la cantidad de vapor de agua condensado?

La cantidad de vapor de agua que es capaz de contener un m^3 de aire es independiente de su presión. Así, al tratarse de un proceso de compresión adiabático se cumple la ecuación de Poisson:

$$P V^k = P_0 V_0^k = Cte \quad (3.9)$$

$$3(\text{bar}) * V^{1.4} = 1(\text{bar}) * 1^{1.4}(\text{m}^3)$$

$$V = 0,333 \text{ (m}^3\text{)}$$

De este modo, al reducirse el volumen, parte del agua condensará:

$$\text{Agua contenida (p=3 bar)} = \text{Humedad abs.} \cdot V \text{ (p=3 bar)} = 16 \text{ gr/m}^3 \\ * 0,333 \text{ m}^3 = 5,328 \text{ g}$$

$$\text{Agua condensada (p= 3 bar)} = \text{Agua contenida (p=1 bar)} - \text{Agua} \\ \text{contenida (p=3 bar)} = 16 - 5,328 = 10,67 \text{ g}$$

Cálculo del volumen del depósito

El volumen del depósito de aire debe sobredimensionarse para poder absorber posibles ampliaciones futuras del circuito neumático en el que está integrado. Existen dos metodologías principales para el cálculo del volumen un depósito de aire a presión:

- Cálculo analítico: El volumen de acumulación dependerá principalmente del consumo de los dispositivos neumáticos del circuito. Además, deberá tenerse en cuenta el caudal suministrado por el compresor.

Para la obtención de la expresión del volumen de acumulación necesaria se utilizará la siguiente nomenclatura:

V_c = Volumen de consumo (l)

V_d = Volumen del acumulador (l)

Q_c = Caudal de consumo (l/min)

Q_s = Caudal de suministro (l/min)

p_1 = Presión de desconexión (bar)

p_2 = Presión de conexión (bar)

Δp = Pérdida de presión = $p_1 - p_2$ (bar)

t_1 = tiempo de llenado (min)

t_2 = tiempo de vaciado (min)

Z = número de conmutaciones (conexión-desconexión) a la hora

Idealmente, se establece que para un modo de funcionamiento intermitente del compresor, el tiempo de llenado del acumulador debe ser igual al tiempo de vaciado del mismo. Además, durante el tiempo de llenado, la mitad del caudal suministrado por el compresor será empleado en rellenar el depósito, mientras que la otra mitad abastecerá las necesidades de consumo del circuito.

Se define el volumen de consumo como:

$$V_c = V_d \Delta p \quad (3.14)$$

Los tiempos de llenado y vaciado se pueden expresar de la siguiente manera:

$$t_1 = \frac{V_c}{Q_s - Q_c} \quad (3.15)$$

$$t_2 = \frac{V_c}{Q_c} \quad (3.16)$$

Según lo expuesto anteriormente, para un régimen de funcionamiento óptimo, los tiempos de llenado y vaciado deben ser iguales:

$$t_1 = t_2$$

$$\frac{V_c}{Q_s - Q_c} = \frac{V_c}{Q_c} \Rightarrow Q_c = \frac{Q_s}{2} \quad (3.17)$$

Además, la suma de los tiempos de llenado y vaciado, debe ser igual al tiempo de conmutación:

$$t_1 + t_2 = \frac{V_c}{Q_s - Q_c} + \frac{V_c}{Q_c} = \frac{60}{Z} \quad (3.18)$$

Teniendo en cuenta que $Q_c = \frac{Q_s}{2}$:

$$t_1 + t_2 = \frac{V_c}{Q_s - \frac{Q_s}{2}} + \frac{V_c}{\frac{Q_s}{2}} = \frac{4 V_c}{Q_s} = \frac{60}{Z} \quad (3.19)$$

Como $V_c = V_d \Delta p$:

$$t_1 + t_2 = \frac{4 V_d \Delta p}{Q_s} = \frac{60}{Z} \quad (3.20)$$

Por lo tanto, el volumen de acumulación V_c para un caso ideal en el que los tiempos de llenado y vaciado son iguales, se puede calcular de acuerdo a la siguiente expresión:

$$V_d = \frac{15 Q_s}{Z \Delta p} \quad (3.21)$$

En un caso distinto al anteriormente descrito, ésta no será aplicable.

- Cálculo gráfico (Gráfico de selección rápida): se trata de un método rápido aunque menos preciso que el anterior ya que se trata de un método gráfico. Para obtener el volumen de acumulación utilizando el gráfico se necesita conocer:

1. Caudal de suministro Q_s .
2. Pérdida de presión Δp .
3. Número de conmutaciones a la hora Z .

El modo de utilizar el diagrama es el siguiente:

1. Desde el valor del caudal de suministro, se traza una horizontal hasta cortar la línea diagonal de Δp correspondiente.
2. Se traza una línea vertical hasta cortar la línea correspondiente a la frecuencia de conmutación Z .
3. Trazando una línea horizontal, se lee el volumen del acumulador.

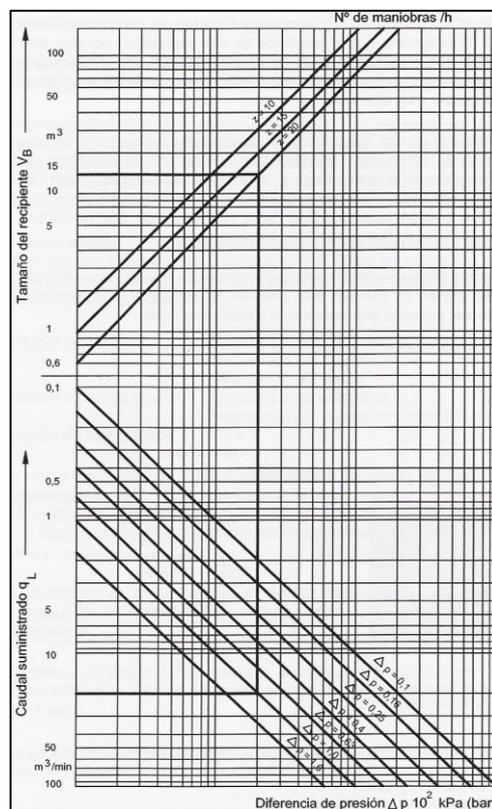


Figura 3-152. Cálculo del volumen de acumulación, gráfico de selección rápida [49]

Cálculo de las pérdidas de carga en la red de distribución

El aire a presión, desde el punto de generación hasta los puntos de utilización, pierde energía por fricción a su paso por las tuberías, filtros, válvulas y otros dispositivos neumáticos de control. Estas "pérdidas de carga" hacen disminuir la presión de la red. Por ello, deben reducirse al máximo las pérdidas de carga del circuito; y como norma general, se establece que no deben superar el 5 % de la presión de suministro. Para ello, se debe seleccionar un diámetro de tubería que cumpla con esta condición. La ecuación de Darcy-Weisbach permite estimar las pérdidas por fricción en la red de tuberías tanto en flujo laminar como turbulento:

$$H_L = f \frac{L_{eq_Tub}}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (3.22)$$

Donde:

f = factor de fricción, valor dependiente del dependiente del tipo de flujo, laminar (ecuación 3.24) o turbulento (ecuación 3.25).

$$f = \frac{64}{Re} \quad (3.24) \qquad \frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left[\frac{\varepsilon}{3,7 D} + \frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right] \quad (3.25)$$

$$L_{eq_Tub} = \text{longitud de tubería equivalente} = L_{tub} + L_{eq_accesorios} \quad (3.26)$$

$L_{eq_accesorios}$: ver tabla 3.36.

V = velocidad

D = diámetro de la tubería

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$ = gravedad

Tipo de accesorio	Diámetro nominal D , en mm							
	≤ 10	12	15	18	22	28	35	42
Curva a 90° con radio de curvatura igual a 5D	0,15	0,16	0,18	0,21	0,25	0,34	0,45	0,50
Curva a 90° con radio de curvatura igual a 3D	0,20	0,23	0,28	0,32	0,37	0,45	0,60	0,70
Codo a 45°	0,10	0,11	0,14	0,15	0,18	0,21	0,28	0,34
Codo a 90°	0,40	0,46	0,55	0,63	0,75	1,00	1,20	1,60
«T» flujo a 90°	0,80	0,88	1,00	1,12	1,35	1,85	2,10	2,75
«T» flujo directo	0,21	0,23	0,26	0,30	0,35	0,40	0,45	0,52
Manguito reducción	0,25	0,29	0,35	0,37	0,40	0,50	0,70	0,80
Válvula retención	1,00	1,09	1,25	1,37	1,60	2,00	2,90	3,50
Válvula de bola	0,15	0,16	0,18	0,21	0,25	0,30	0,35	0,45
Válvula de diagrama	0,50	0,59	0,75	0,83	0,95	1,20	1,50	2,00
Conexión en válvula de toma	0,80	0,88	1,00	1,15	1,50	2,00	2,50	3,00
	Longitud equivalente L_e, en m							

Tabla 3.36. Longitud de tubería equivalente de accesorios según el diámetro interior de la tubería. Orden de 26 de septiembre de 1986 por la que se aprueba la Norma Tecnológica de la Edificación NTE-IGA: «Instalaciones de gas. Aire comprimido» [67]

La caracterización del flujo se realiza a través del valor del número de Reynolds.

- Flujo laminar ($Re < 2000$)
- Flujo turbulento ($Re > 4000$)

El valor del número de Reynolds puede obtenerse analíticamente o de manera gráfica a través de diagrama de Moody.

$$Re = \frac{V D}{\nu} \quad (3.27)$$

Donde:

V = velocidad

D = diámetro de la tubería

ν = viscosidad cinemática del aire

ϵ = rugosidad de la tubería

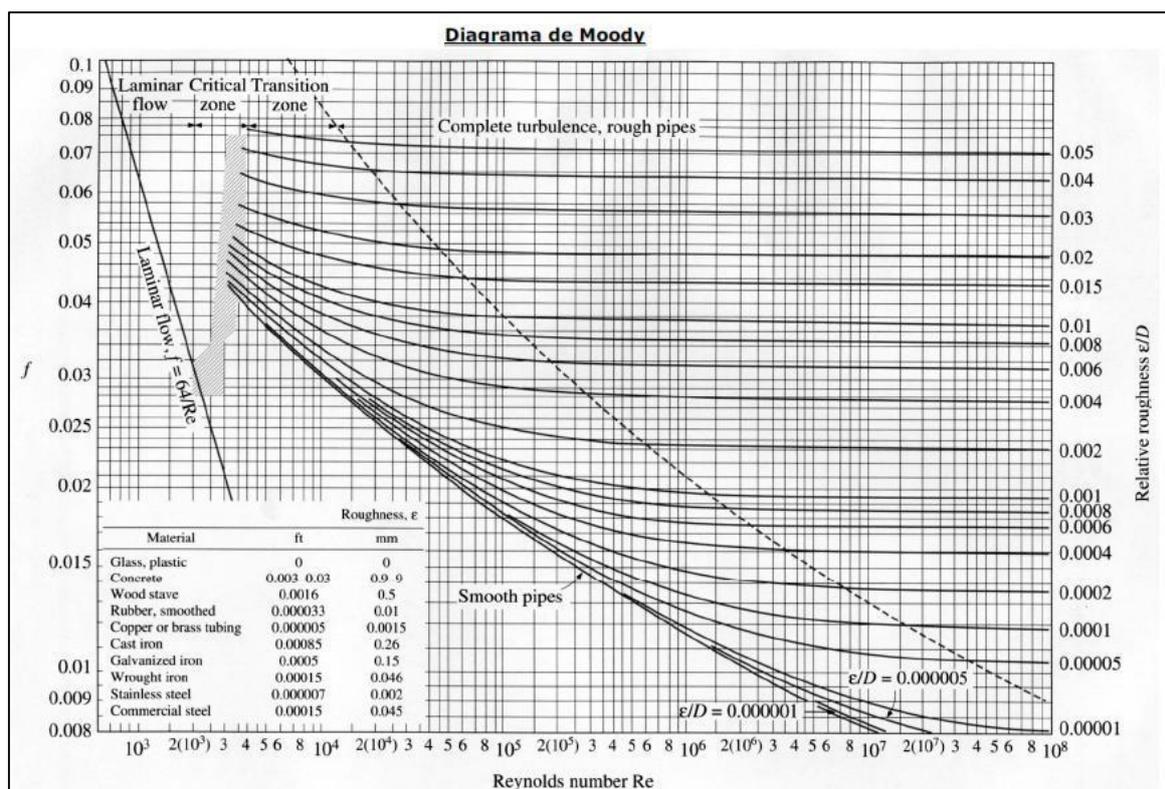


Figura 3-153. Diagrama de Moody [49]

Como alternativa a la formulación analítica para la selección del diámetro de tubería necesario, podemos servirnos de métodos gráficos. Existen dos modalidades de diagrama distintas para dimensionar la red de tuberías de un circuito neumático:

- **Diagrama 1:** los datos de partida para poder trabajar con este diagrama son:
 - Presión manométrica.
 - Caudal de la instalación.
 - Caída de presión por cada 10 metros de tubería.

El modo de utilizar el diagrama es el siguiente:

1. Desde el valor de presión manométrica, se traza una horizontal hasta cortar la línea vertical que parte del caudal de suministro.
2. Desde este punto de corte, se traza una línea diagonal hasta que ésta corte a la línea horizontal que parte de la caída de presión por cada 10 metros de tubería.

3. El diámetro de la tubería se lee en el eje horizontal superior.

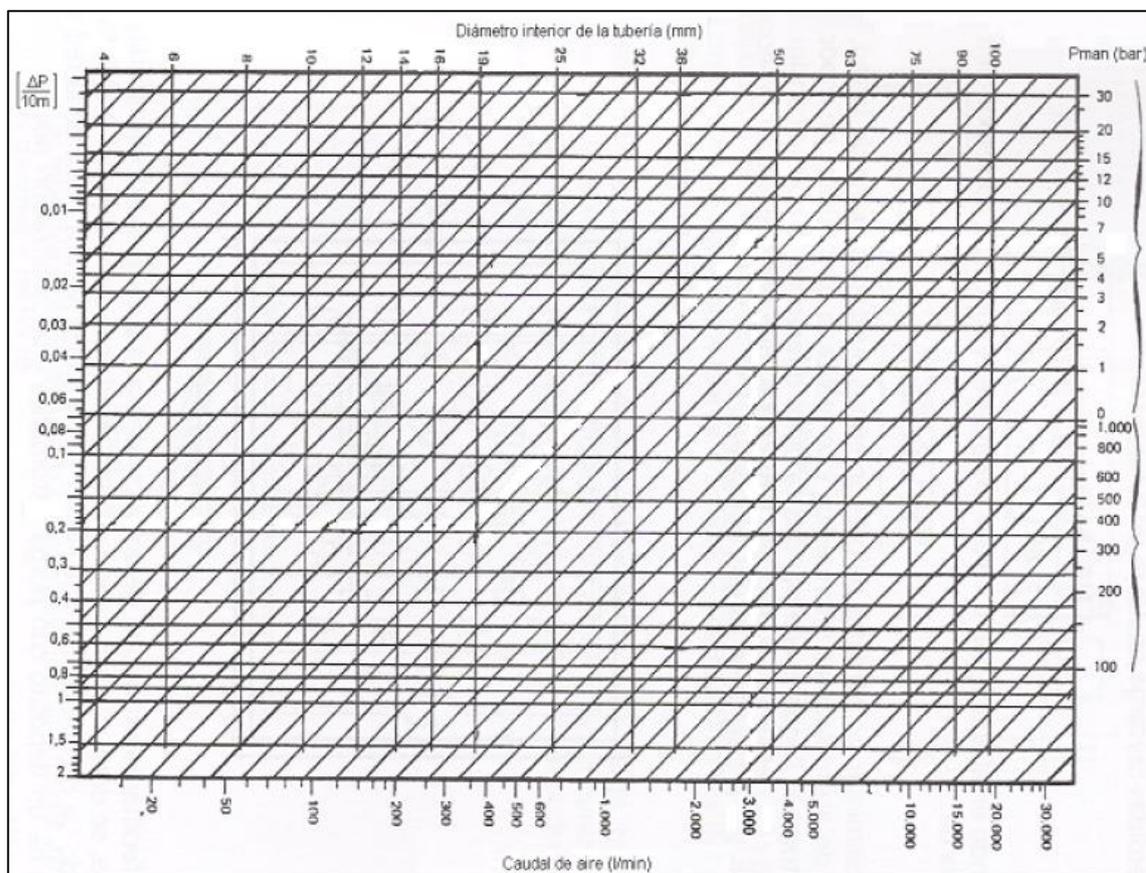


Figura 3-154. Gráfico para el cálculo de la red de distribución de un circuito neumático [49]

- **Gráfico 2:** los datos de partida para poder trabajar con este diagrama son:
 - Longitud de tubería equivalente L_{eq} .
 - Caudal de la instalación Q .
 - Presión de trabajo P .
 - Caída de presión ΔP .

El modo de utilizar el diagrama es el siguiente:

1. A partir de los datos de L_{eq} y Q , se traza una recta que pase por esos dos valores, hasta cortar a la línea de referencia C (punto C).
2. A partir de los datos de P e ΔP , se traza una recta que pase por esos dos puntos, hasta cortar a la línea de referencia F (punto F).
3. Al unir los puntos C y F, esta línea corta a la escala del diámetro interior de la tubería.

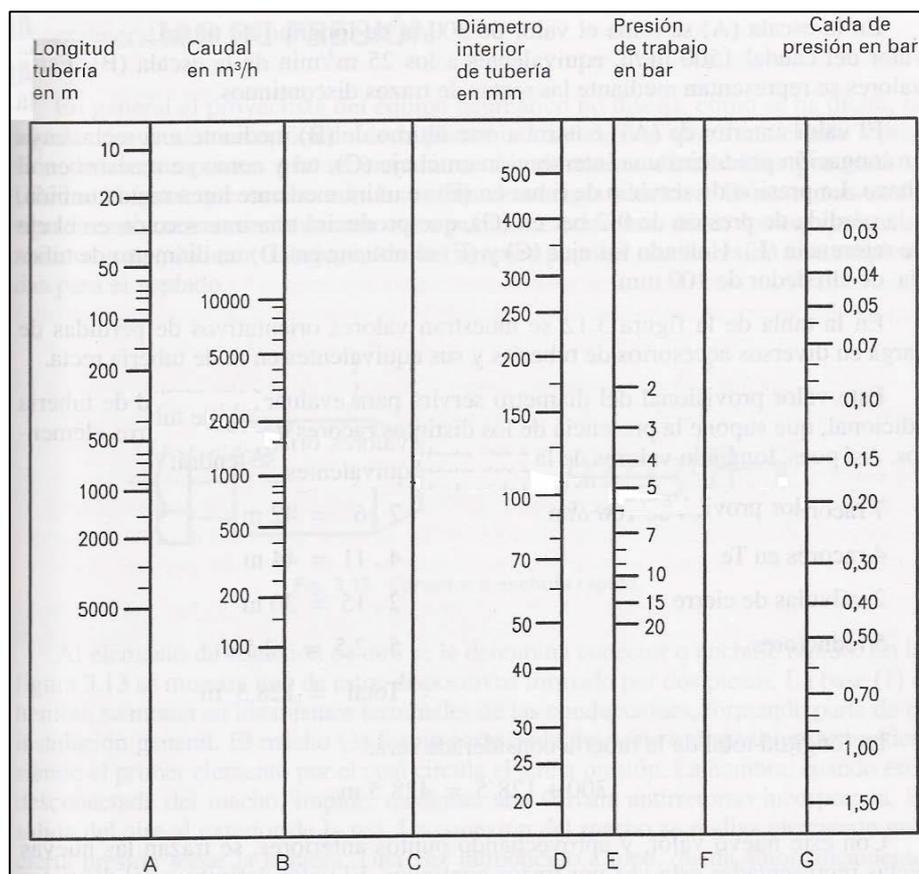


Figura 3-155. Gráfico para el cálculo de la red de distribución de un circuito neumático [49]

Cálculo de los caudales circulantes en la red según La Norma Tecnológica de la Edificación NTE-IGA: «Instalaciones de gas. Aire comprimido»

Esta norma vigente desde el 26 de septiembre de 1986 establece las bases para el cálculo de la presión, diámetro, caudal circulante en la red y volumen de acumulación del depósito.

Determinación del caudal de las unidades compresoras

Según esta norma, el caudal de suministro necesario, se obtiene multiplicando por 3 la suma de los caudales de las distintas unidades de consumo previstas en el centro.

Determinación de caudales circulantes en la red

El caudal en cada ramal se obtiene multiplicando por 1,5 el consumo de los equipos neumáticos presentes en cada uno. El caudal en cada tramo

intermedio se calcula desde los ramales finales hacia los principales estableciendo el equilibrio en cada nudo. Además, para el cálculo de la presión en cada ramificación, deben calcularse las pérdidas de presión tramo a tramo.

$$Q = 1.5 q \quad (3.28)$$

Donde:

Q = caudal en cada ramal (l/s)

q = consumo equipos neumáticos en cada ramal

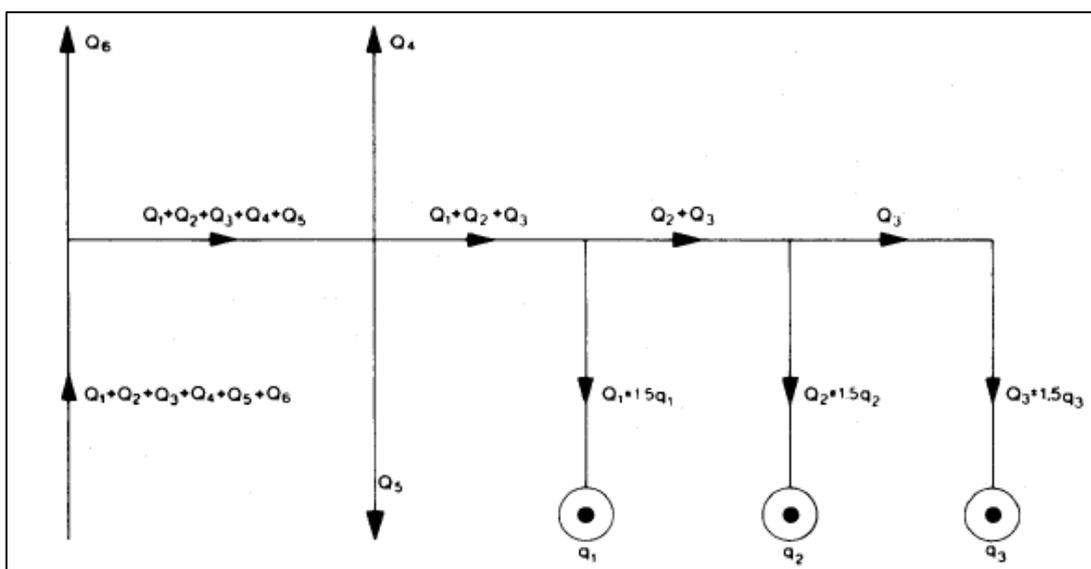


Figura 3-156. Distribución de caudales en los ramales finales e intermedios [67]

Cálculo de presiones

La presión media en los tramos finales será igual a la presión del dispositivo alimentado. La presión en un tramo intermedio será la suma de la presión media y de la pérdida de presión en dicho tramo.

Determinación de diámetros de tubería

Conocido el caudal en cada tramo Q (l/s) y la presión media (kPa), puede obtenerse de forma inmediata el diámetro nominal de la tubería necesaria a partir de la tabla 3.37. Deberá entrarse a la misma con el caudal inmediatamente superior y para la presión el inmediatamente inferior. De este modo, se establece un pequeño coeficiente de seguridad al cálculo.

Caudal Q, en l/s	Presión P, en kPa														
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1.000	1.100	1.200	1.300	1.400	1.500
1	10	10	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
2	15	12	10	10	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
3	18	15	12	12	10	10	10	8	8	8	8	8	8	8	8
4	18	15	15	12	12	12	10	10	10	10	10	8	8	8	8
5	22	18	15	15	12	12	12	12	10	10	10	10	10	10	10
6	22	18	18	15	15	12	12	12	12	10	10	10	10	10	10
7	28	22	18	15	15	15	15	12	12	12	12	10	10	10	10
8	28	22	18	18	15	15	15	15	12	12	12	12	12	10	10
9	28	22	22	18	18	15	15	15	15	12	12	12	12	12	12
10	28	22	22	18	18	15	15	15	15	15	12	12	12	12	12
11	35	28	22	18	18	18	15	15	15	15	15	12	12	12	12
12	35	28	22	22	18	18	18	15	15	15	15	15	12	12	12
13	35	28	22	22	18	18	18	15	15	15	15	15	15	15	12
14	35	28	22	22	18	18	18	15	15	15	15	15	15	15	12
15	35	28	22	22	18	18	18	15	15	15	15	15	15	15	15
16	35	28	28	22	22	22	18	18	18	15	15	15	15	15	15
17	35	35	28	22	22	22	18	18	18	18	15	15	15	15	15
18	42	35	28	22	22	22	18	18	18	18	15	15	15	15	15
19	42	35	28	28	22	22	22	18	18	18	18	18	15	15	15
20	42	35	28	28	22	22	22	22	18	18	18	18	15	15	15
21	42	35	28	28	28	22	22	22	18	18	18	18	18	15	15
22	42	35	35	28	28	22	22	22	22	18	18	18	18	18	15
23	42	35	35	28	28	22	22	22	22	18	18	18	18	18	15
24	42	35	35	28	28	22	22	22	22	18	18	18	18	18	18
25	42	35	35	28	28	28	22	22	22	22	18	18	18	18	18
26	42	35	35	28	28	28	22	22	22	22	18	18	18	18	18
27	·	42	35	35	28	28	22	22	22	22	22	18	18	18	18
28	·	42	35	35	28	28	28	22	22	22	22	18	18	18	18
29	·	42	35	35	28	28	28	22	22	22	22	18	18	18	18
30	·	42	35	35	28	28	28	22	22	22	22	18	18	18	18
31	·	42	35	35	28	28	28	22	22	22	22	22	18	18	18
32	·	42	35	35	28	28	28	22	22	22	22	22	18	18	18
33	·	42	35	35	35	28	28	28	22	22	22	22	22	18	18
34	·	42	35	35	35	28	28	28	22	22	22	22	22	22	18
35	·	42	35	35	35	28	28	28	28	28	22	22	22	22	18
36	·	42	42	35	35	28	28	28	28	22	22	22	22	22	22
37	·	42	42	35	35	28	28	28	28	28	22	22	22	22	22
38	·	42	42	35	35	35	28	28	28	28	22	22	22	22	22
39	·	42	42	35	35	35	28	28	28	28	22	22	22	22	22
40	·	·	42	35	35	35	28	28	28	28	22	22	22	22	22
41	·	·	42	35	35	35	28	28	28	28	22	22	22	22	22
42	·	·	42	35	35	35	28	28	28	28	28	22	22	22	22
43	·	·	42	35	35	35	28	28	28	28	28	22	22	22	22
44	·	·	42	35	35	35	35	28	28	28	28	22	22	22	22
45	·	·	42	42	35	35	35	28	28	28	28	28	22	22	22
46	·	·	42	42	35	35	35	28	28	28	28	28	22	22	22
47	·	·	42	42	35	35	35	28	28	28	28	28	22	22	22
48	·	·	42	42	35	35	35	28	28	28	28	28	22	22	22
49	·	·	42	42	35	35	35	35	28	28	28	28	28	22	22
50	·	·	42	42	35	35	35	35	28	28	28	28	28	22	22

Diámetro nominal D, en mm

* Diámetros no considerados en la presente norma. En estos casos deberá diseñarse el tramo con más de una canalización.

Tabla 3.37. Determinación diámetro nominal. Orden de 26 de septiembre de 1986 por la que se aprueba la Norma Tecnológica de la Edificación NTE-IGA: «Instalaciones de gas. Aire comprimido» [67]

Determinación de la pérdida de presión en cada tramo

Las pérdidas de presión en cada tramo ΔP (kPa) se obtienen a través de la siguiente expresión:

$$\Delta P = \frac{dP (l + \sum l_e)}{10} \quad (3.29)$$

Donde:

dP = coeficiente (Kpa/m) obtenido de la tabla 3.38. El criterio de entrada a la tabla es el mismo que el aplicado para el cálculo de del diámetro en la tabla 3.37.

l = longitud real del tramo (m)

l_e = longitud equivalente (m) de los accesorios presentes en el tramo (ver tabla 3.36)

Tabla 3

Caudal Q, en l/s	Presión P, en kPa														
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1.000	1.100	1.200	1.300	1.400	1.500
1	2.5	1.7	3.8	3.1	2.5	2.2	1.9	1.7	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	1.0
2	1.2	2.4	4.5	3.6	3.0	7.9	6.9	6.1	5.5	5.0	4.6	4.2	3.9	3.7	3.4
3	1.0	1.7	3.8	3.1	6.4	5.5	4.8	4.2	11.6	10.6	9.7	9.0	8.3	7.8	7.3
4	1.7	2.9	2.1	5.2	4.4	3.7	8.1	7.2	6.5	5.9	5.4	15.3	14.2	13.2	12.4
5	1.0	1.7	3.2	2.6	6.6	5.6	4.9	4.4	9.8	8.9	8.2	7.6	7.0	6.5	6.1
6	1.3	2.4	1.8	3.6	3.0	7.9	6.9	6.1	5.5	12.5	11.5	10.6	9.8	9.2	8.6
7	0.5	1.2	2.4	4.8	4.0	3.4	3.0	8.2	7.4	6.7	6.1	14.1	13.1	12.2	11.4
8	0.7	1.5	3.1	2.5	5.1	4.4	3.9	3.4	9.4	8.6	7.8	7.2	6.7	15.6	14.6
9	0.8	1.9	1.4	3.1	2.6	5.5	4.8	4.3	3.8	10.6	9.8	9.0	8.4	7.8	7.3
10	1.0	2.3	1.7	3.7	3.1	6.7	5.8	5.2	4.7	4.2	11.9	10.9	10.2	9.5	8.9
11	0.4	0.8	2.0	4.5	3.7	3.2	7.0	6.2	5.6	5.1	4.6	13.1	12.1	11.3	10.6
12	0.5	1.0	2.4	1.9	4.4	3.7	3.3	7.3	6.5	5.9	5.4	5.0	14.2	13.3	12.5
13	0.5	1.1	2.8	2.2	5.1	4.3	3.8	8.4	7.6	6.9	6.3	5.8	5.4	5.0	14.4
14	0.6	1.3	1.0	2.6	2.1	5.0	4.4	3.9	8.7	7.9	7.2	6.7	6.2	5.8	5.4
15	0.7	1.5	1.1	2.9	2.4	5.7	5.0	4.4	4.0	9.0	8.2	7.6	7.0	6.6	6.2
16	0.8	1.6	1.2	3.3	2.7	2.3	5.6	5.0	4.5	10.1	9.3	8.6	7.9	7.4	7.0
17	0.9	0.6	1.4	3.7	3.1	2.6	6.2	5.6	5.0	4.5	10.4	9.6	8.9	8.3	7.8
18	0.4	0.7	1.5	1.2	3.4	2.9	2.5	6.2	5.6	5.1	4.6	10.6	9.9	9.2	8.6
19	0.4	0.7	1.7	1.3	3.8	3.2	2.8	6.8	6.1	5.6	5.1	4.7	10.9	10.2	9.6
20	0.5	0.8	1.9	1.5	4.1	3.5	3.1	2.8	6.8	6.1	5.6	5.2	12.0	11.2	10.5
21	0.5	0.9	2.0	1.6	1.4	3.9	3.4	3.0	7.4	6.7	6.2	5.7	5.3	12.3	11.5
22	0.6	1.0	0.7	1.8	1.5	4.2	3.7	3.3	8.1	7.3	6.7	6.2	5.8	5.4	12.5
23	0.6	1.0	0.8	1.9	1.6	4.6	4.0	3.6	3.2	8.0	7.3	6.7	6.2	5.8	13.6
24	0.7	1.1	0.9	2.1	1.7	5.0	4.3	3.9	3.5	8.6	7.9	7.3	6.8	6.3	5.9
25	0.7	1.2	0.9	2.2	1.9	1.6	4.7	4.2	3.7	3.4	8.5	7.8	7.3	6.8	6.4
26	0.8	1.3	1.0	2.4	2.0	1.7	5.0	4.5	4.0	3.7	9.1	8.4	7.8	7.3	6.9
27	*	0.6	1.1	0.8	2.2	1.8	5.4	4.8	4.3	3.9	3.6	9.1	8.4	7.8	7.4
28	*	0.6	1.1	0.9	2.3	2.0	1.7	5.1	4.6	4.2	3.8	9.7	9.0	8.4	7.9
29	*	0.6	1.2	1.0	2.5	2.1	1.8	5.5	4.9	4.5	4.1	3.8	9.6	9.0	8.4
30	*	0.7	1.3	1.0	2.6	2.2	2.0	5.8	5.2	4.8	4.4	4.0	10.2	9.5	8.9
31	*	0.7	1.4	1.1	2.8	2.4	2.1	6.2	5.6	5.1	4.6	4.3	4.0	10.1	9.5
32	*	0.8	1.4	1.2	2.9	2.5	2.2	2.0	5.9	5.4	4.9	4.5	4.2	10.7	10.1
33	*	0.8	1.5	1.2	1.0	2.7	2.3	2.1	6.3	5.7	5.2	4.8	4.5	11.4	10.7
34	*	0.9	1.6	1.3	1.1	2.8	2.5	2.2	6.6	6.0	5.5	5.1	4.7	4.4	11.3
35	*	0.9	1.7	1.4	1.1	3.0	2.6	2.3	2.1	6.3	5.8	5.4	5.0	4.6	11.9
36	*	1.0	0.7	1.4	1.2	3.1	2.7	2.4	2.2	6.7	6.1	5.7	5.2	4.9	4.6
37	*	1.0	0.8	1.5	1.3	3.3	2.9	2.6	2.3	7.0	6.4	5.9	5.5	5.2	4.8
38	*	1.1	0.8	1.6	1.3	1.1	3.0	2.7	2.4	7.4	6.8	6.2	5.8	5.4	5.1
39	*	1.1	0.8	1.7	1.4	1.2	3.2	2.8	2.6	2.3	7.1	6.6	6.1	5.7	5.3
40	*	*	0.9	1.8	1.5	1.3	3.3	3.0	2.7	2.4	7.4	6.9	6.4	6.0	5.6
41	*	*	0.9	1.8	1.5	1.3	3.5	3.1	2.8	2.5	7.8	7.2	6.7	6.2	5.8
42	*	*	1.0	1.9	1.6	1.4	3.7	3.3	2.9	2.7	2.4	7.5	7.0	6.5	6.1
43	*	*	1.0	2.0	1.7	1.4	3.8	3.4	3.1	2.8	2.5	7.8	7.3	6.8	6.4
44	*	*	1.0	2.1	1.7	1.5	1.3	3.5	3.2	2.9	2.7	8.2	7.6	7.1	6.7
45	*	*	1.1	0.9	1.8	1.6	1.4	3.7	3.3	3.0	2.8	2.6	7.9	7.4	6.9
46	*	*	1.1	0.9	1.9	1.6	1.4	3.8	3.5	3.1	2.9	2.7	8.3	7.7	7.2
47	*	*	1.2	0.9	2.0	1.7	1.5	4.0	3.6	3.3	3.0	2.8	8.6	8.0	7.5
48	*	*	1.2	1.0	2.0	1.8	1.5	4.2	3.7	3.4	3.1	2.9	8.9	8.3	7.8
49	*	*	1.3	1.0	2.1	1.8	1.6	1.4	3.9	3.5	3.2	3.0	2.8	8.7	8.1
50	*	*	1.3	1.1	2.2	1.9	1.7	1.5	4.0	3.7	3.4	3.1	2.9	9.0	8.4

Coefficiente de pérdida de presión dP, en kPa/m

Tabla 3.38. Determinación coeficiente dP. Orden de 26 de septiembre de 1986 por la que se aprueba la Norma Tecnológica de la Edificación NTE-IGA: «Instalaciones de gas. Aire comprimido» [67]

Dimensionado de cilindros neumáticos

Definida la presión de red y la fuerza que debe ejercer el cilindro, es sencillo calcular el diámetro necesario del émbolo. Además, la elección de la carrera del cilindro depende del tiempo de carrera necesario y de las dimensiones del habitáculo en el que debe instalarse el mismo.

Otro aspecto de especial importancia y que debe tenerse muy en cuenta es el consumo de aire de estos dispositivos. Este aspecto determinará el caudal de aire necesario.

Cálculo de la fuerza ejercida por un cilindro

En el interior de un cilindro, la energía del aire a presión se convierte en energía de desplazamiento de un émbolo. La expresión de la fuerza teórica varía en función del tipo de cilindro que estemos considerando (simple efecto o doble efecto), de su tipología (normalmente dentro o normalmente fuera) y de la carrera que realice (avance o retroceso).

Debe tenerse en cuenta que la fuerza teórica no es la fuerza que aplicará el cilindro, sino que será mayor. Esto se debe a las pérdidas por rozamiento durante el movimiento del cilindro. En función del uso que se vaya a dar al cilindro, las pérdidas variarán:

- En aplicaciones estáticas: se refiere a aquellas aplicaciones en las que la fuerza se ejerce al finalizar la carrera del cilindro. En este caso, las pérdidas se estiman como el 10% de la fuerza teórica.
- En aplicaciones dinámicas: se refiere a aquellas aplicaciones en las que la fuerza se ejerce durante el desplazamiento del cilindro. En este caso, la fuerza útil se estima entre el 50% y el 75% de la fuerza teórica.
- o Cilindros de simple efecto: en ellos, debe tenerse en cuenta la fuerza ejercida por el muelle. En caso de encontrarnos ante un cilindro normalmente dentro, las fuerza de avance y retroceso serán:

$$F_{AVANCE} = \pi \frac{D_{cil}^2}{4} [mm^2] \frac{P [bar]}{10} - F_{RESORTE} \quad (3.30)$$

$$F_{RETROCESO} = F_{RESORTE} \quad (3.31)$$

Y en caso de ser un cilindro normalmente fuera:

$$F_{AVANCE} = F_{RESORTE} \quad (3.32)$$

$$F_{RETROCESO} = \pi \left(\frac{D_{cil}^2}{4} - \frac{d^2}{4} \right) [mm^2] \frac{P [bar]}{10} - F_{RESORTE} \quad (3.33)$$

Donde:

D_{cil} = diámetro del cilindro en mm

P = presión manométrica (bar)

$F_{RESORTE}$ = Fuerza ejercida por el resorte (N)

d = diámetro del vástago del cilindro (mm)

- Cilindros de doble efecto: su cálculo es más sencillo ya que no poseen muelle. En caso de encontrarnos ante un cilindro normalmente dentro, las fuerza de avance y retroceso serán:

$$F_{AVANCE} = \pi \left(\frac{D_{cil}^2}{4} \right) [mm^2] \frac{P [bar]}{10} \quad (3.34)$$

$$F_{RETROCESO} = \pi \left(\frac{D_{cil}^2}{4} - \frac{d^2}{4} \right) [mm^2] \frac{P [bar]}{10} \quad (3.35)$$

Y en caso de ser un cilindro normalmente fuera:

$$F_{AVANCE} = \pi \left(\frac{D_{cil}^2}{4} - \frac{d^2}{4} \right) [mm^2] \frac{P [bar]}{10} \quad (3.36)$$

$$F_{RETROCESO} = \pi \left(\frac{D_{cil}^2}{4} \right) [mm^2] \frac{P [bar]}{10} \quad (3.37)$$

Cálculo del consumo de aire de un cilindro

Para realizar el cálculo del consumo de aire de los cilindros debe conocerse el tiempo del ciclo. Así podrá calcularse el número de carreras realizadas por el cilindro por unidad de tiempo. Dado que las necesidades de caudal instantáneas pueden ser bastante mayores que la media, al caudal obtenido se le añadirá un 10% adicional.

En un cilindro de doble efecto normalmente dentro, el consumo en el avance y en el retroceso será:

$$V_{AVANCE} (l) = \pi \frac{D_{cil}^2}{4} [mm^2] Carrera [mm] \frac{P + P_{atm}}{10^6} \quad (3.38)$$

$$V_{RETROCESO} (l) = \pi \frac{D_{cil}^2 - d^2}{4} [mm^2] Carrera [mm] \frac{P + P_{atm}}{10^6} \quad (3.39)$$

Donde:

D_{cil} = diámetro del cilindro en mm

P = presión manométrica (bar)

P_{atm} = presión atmosférica (bar)

d = diámetro del vástago del cilindro (mm)

Así, el caudal por ciclo se define:

- Para un cilindro de doble efecto:

$$Q_{ciclo} \left(\frac{l}{ciclo} \right) = \pi \frac{2 D_{cil}^2 - d^2}{4} [mm^2] Carrera [mm] \frac{P + P_{atm}}{10^6} \quad (3.40)$$

Generalmente, los valores de fuerza de avance, retroceso y consumo de aire aparecen tabuladas para los diámetros de cilindro normalizados y para una presión concreta.

Cálculo de la fuerza crítica de pandeo del vástago

En aplicaciones en las que se requieran fuerzas de cilindros muy grandes, debe asegurarse la resistencia mecánica del vástago del cilindro a pandeo. El pandeo, también llamado fallo por inestabilidad, es un proceso irreversible que lleva al colapso de la estructura. Consiste en la flexión lateral de un elemento esbelto cuando éste se encuentra sometido a esfuerzos de compresión.

Es importante conocer la fuerza crítica de pandeo, aquella por encima de la cual, se producirá el fallo del vástago del cilindro. Esta fuerza puede calcularse a través de la ecuación de Euler para la inestabilidad elástica.

$$F_{pandeo} = \frac{\pi^2 E \left[\frac{kg}{cm^2} \right] I_{min}}{L_p^2} \quad (3.39)$$

Donde:

F_{pandeo} = carga crítica de pandeo

E = módulo de elasticidad del material del vástago

I_{min} = momento de inercia mínimo de la sección del vástago

L_p = longitud de pandeo de la barra.

La longitud de pandeo depende de del tipo de apoyo de la barra y viene definida por la expresión:

$$L_p = K L \quad (3.40)$$

Donde:

K=coeficiente función del tipo de apoyo

K=2 (caso empotrado-libre)

K=1 (caso biarticulado)

K=0,7 (caso empotrado-articulado)

K=0,5 (caso biempotrado)

Columna articulada-articulada	Columna empotrada-articulada	Columna empotrada-empotrada	Columna empotrada-libre
$L_e = L$	$L_e = 0.699L$	$L_e = 0.5L$	$L_e = 2L$
K = 1	K = 0.699	K = 0.5	K = 2

Figura 3-157. Longitudes de pandeo en función del tipo de apoyo [68]

El concepto de esbeltez de una barra viene se define a través de la siguiente expresión:

$$\lambda = \frac{L_p}{i_{min}} \quad (3.41)$$

Donde:

L_p = longitud de pandeo de la barra.

i_{min} = radio de giro de la sección del vástago

Para poder aplicar la ecuación de Euler el valor de esbeltez debe ser superior a un valor límite ($\lambda > \lambda_{lim}$):

$$\lambda_{lim} = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{f_y}} \quad (3.42)$$

Donde:

f_y =límite elástico del acero del vástago (N/mm²)

E =módulo de Young del acero empleado (N/mm²)

3.3 CONTROL AUTOMATIZADO DE CIRCUITOS

Desde que los sistemas electrónicos comenzaron a abrirse paso en la industria a mediados del siglo XX, su ascenso no se ha interrumpido. De hecho, a día de hoy, no se concibe el diseño de una máquina que no incorpore un medio de control automatizado.

En el ámbito industrial, el control electrónico gira en torno al uso de los PLC. Sin embargo, para la verificación de prototipos, es posible utilizar equipos más sencillos y de menor coste. Me refiero a las placas digitales Arduino que nos brindan la posibilidad de realizar un amplio espectro de funciones: leer información digital de entrada (interactuar con sensores), generar señales digitales de salida (gestionar el funcionamiento de pequeños motores, así como el encendido y apagado de luces), etc.

Conviene realizar un análisis comparativo entre PLC y Arduino, de manera que pueda justificarse la idoneidad del segundo en prototipado.

3.3.1 Arduino

Arduino es una plataforma libre destinada a la generación de pequeños circuitos de control electrónico, basada en hardware y software libre.

Dado que se trata de una plataforma de hardware libre, las especificaciones de todos sus dispositivos son públicas, de manera que pueden ser replicadas por cualquier empresa. Además, la característica de software libre hace accesible el código de programación a cualquier usuario.

El funcionamiento de las placas Arduino no es compleja, pero conviene conocer su base tecnológica para poder comprender su lógica de programación. La base de estos pequeños autómatas es el microcontrolador que gobierna su funcionamiento. Los microcontroladores son circuitos integrados en los que

pueden grabarse instrucciones. Esta secuencia de mando se programa en el entorno Arduino IDE e interactúa con el propio circuito de la placa. Las órdenes de mando dependerán de unas condiciones de entrada previamente programadas. Por ello, en la programación de Arduino, cobran gran importancia las interfaces de entrada y salida:

- Interfaz de entrada: se refiere a todos los periféricos que permiten obtener información del estado del circuito (sensores digitales y analógicos). Estas señales de entrada serán leídas por el microcontrolador, que se encargará de procesar la información y generar las respuestas.
- Interfaz de salida: su función es llevar las respuestas generadas por el microcontrolador a otros periféricos.

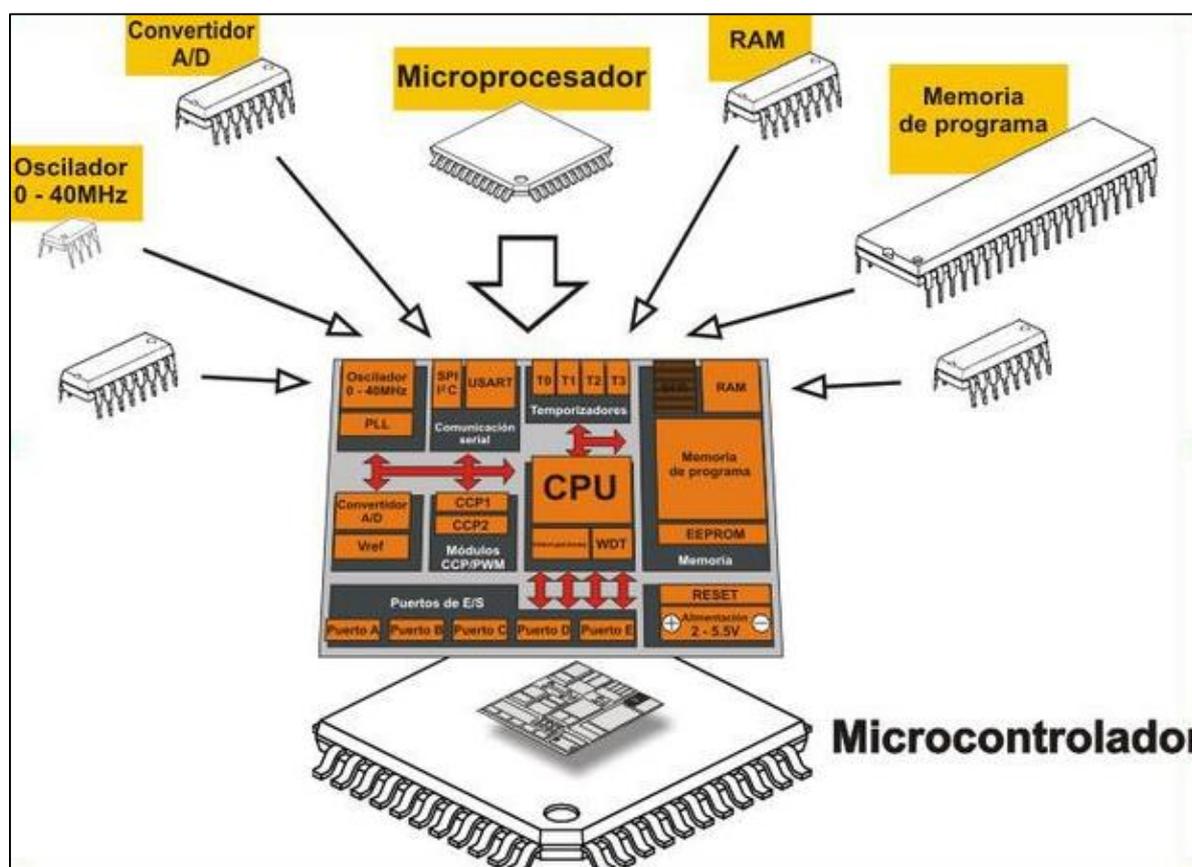


Figura 3-158. Componentes principales de un microcontrolador [70]

En función de la cantidad de pines de interfaz de entrada, salida y del microcontrolador que rige el funcionamiento de la placa, podemos elegir entre una amplia gama de placas de Arduino.

Como ejemplo, en la figura 3-160, puede apreciarse la distribución de los componentes que integran la placa UNO Rev. 3.

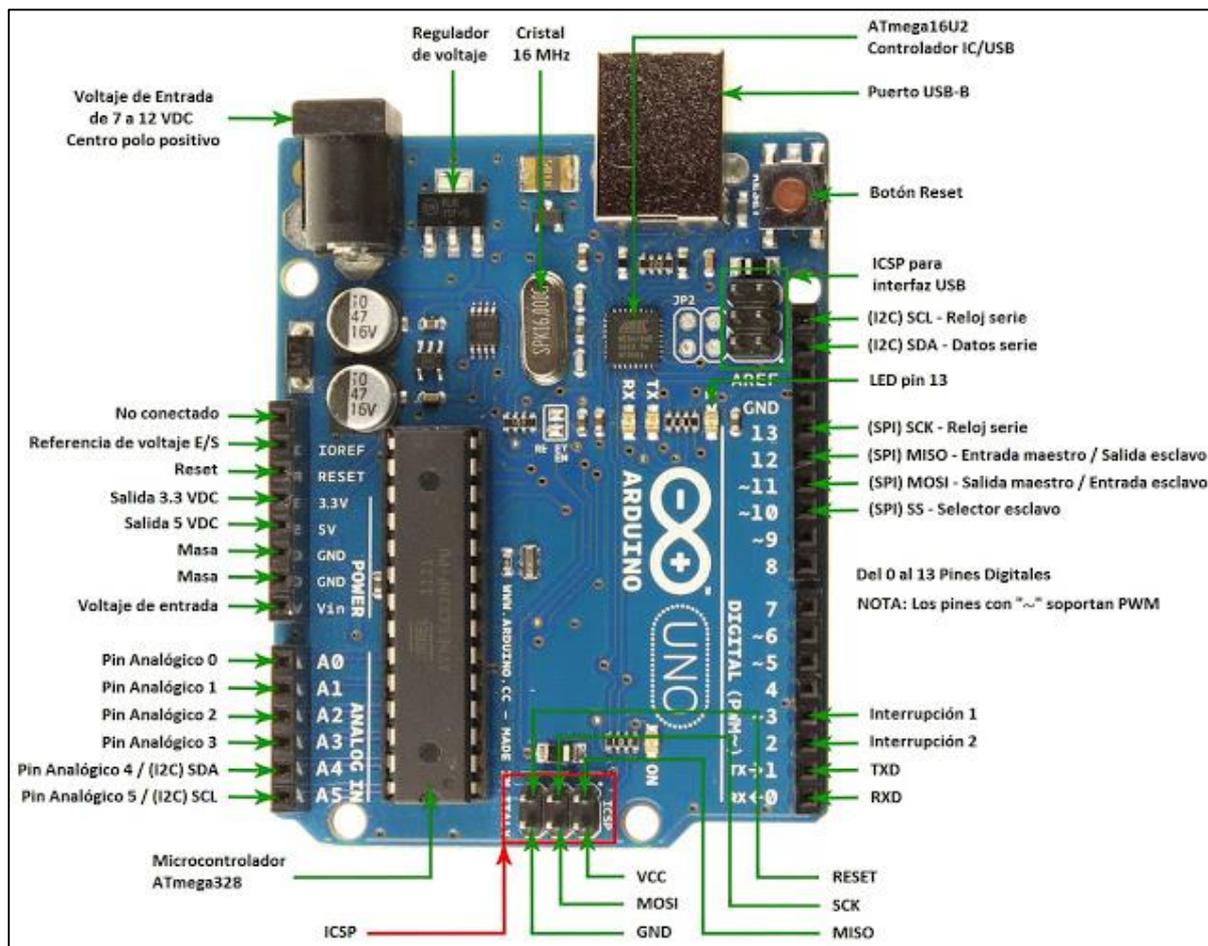


Figura 3-159. Diagrama de pines de Arduino UNO [72]

La mayor limitación que poseen estos dispositivos es la intensidad de corriente que puede manejar:

- Intensidad de corriente máxima por pin: 40 mA. Sin embargo, no se recomienda superar los 20 mA.
- Intensidad de corriente máxima de salida: 200 mA.
- Tensión de alimentación: los pines de Arduino solo pueden poseer valores de 5V 0V. Existen modelos de Arduino que trabajan con 3.3V.



Figura 3-160. Tipologías de placas Arduino [71]

3.3.2 PLC

PLC son las siglas en inglés de programador lógico programable. Los PLC gestionan procesos de control secuenciales en los que se ejecuta una orden detrás de otra. Su propia funcionalidad es la que los hace idóneos para la gestión de procesos de producción industriales. Sin embargo, su aplicación no se reduce a la industria, también están presentes en centros comerciales, hospitales y en nuestras propias viviendas.

Podemos sintetizar en 6 puntos las funciones que es capaz de llevar a cabo un PLC. Como podemos comprobar, son muy similares a las que seríamos capaces de realizar con Arduino:

1. Tomar información a través de fuentes de entrada (digitales y analógicas).
2. Almacenar datos en memoria.
3. Generar señales de salida en base a la programación preestablecida. De esta manera, se actúa sobre los dispositivos externos.

4. Generar ciclos de tiempo.
5. Realizar operaciones matemáticas.
6. Realizar comunicaciones con otros dispositivos externos.

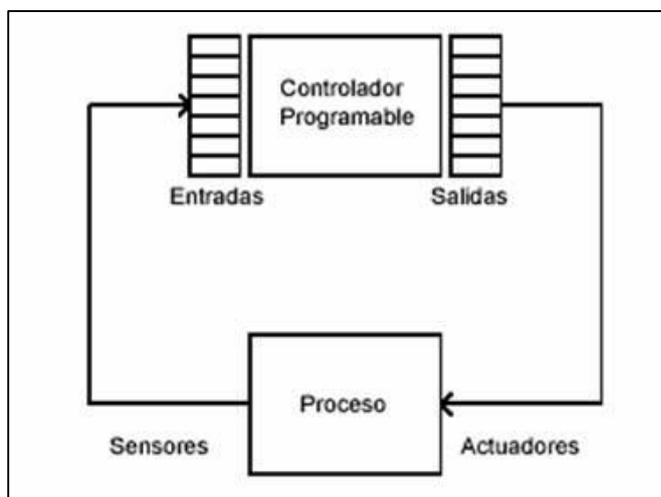


Figura 3-161. Principio de funcionamiento de un PLC [74]



Figura 3-162. PLC Siemens Logo V8 [73]

El funcionamiento de un PLC se realiza de acuerdo a la siguiente secuencia:

1. Tras el encendido, el procesador realiza un chequeo y bloquea todas las salidas. Finalizado el chequeo, el PLC entra en el modo de operación normal.
2. Lee del estado de las entradas, almacenando sus valores en memoria, concretamente en la tabla de imagen de entradas.
3. De acuerdo a su programación, el PLC actualiza una zona de memoria denominada tabla de imagen de salida. El estado de las salidas queda actualizada generándose el accionamiento de los dispositivos programados.
4. El ciclo se repite desde el paso 2.

Existen diferentes tipologías de PLC en función de sus características:

- PLC Compacto: se denomina así a aquellos programadores lógicos programables que incorporan la fuente de alimentación, su CPU y los módulos de entrada y salida en un único módulo principal. El número de señales de entrada y salida que son capaces de gestionar es inferior a 500. Incorporan módulos especiales de la siguiente tipología: entradas y salidas analógicas, módulos contadores rápidos, módulos de comunicaciones, interfaces de operador o expansiones de entrada y salida.

- PLC Nano: se trata de un PLC compacto que puede manejar un reducido número de entradas y salidas (inferior a 100), y un reducido número de módulos especiales.
- PLC Modular: estos PLC están compuestos de los siguientes elementos que son los que en conjunto, conforman el controlador final: rack, fuente de alimentación, CPU, módulos de entrada y salida.

Las principales ventajas de estos dispositivos son:

1. Menor tiempo requerido para la elaboración de proyectos. Esto se debe a:
 - Puede omitirse el dibujo del esquema de contactos.
 - La capacidad de almacenar información en memoria permite simplificar las ecuaciones lógicas de mando.
2. Es un dispositivo compacto que reduce al mínimo el espacio de ocupación.
3. Mantenimiento económico: los propios PLC indican la presencia de averías.
4. Un único PLC permite realizar el gobierno de varias máquinas simultáneamente.
5. En caso de avería de las máquinas que controla, el dispositivo puede ser reprogramado para gestionar el control de otros equipos.

Las principales desventajas de estos dispositivos son:

1. Se requiere de formación específica para poder programar el funcionamiento de un PLC.
2. La inversión inicial es elevada ya que son dispositivos caros.

3.4 SISTEMA SERVOTWIN

Como ya se ha indicado anteriormente, el sistema de control de estanqueidad diseñado va destinado a la verificación de la tapa de fundición de la parte electrónica del sistema Servotwin. Por ello, conviene conocer el funcionamiento del mismo y en base a ello, poder establecer los requisitos de la prueba de estanqueidad de la tapa.

El sistema Servotwin es un sistema de dirección electrohidráulica utilizado en la dirección asistida eléctrica de camiones. Optimiza la dirección hidráulica convencional en los vehículos comerciales aportando mayor comodidad, seguridad y control al volante.

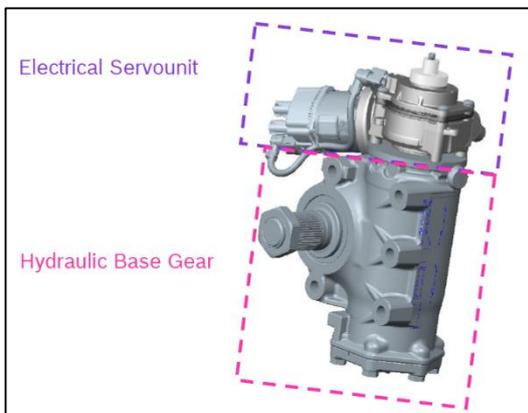


Figura 3-163. Unidad eléctrica e hidráulica del sistema Servotwin [75]



Figura 3-164. Situación de la tapa a ensayar en el conjunto [75]

El funcionamiento es el siguiente. El sistema hidráulico acciona un husillo de bolas a través de un pistón engranado con el primero. El sistema eléctrico consta de un motor conectado a un engranaje de tornillo sin fin. A través del engranaje de tornillo sin fin se puede ejercer un par adicional a la dirección sobre el mismo eje del husillo de bolas. Así, se el esfuerzo manual necesario para el accionamiento de la dirección, puede variarse en función de las condiciones de conducción. Sin embargo, en caso de fallo de este sistema, la dirección asistida hidráulica seguirá funcionando dado que ambos circuitos son independientes.

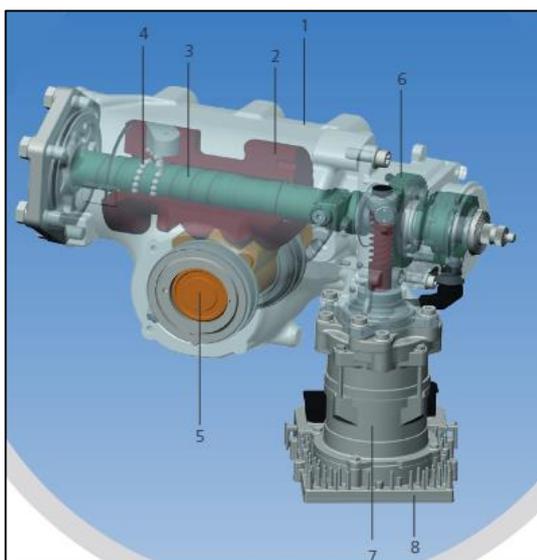


Figura 3-165. Componentes del sistema Servotwin [75]

Ref.	Elemento
1	Carcasa
2	Cilindro
3	Husillo de bolas
4	Cadena de bolas
5	Eje sector dentado
6	Engranaje sin fin
7	Motor eléctrico
8	Unidad de control electrónico (ECU)

Tabla 3.39. Identificación elementos según figura 3-166

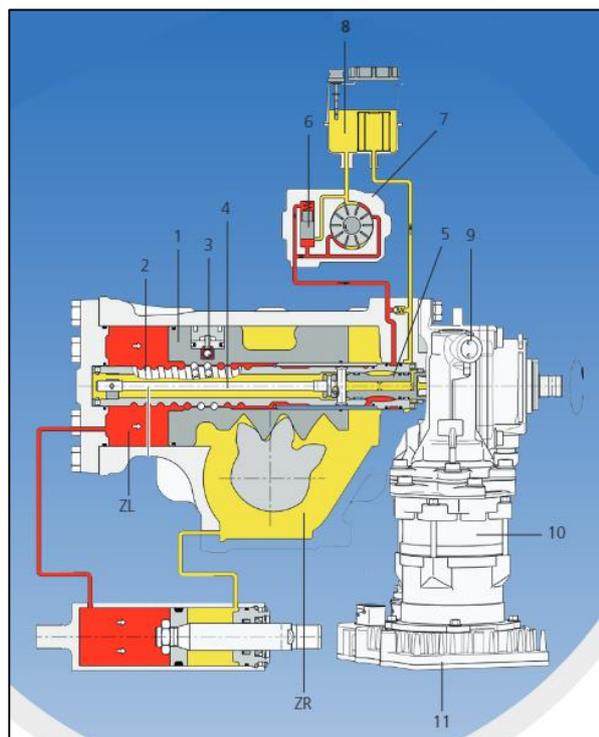


Figura 3-166. Circuito hidráulico del sistema Servotwin [75]

Ref.	Elemento
1	Cilindro
2	Husillo de bolas
3	Cadena de bolas
4	Barra de torsión
5	Válvula de corredera
6	Válvula de limitación de caudal
7	Bomba de dirección
8	Depósito de aceite
9	Engranaje sin fin
10	Motor eléctrico
11	Unidad de control electrónico (ECU)
ZL	Cilindro de accionamiento (lado izquierdo)
ZR	Cilindro de accionamiento (lado derecho)

Tabla 3.40. Identificación elementos según figura 3-167

El gobierno del motor eléctrico lo rige la ECU a través de los parámetros detectados por diferentes sensores situados en el sistema (ángulo de giro, par ejercido, velocidad del vehículo, condiciones de carga...). De esta manera, la ECU establece la asistencia necesaria y acciona el motor eléctrico.

Las ventajas del sistema Servotwin frente al convencional sistema de dirección asistida hidráulica son:

- Ahorro de combustible: reduce el consumo en torno a 0,6 l/100 km.
- "Active return": el motor eléctrico ayuda a situar las ruedas en línea recta después de tomar una curva.
- Aumento de la seguridad al volante: en caso de fallo de la unidad hidráulica, será el motor eléctrico el encargado de proporcionar la energía a la dirección asistida. El sistema está compuesto de un circuito dual con suministros de energía diferentes (eléctrico e hidráulico).
- Compensación del viento lateral: el sistema electrónico conecta el motor eléctrico para mantener el vehículo en la carretera cuando el viento es perceptible en la conducción.

- Protege el tope mecánico de la dirección: desde una posición programa del volante, el motor eléctrico reduce la asistencia de la dirección, ejerciendo un par contrario al de giro si fuera necesario. De este modo, la dirección no alcanza su tope y no se daña el tope mecánico.

Además, algunas marcas de vehículos comerciales incluyen las siguientes funciones adicionales:

- Esfuerzo de dirección dependiente de la velocidad del vehículo: de este modo, se consigue una dirección precisa y rápida a altas velocidades y fácil de manejar a bajas velocidades.
- Función de mantenimiento de carril: si el vehículo abandona involuntariamente el carril, se advierte al conductor y se corrige automáticamente la posición del volante.

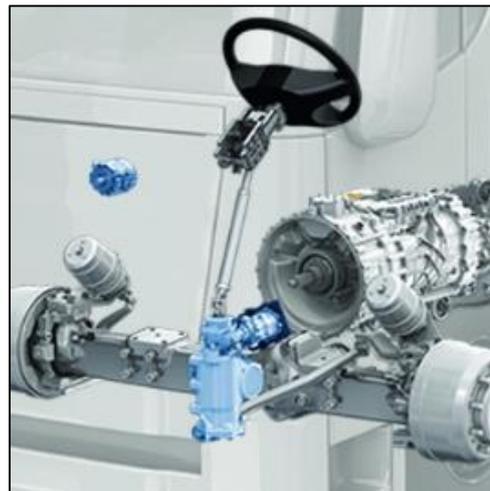


Figura 3-167. Situación del sistema Servotwin en el sistema de dirección de un camión [75]

4 REQUISITOS DE DISEÑO

Como ya se anticipara al comienzo de este proyecto, el propósito de este trabajo es el de diseñar el circuito neumático automatizado de una máquina para el control de estanqueidad de piezas del sistema de dirección de vehículos (sistema Servotwin). Como se ha podido comprobar en el apartado 3.4, la tapa del sensor, que es la que debemos ensayar mediante el equipo de control de estanqueidad, no se encuentra sometida a presión hidráulica interna o a cualquier otro tipo de esfuerzo. De este modo, su función consiste simplemente en sellar los componentes eléctricos y electrónicos de la unidad Servotwin evitando la entrada de líquidos y partículas sólidas que puedan deteriorarlo.



Figura 4-2. Situación de la tapa a ensayar en el conjunto [75]

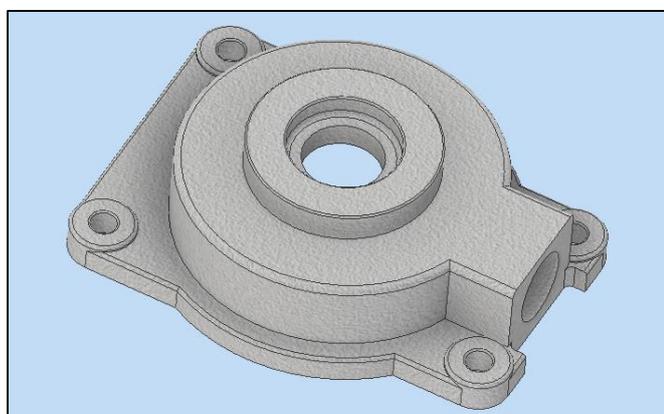


Figura 4-1. Modelo CAD de la tapa

4.1 SELECCIÓN DE LA TÉCNICA END

Nuestro objetivo consiste en detectar la presencia de grietas en la pieza que sirvan de oficio de entrada al agua y al polvo, lo cual es del todo inadmisibles. Dado que simplemente nos interesa diferenciar entre pieza buena o mala, sin cuantificar el tamaño de la grieta, el método más rápido y económico es un método de control de la hermeticidad por caída de presión.

Aunque existen distintos tipos de montajes para realizar el ensayo de la pieza:

- Con pieza de referencia: se mide la caída o diferencia de presión diferencial entre las dos piezas.
- Sin pieza de referencia: mide la caída de presión de la pieza ensayada.

El uso de una pieza de referencia (tapa patrón sin fugas), permite realizar una medición más exacta, sobre todo al ensayar piezas con un volumen significativo.

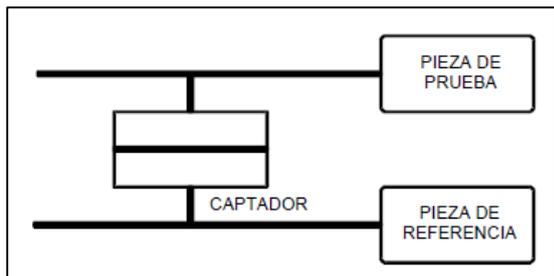


Figura 4-4. Prueba de control con referencia

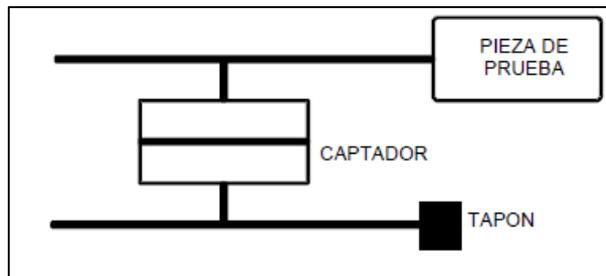


Figura 4-3. Prueba de control sin referencia

El ciclo de medición de divide en 5 fases:

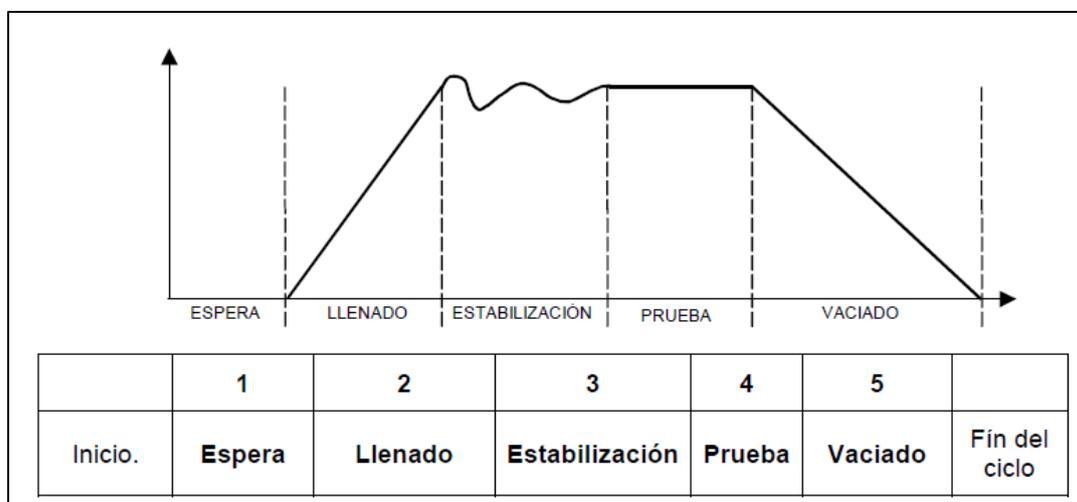


Figura 4-5. Ciclo de medición (fases)

Para poder obtener resultados correctos deben ajustarse correctamente los tiempos de cada fase:

1. Tiempo de espera: es el tiempo requerido para que la línea de entrada de aire a la pieza se presurice. Su valor ronda los 0,5 segundos.
2. Tiempo de llenado: es el tiempo necesario para producir el llenado de la pieza a la presión de ensayo. En nuestro caso, dado que se trata de una prueba de fugas, y no de resistencia mecánica, la presión de ensayo será de 1 bar (presión manométrica). Concluido el llenado, se corta la entrada de aire a la pieza, garantizando la hermeticidad.

Para poder ajustar el tiempo de llenado correcto, debe determinarse un Tiempo Demasiado Largo de Llenado (TTLR) e ir reduciéndolo hasta

observar una caída de presión debida a los efectos térmicos. En ese momento, debe aumentarse el tiempo hasta que dejen de apreciarse dichos efectos térmicos. De este modo, el tiempo de llenado se determina empíricamente.

$$TTLR (s) = \sqrt[4]{V(cm^3) P(mbar)} \quad (4.1)$$

Donde:

V= volumen de llenado en cm^3

P= presión de llenado (mbar)

3. Tiempo de estabilización: tiempo requerido para que se equilibre la presión y la temperatura interna tras el cierre de la válvula que permite el paso del aire al interior de la pieza. El tiempo estabilización cobra gran importancia en los ensayos con pieza de referencia. Su determinación es también empírica.
4. Tiempo de prueba: es el tiempo durante el cual se mide continuamente la presión en la cámara de estanqueidad, controlando que la misma no decaiga. La caída de presión asociada a una fuga, se obtiene a partir de la siguiente expresión. De este modo, conocida la caída de presión, puede obtenerse el tamaño aproximado de la fuga.

$$\Delta P \left(\frac{Pa}{s} \right) = \frac{F (cm^3/min)}{0,0006 \times V (cm^3)} \quad (4.2)$$

Donde:

F= caudal de fuga (cm^3/min)

V= volumen de la pieza ensayada (cm^3)

ΔP = caída del presión (Pa/s)

5. Tiempo de vaciado: tiempo necesario desde el momento de apertura de la válvula de escape para que la pieza ensayada se sitúe a presión atmosférica.

4.2 DISEÑO NEUMÁTICO

Conocida la metodología de ensayo, que será gestionada por un autómata programable (en nuestro caso, un Arduino), los pasos a seguir serán los siguientes:

1. Establecer la secuencia neumática del ensayo.
2. Diseño dimensional de los útiles de aislamiento y sujeción de la pieza. Se trata de útiles específicos para el control de la tapa, ajustados a su geometría.
3. Dimensionado de los cilindros neumáticos, de acuerdo a la fuerza con la que los mismos deban sujetar a la pieza.
4. Diseño del circuito neumático.
5. Cálculo del volumen del acumulador.
6. Esquema preliminar de la estructura de la máquina y de la situación de los dispositivos neumáticos en la misma.

Como base teórica y tecnológica para el diseño del circuito neumático se ha tomado el diseño de otras máquinas destinadas a realizar el control de estanqueidad de piezas.

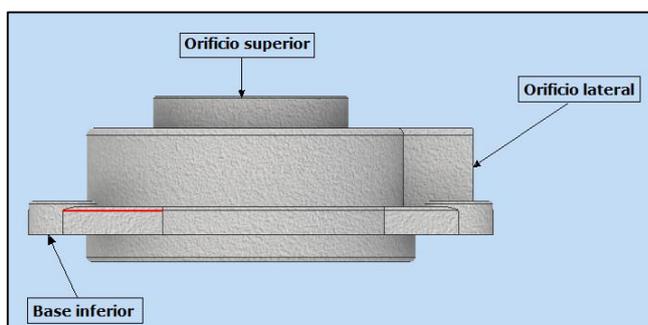


Figura 4-8. Referencias a las partes de la tapa

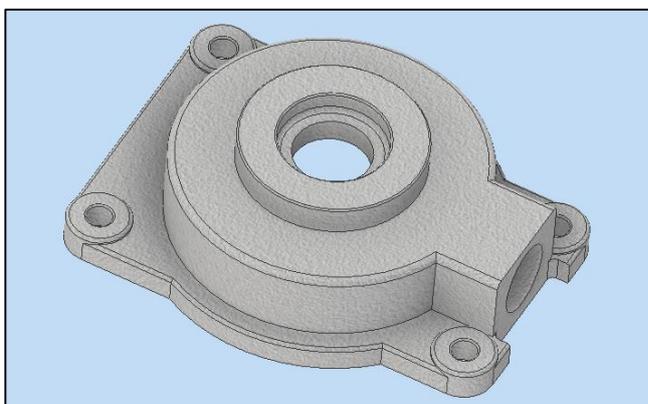


Figura 4-7. Modelo CAD de la tapa



Figura 4-6. Montaje básico de un fugómetro

4.2.1 Secuencia neumática de ensayo

Como base teórica y tecnológica para el diseño del circuito neumático se ha tomado el diseño de otras máquinas destinadas a realizar el control de estanqueidad de piezas. Debe tenerse en cuenta que el circuito se diseñará de tal manera que no se podrá saltar de un paso al siguiente si el paso previo no ha concluido correctamente.

1. Situar la tapa en la posición de ensayo. La pieza se coloca sobre una base (base de ensayo) que se corresponde con el negativo de la superficie inferior de la tapa a ensayar. De este modo, se garantiza la estanqueidad de la pieza en su base inferior, evitando la fuga de aire por dicha base. Además, será por esta base por la que se introducirá el aire hacia el interior de la cámara de estanqueidad.
Al detectarse la presencia de pieza mediante un sensor fotoeléctrico, se permite la presurización de la línea.
2. Accionar el pulsador de inicio de ensayo.
3. Salida de cilindro superior.
4. Salida de cilindro lateral. El cilindro lateral no saldrá si el cilindro superior no ha alcanzado su final de carrera.
5. Comienzo del control de estanqueidad.
 - 5.1 Apertura de la válvula de control que permite el paso del aire a la pieza: comienza el llenado. La apertura de la válvula se ralentizará el correspondiente tiempo de espera.
 - 5.2 Fase de llenado: pasado el tiempo de llenado, se cierra el paso de aire a la pieza, se hermetiza la cámara.
 - 5.3 Fase de estabilizado: pasado el tiempo de estabilizado, se medirá la presión en el interior de la cámara comprobando que la presión se ha estabilizado correctamente.
 - 5.4 Fase de prueba: pasado el tiempo de prueba, se volverá a medir la presión en el interior de la cámara. Si la presión se ha mantenido constante, la pieza no presenta fugas (pieza correcta).
 - 5.5 Activación micropercutor para marcar la trazabilidad de la tapa ensayada. Este paso solo se llevará a cabo si la pieza no ha presentado fugas.

- 5.6 Fase de vaciado. Se produce la apertura de una válvula que comunica la cámara directamente con el exterior durante el tiempo de vaciado.
6. Se produce el retorno del cilindro lateral y a continuación, del cilindro superior.

Con anterioridad a establecer la secuencia de ensayo, deben tenerse en cuenta los dispositivos neumáticos necesarios para que la secuencia pueda realizarse.

4.2.2 Diseño preliminar de los útiles de aislamiento

Dada la geometría especial de la pieza, deben diseñarse unos útiles especiales que cumplan las siguientes funciones:

- Realizar la sujeción de la pieza durante el ensayo.
- Sellar los orificios por los que pueda fugarse el aire.

De este modo, se realizará el amarre y sellado de la pieza mediante dos cilindros (análogo al montaje básico de la figura 4.6). Sin embargo en nuestro caso, solo serán necesarios dos cilindros:

- Cilindro superior: deberá incorporar un útil que será el encargado de realizar tres funciones:
 1. Servir de sujeción para la tapa.
 2. Detectar la presencia de rosca en los cuatro agujeros exteriores. Se requiere de esta acción ya que debido a errores en la prefabricación, puede darse el caso de que una pieza errónea (sin agujeros) llegue hasta la prueba de estanqueidad y pase el control visual llevado a cabo por el operario al mando de la máquina. Para evitar esta situación y que una pieza mala pueda llegar al cliente, el útil posee 4 poka yokes con que encajan perfectamente en los agujeros. La detección del final de carrera del cilindro superior, delata la presencia de rosca.
 3. Sellar la pieza tapando su orificio superior.
- Cilindro lateral: deberá incorporar un útil que deberá realizar el sellado del orificio lateral de la pieza.

Las consignas bajo las que se han diseñado los útiles han sido las siguientes:

- Facilidad en el montaje y desmontaje de los útiles. De este modo, se ha optado por una unión a rosca entre el eje del cilindro y los útiles.
- Útiles compuestos de varias piezas reemplazables. Se trata de una medida que minimiza el coste de renovación del útil por desgaste ya que permite reemplazar únicamente las piezas que estén dañadas.

A continuación, se presenta una propuesta de útiles de acuerdo a los criterios anteriormente descritos:

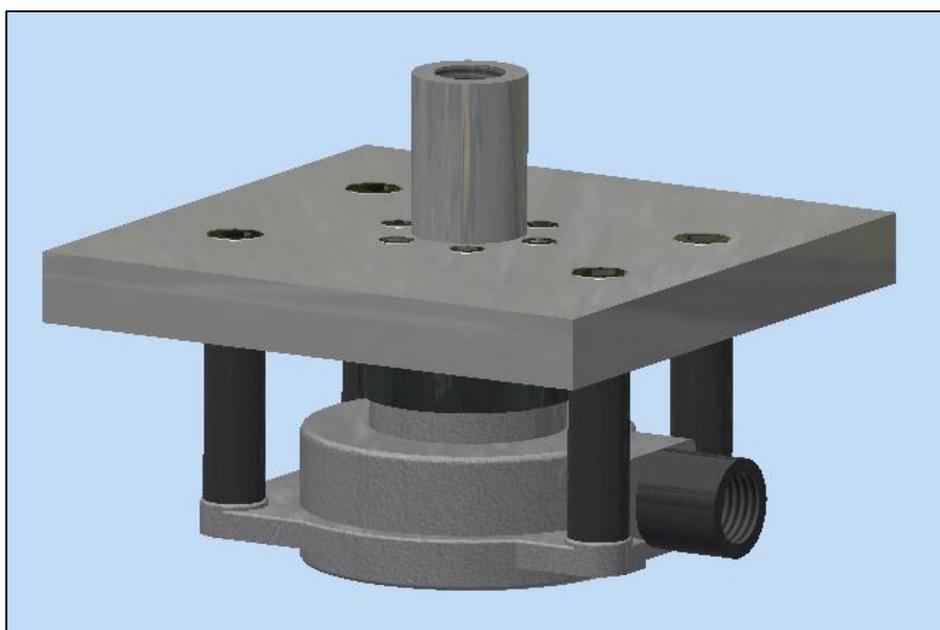


Figura 4-9. Sujeción de la tapa mediante los útiles superior y lateral (CAD 3D)

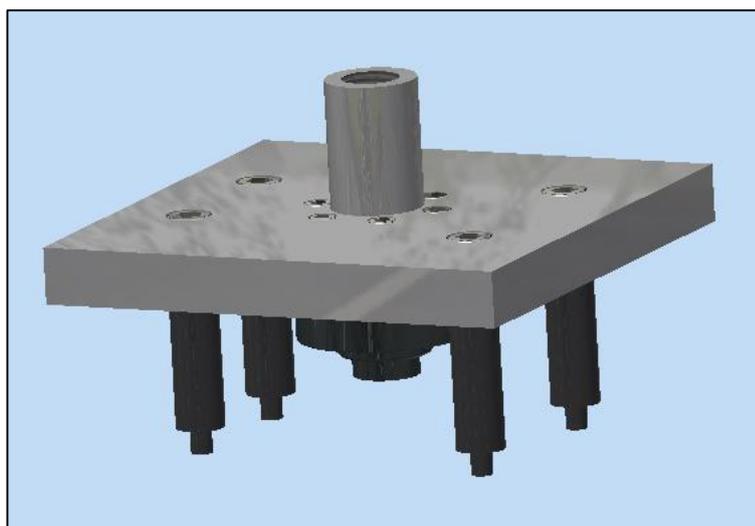


Figura 4-11. Útil de sujeción superior (representación CAD 3D)

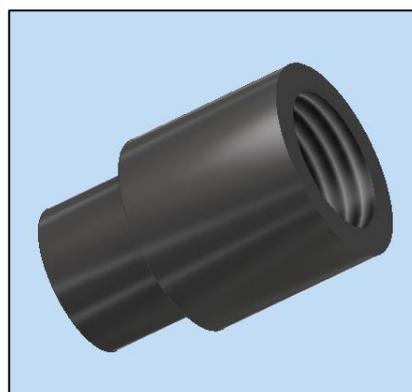


Figura 4-10. Útil de sujeción lateral (representación CAD 3D)

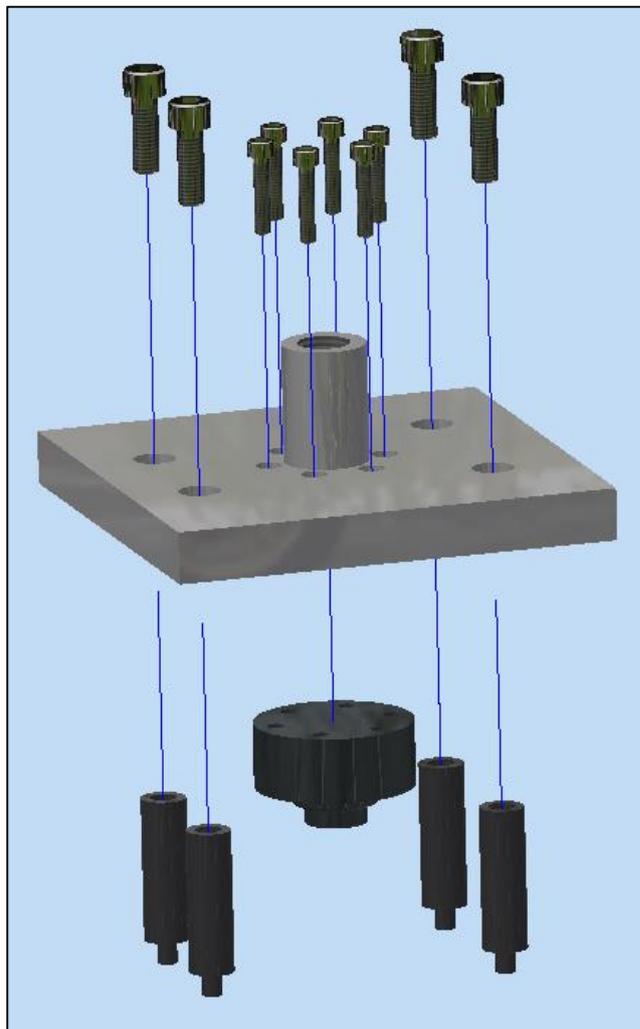


Figura 4-14. Vista en explosión útil de sujeción superior



Figura 4-13. Poka Yoke (CAD 3D)



Figura 4-12. Tapón de sellado (CAD 3D)

4.2.3 Dimensionado de los cilindros neumáticos

El dimensionado de cilindros neumáticos se refiere a la definición de la tipología de los mismo, el diámetro del émbolo y su carrera. Para poder llevar a cabo este cálculo debe conocerse la presión de la red. Sea cual sea la presión de la red general a la que se conecte el fugómetro, el aire será regulado a la presión de 6 bar a su paso por la unidad de mantenimiento. Por lo tanto, la presión a la cual se realizarán los cálculos será 6 bar (presión manométrica).

Se utilizarán dos cilindros de doble efecto para poder llevar a cabo la regulación de la velocidad de los cilindros en el avance y en el retroceso. Además, el cilindro superior, en el retroceso, debe ser capaz de elevar el útil. Aunque cada cilindro (superior y lateral), deben estudiarse por separado, el fundamento de cálculo será el mismo para ambos. Para que puedan llevar a cabo su función correctamente, los cilindros deben ejercer la fuerza suficiente para que la presión que existe en el interior de la cámara de estanqueidad durante la prueba, 1 bar, no venza a la ejercida por estos.

Dimensionado cilindro superior

Para que la fuerza de presión interna no venza la del cilindro, debe cumplirse el siguiente equilibrio.

$$\sum F = 0$$

$$F_{cilindro} - F_{presion} = 0$$

$$F_{cilindro} - P_{man} A = 0$$

$$F_{cilindro} - P_{man} \pi \frac{\phi^2}{4} = 0$$

$$F_{cilindro} = P_{man} \pi \frac{\phi^2}{4} = 1 \text{ bar} * 10^5 \frac{\text{N}}{\text{bar}} \pi \left(\frac{0,0872}{2} \right)^2 (\text{m}^2) = 597,2 \text{ N}$$

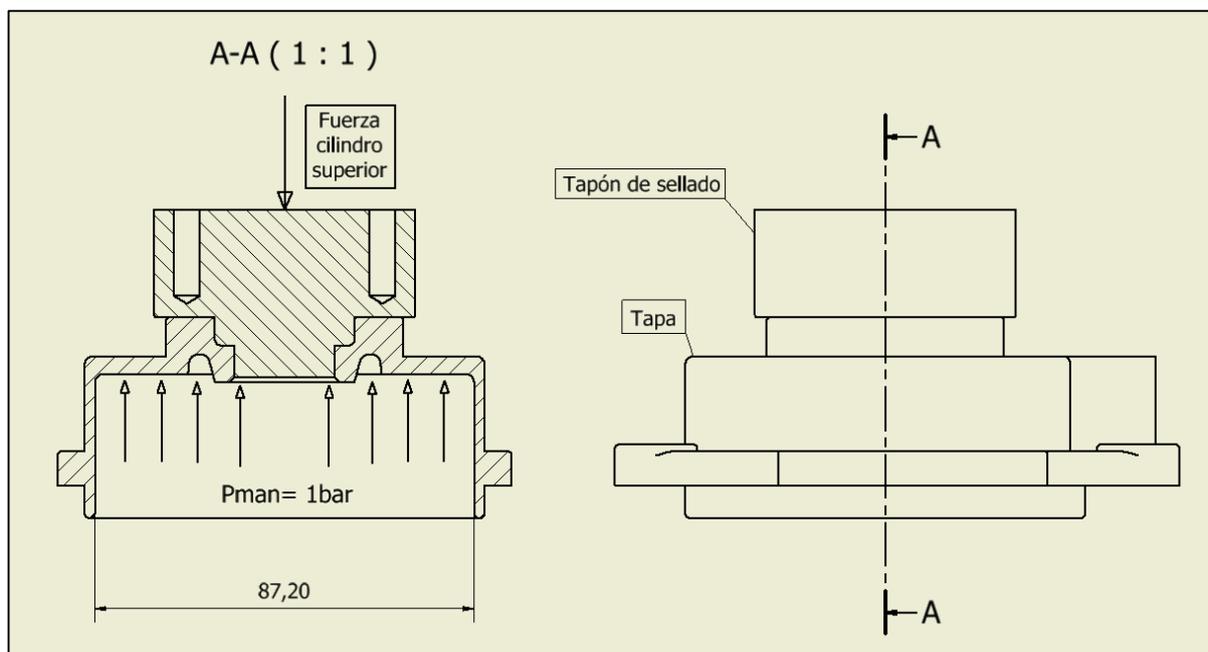


Figura 4-15. Esquema de fuerzas en el conjunto Tapa-Tapón de sellado

El caso expuesto anteriormente sería el modo ideal de funcionamiento (presión interna de 1 bar). Sin embargo, debido a variaciones de presión en la red, efectos de golpe de ariete con la apertura y cierre de válvulas o al "gap" existente entre la detección de presión por parte del transductor de presión y el cierre de la válvula de control de la cámara de estanqueidad. De este modo, estableciendo un coeficiente de seguridad de 1,2:

$$P_{man.max} = CS * P_{man} = 1,2 * 1 = 1,2 \text{ bar}$$

$$F_{cilindro.sup.max} = P_{man} \pi \frac{\Phi^2}{4} = 1,2 \text{ bar} * 10^5 \frac{\frac{N}{m^2}}{\text{bar}} \pi \left(\frac{0,0872}{2}\right)^2 (m^2) = 716,65 \text{ N}$$

Conocida la fuerza mínima que debe ser capaz de ejercer el cilindro ($F_{cilindro.sup.max}$), podemos obtener el diámetro mínimo del émbolo. Para que el cilindro sea capaz de vencer la fuerza de presión, debe cumplirse:

$$F_{cilindro.sup.max} \leq F_{avance}$$

Considerando un 10% de pérdidas por rozamiento entre el émbolo y las paredes del cilindro:

$$F_{cilindro.sup.max} \leq 0,9 * F_{avance}$$

$$F_{cilindro.sup.max} \leq 0,9 \pi \frac{D_{cil}^2 P}{4 \cdot 10}$$

$$716,65 \text{ N} \leq 0,9 \pi \frac{D_{cil}^2 \cdot 6 [\text{bar}]}{4 \cdot 10}$$

$$D_{cil} \geq 41,09 \text{ mm}$$

El cilindro normalizado con diámetro de émbolo superior a 41,09mm es de 50mm. De acuerdo a las dimensiones del útil, para permitir un espacio generoso para la introducción y retirada de piezas en la máquina, la carrera del cilindro debe ser de 400mm. El diámetro del vástago es de 20mm.

La fuerza que es capaz de ejercer el nuevo cilindro normalizado es de:

$$F_{cilindro.sup} = 0,9 * F_{avance} = 0,9 \pi \frac{D_{cil}^2 P}{4 \cdot 10} = 0,9 \pi \frac{50^2 \cdot 6}{4 \cdot 10} = 1060,1 \text{ N}$$

Este cilindro, en la carrera de retroceso, debe ser capaz de vencer el peso del útil:

$$0,9 F_{cilindro.sup.retroceso} \geq P_{eso_{util}}$$

$$0,9 \pi \frac{D_{cil}^2 - d_{vas}^2}{4} \frac{P}{10} \geq m * g$$

$$0,9 \pi \frac{50^2 - 20^2}{4} \frac{6}{10} \geq 5,7 * 9,81$$

$$890,64 \text{ N} \geq 55,92 \text{ N}$$

Dimensionado cilindro lateral

Para que la fuerza de presión interna no venza la del cilindro, debe cumplirse el siguiente equilibrio.

$$\sum F = 0$$

$$F_{cilindro} - F_{presion} = 0$$

$$F_{cilindro} - P_{man} A = 0$$

$$F_{cilindro} - P_{man} \pi \frac{\phi^2}{4} = 0$$

$$F_{cilindro} = P_{man} \pi \frac{\phi^2}{4} = 1 \text{ bar} * 10^5 \frac{\frac{N}{m^2}}{\text{bar}} \pi \left(\frac{0,0211}{2} \right)^2 (m^2) = 34,97 \text{ N}$$

El caso expuesto anteriormente sería el modo ideal de funcionamiento (presión interna de 1 bar). Sin embargo, debido a variaciones de presión en la red, efectos de golpe de ariete con la apertura y cierre de válvulas o al "gap" existente entre la detección de presión por parte del transductor de presión y el cierre de la válvula de control de la cámara de estanqueidad. De este modo, estableciendo un coeficiente de seguridad de 1,2:

$$P_{man.max} = CS * P_{man} = 1,2 * 1 = 1,2 \text{ bar}$$

$$F_{cilindro.lat.max} = P_{man} \pi \frac{\phi^2}{4} = 1,2 \text{ bar} * 10^5 \frac{\frac{N}{m^2}}{\text{bar}} \pi \left(\frac{0,0211}{2} \right)^2 (m^2) = 41,96 \text{ N}$$

Conocida la fuerza mínima que debe ser capaz de ejercer el cilindro ($F_{cilindro.lat.max}$), podemos obtener el diámetro mínimo del émbolo. Para que el cilindro sea capaz de vencer la fuerza de presión, debe cumplirse:

$$F_{cilindro.lat.max} \leq F_{avance}$$

Considerando un 10% de pérdidas por rozamiento entre el émbolo y las paredes del cilindro:

$$F_{cilindro.lat.max} \leq 0,9 * F_{avance}$$

$$F_{cilindro.sup.max} \leq 0,9 \pi \frac{D_{cil}^2 P}{4 \cdot 10}$$

$$41,96 N \leq 0,9 \pi \frac{D_{cil}^2 6 [bar]}{4 \cdot 10}$$

$$D_{cil} \geq 9,94 mm$$

El cilindro normalizado con diámetro de émbolo superior a 9,94 mm es de 32mm. De acuerdo a las dimensiones del útil, la carrera del cilindro debe ser de 200mm.

4.2.4 Diseño del circuito neumático

Para poder realizar la secuencia de ensayo descrita en el punto 4.2.1, se ha diseñado un circuito neumático gobernado eléctricamente mediante un Arduino. De este modo, dentro del diseño del circuito, deberán tratarse dos aspectos por separado:

- Circuito neumático y circuito electro neumático.
- Programación para el control eléctrico secuencial del ensayo.

En la tabla siguiente, se hace referencia a los elementos neumáticos utilizados para el diseño del circuito según el esquema adjunto (figura 4-16).

Numeración	Marca	Elemento
1	SMC	Unidad de mantenimiento
2	Norgren	Parada de emergencia, válvula 3/2
3	Parker	Electroválvula 3/2 accionada eléctricamente, retorno por muelle
4	SMC	Válvula 3/2 accionada por pulsador, retorno solenoide
5	Festo	Válvula 3/2 accionada por pulsador, retorno por muelle
6	SMC	Válvula selectora OR
7	SMC	Electroválvula biestable 5/3 solenoide
8	Festo	Electroválvula biestable 5/3 solenoide resorte
9	SMC	Cilindro superior CP96SDB50-400C
10	SMC	Cilindro lateral CP96SDB32-200C
11	MAC	Marcador de micropercusión
12	Festo	Regulador de presión
13	SMC	Electroválvula 2/2 accionada eléctricamente, retorno por muelle

Tabla 4.1 Componentes circuito neumático según figura 4-16

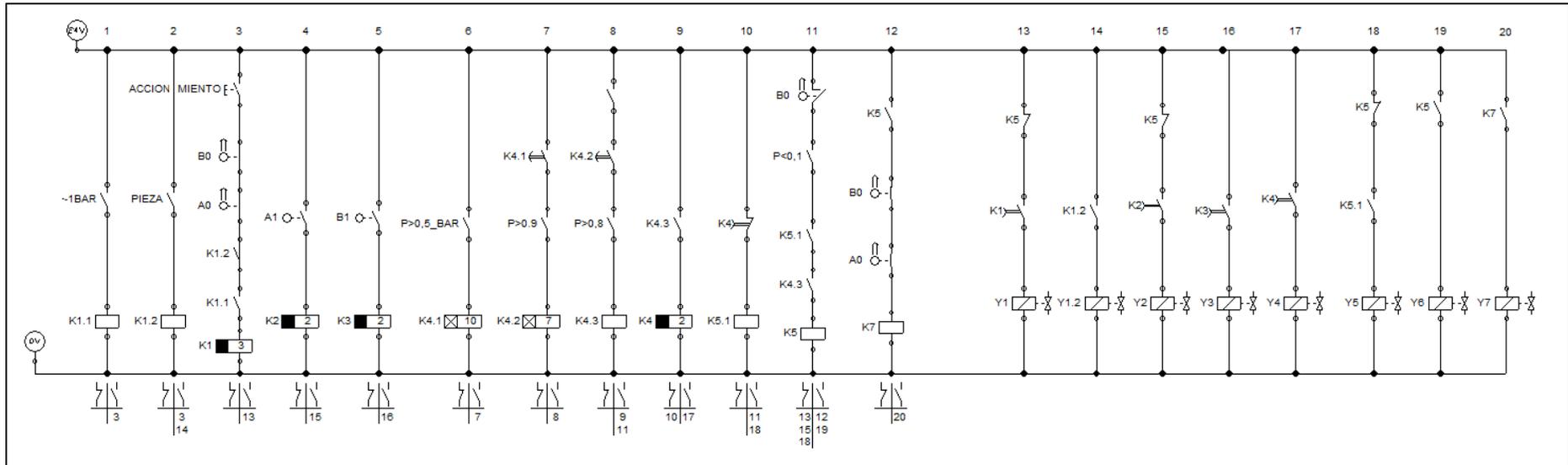
Circuito electro neumático

Figura 4-17. Esquema del circuito electro neumático del fugómetro

Programación para el control eléctrico secuencial del ensayo

Para llevar a cabo el control del circuito electro neumático, se utilizará un el modelo Arduino Mega 2560 R3 que posee las características expuesta en la tabla 4.2.

ARDUINO MEGA 2560 R3	
Microcontrolador	ATmega 2560
Voltaje operativo	5V
Voltaje de entrada	7-12 V
Pines digitales de entrada/salida	54, de los cuales 15 poseen PWM
Entradas análogas	16
Memoria Flash	256 k
Velocidad del reloj	Motor eléctrico
Precio	32,99 €

Tabla 4.2. Características de la placa Arduino Mega 2560 R3

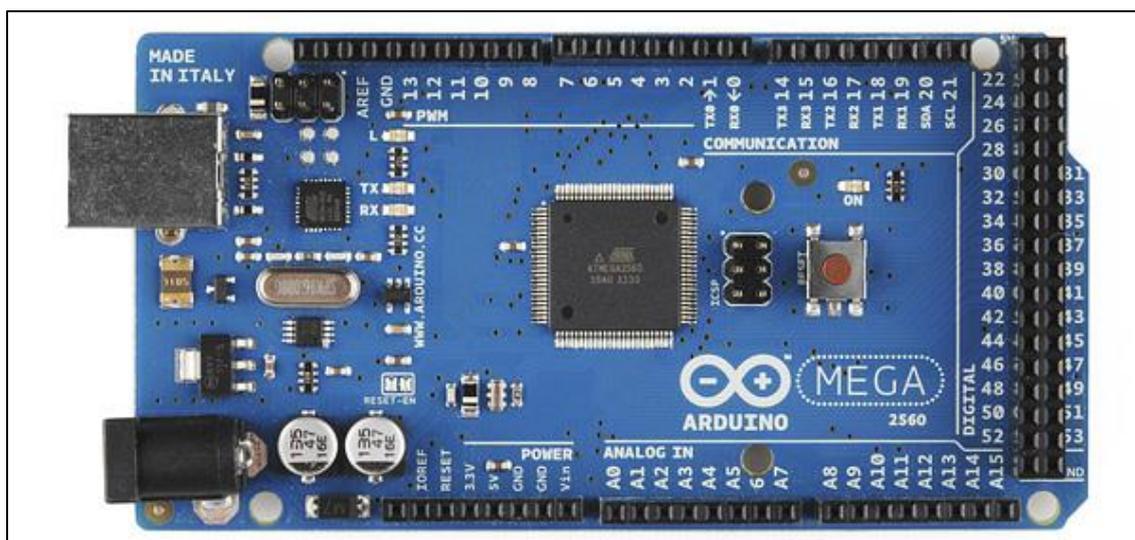


Figura 4-18. Placa Arduino Mega 2560 R3

Esta placa será la encargada de gestionar la activación y desactivación de todas las válvulas neumáticas pilotadas eléctricamente (ver esquemas neumático y electro neumático). La activación y desactivación de estas señales de llevará a cabo de acuerdo con las siguientes variables:

- Temporizaciones: incluidas en el software de programación.
- Presión a la salida de la unidad de mantenimiento: se leerá la medida de presión del propio regulador de presión que integra la unidad de

mantenimiento. En caso de registrarse una lectura de presión inferior a 5 bar, se emitirá una señal de error.

- Presión en el interior de la cámara de estanqueidad: se medirá a través de un sensor barométrico.
- Final de carrera cilindro superior.
- Final de carrera cilindro lateral.

A continuación se muestran las características técnicas del modelo de sensor de presión seleccionado para la medición de la presión de aire en la cámara de estanqueidad:

Módulo sensor de presión MPS20N0040D-S	
Fabricante	ST Microelectronics
Rango de medida	0.35 - 4 bar
Tensión de entrada	5 V
Corriente de alimentación	1 mA
Coste	3,94 €

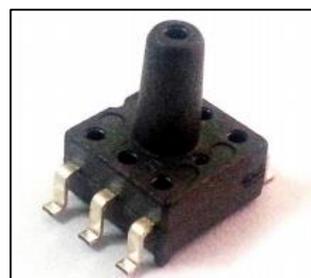


Figura 4-19. Sensor de presión MPS20N0040D-S

Tabla 4.3 Características técnicas módulo sensor de presión MPS20N0040D-S

Como medio de seguimiento y control de la secuencia de ensayo, se instalará una pantalla LED sobre la que se visualizarán mensajes de error de ensayo de acuerdo a la tabla 4.4. A continuación, se muestran las características técnicas del modelo de pantalla seleccionada:

DISPLAY LCD	
Voltaje operativo	5V
Tamaño de visualización	16x2 caracteres
Entrada	4/8 bits paralelo
Precio	15,75 €

Tabla 4.4 Características técnicas display LCD

Adicionalmente, el circuito incorporará 4 sensores magnéticos Reed Switch para detectar el final de carrera de los cilindros. A continuación, se muestran las características técnicas del modelo de detector seleccionado:

Sensor Magnético Red Switch	
Tensión de entrada	3,3-5 V
Salida digital	D0
Dimensiones	3.2cm x 1.9 cm x 0.7 cm
Coste	4,46 €

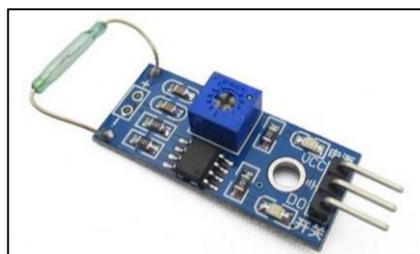


Tabla 4.5 Características técnicas sensor magnético red switch

Figura 4-20. Sensor magnético Red Switch

Cálculo de los tiempos de programación

Para poder llevar correctamente a cabo la secuencia de ensayo, deben conocerse los tiempos de cada fase: espera, llenado, estabilización, test y vaciado. Como ya se ha comentado con anterioridad, la optimización de estos tiempos se llevará a cabo de manera experimental, una vez que el prototipo esté fabricado. No obstante, como primera aproximación se programarán estos tiempos según la tabla 4.6.

Para el cálculo del tiempo de llenado, puede calcularse el Tiempo Demasiado Largo de Llenado y en base él, tomar un tiempo de llenado menor:

$$TTLR (s) = \sqrt[4]{V(cm^3) P(mbar)}$$

Donde el volumen de la pieza se puede aproximar con bastante exactitud:

$$V = \pi * \frac{8,72^2}{4} * 3,349 = 200,37 cm^3$$

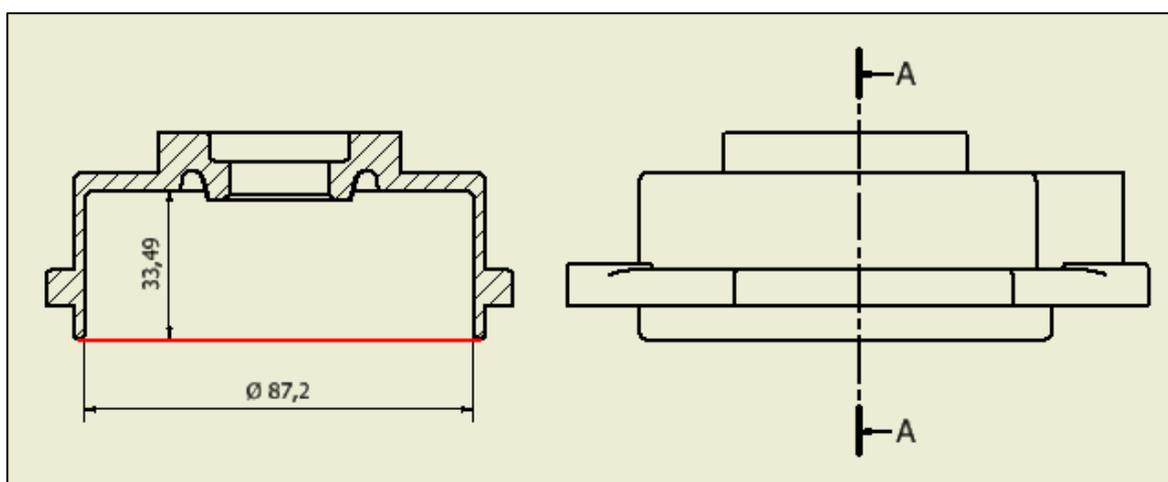


Figura 4-21. Geometría de la tapa

De este modo, dado que la presión de llenado de la cámara de estanqueidad es de 1 bar:

$$TTLR (s) = \sqrt[4]{V(cm^3) P(mbar)} = \sqrt[4]{200,37 * 1000} = 21 s$$

Dado que el volumen de la pieza es pequeño, se tomará un valor de partida muy inferior a ese, 2 segundos.

Adicionalmente, deben conocerse los tiempos de salida y retroceso de los cilindros, para considerarlas en la automatización. Para tal fin, se realizará una regulación de los cilindros tal que los tiempos serán:

- Cilindro superior (con una carrera de 400 mm): 4 segundos.
- Cilindro lateral (con una carrera de 200 mm): 2 segundos.

El proveedor de los cilindros SMC, establece que para estos modelos puede regularse la velocidad de desplazamiento desde 50 hasta 1000 mm/s. De este modo, para que los tiempos sean de 4 y 2 segundos las velocidades de los cilindros deben ser:

$$V_{SUPERIOR} = \frac{Carrera}{t} = \frac{400}{4} = 100 \text{ mm/s}$$

$$V_{LATERAL} = \frac{Carrera}{t} = \frac{200}{2} = 100 \text{ mm/s}$$

Dado que ambas velocidades entran dentro del rango admisible, los tiempos de salida y retroceso de los cilindros son los indicados anteriormente.

PARÁMETRO	VALOR
Tiempo de espera	0,2 seg
Tiempo de llenado	2 seg
Tiempo de estabilizado	10 seg
Tiempo de test	7 seg
Tiempo de vaciado	0,5 seg

Tabla 4.6 Tiempos del ensayo de estanqueidad

Código para la automatización del circuito

```
// Incluimos la librería externa para mostrar mensajes en el display
#include <LiquidCrystal.h> // Entre los símbolos <> buscará en la carpeta de
librerías configurada
```

```

// Lo primero es inicializar la librería indicando los pins de la interfaz
LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2);

// Definimos las constantes de la pantalla
#define COLS 16 // Columnas del LCD
#define ROWS 2 // Filas del LCD
#define VELOCIDAD 300 // Velocidad para mover el texto
#define ARRAYTXT 5 // Número de textos a escribir

//Pantalla
int indice; //Posicion del array de textos

//VARIABLES (Pilotajes, interruptores y finales de carrera)
float P6=22; //Transductor de presión tras unidad de mantenimiento
int PIEZA=23; //Deteccion presencia pieza (FOTOCÉLULA)
int Accionamiento=24; //Señal pulsador inicio de ciclo
float P=25; //Transductor de presión en la cámara de estanqueidad

int a0=40;//Final de carrera cilindro superior
int a1=41;//Final de carrera cilindro superior
int b0=42;//Final de carrera cilindro lateral
int b1=43;//Final de carrera cilindro lateral

int Y1=31;//Salida cilindro superior
int Y1_2=32;//Apertura válvula de seguridad
int Y2=33;//Salida cilindro lateral
int Y3=34;//Apertura válvula de control
int Y4=35;//Accionamiento micropercusión
int Y5=36;//Apertura válvula de vaciado
int Y6=37;//Retirada cilindros superior y lateral
int Y7=38;//Desactivación válvula de accionamiento

void setup(){
  // Configuramos las filas y las columnas del LCD en este caso 16 columnas
  y 2 filas
  lcd.begin(COLS, ROWS);
  Serial.begin(9600);

  //Pilotajes=OUTPUTS; Interruptores=INPUTS; Transductores=INPUTS; Finales de
  carrera=INPUTS
  pinMode(P6, INPUT); //Transductor de presión de la unidad de mantenimiento
  pinMode(PIEZA, INPUT); //Deteccion presencia pieza (FOTOCÉLULA)
  pinMode(Accionamiento, INPUT); //Señal de pulsador para inicio de ciclo
  pinMode(P, INPUT); //Transductor de presión en la cámara de estanqueidad
  pinMode(a0, INPUT); //Final de carrera cilindro superior
  pinMode(a1, INPUT); //Final de carrera cilindro superior
  pinMode(b0, INPUT); //Final de carrera cilindro lateral
  pinMode(b1, INPUT); //Final de carrera cilindro lateral

  pinMode(Y1, OUTPUT);
  pinMode(Y1_2, OUTPUT);
  pinMode(Y2, OUTPUT);
  pinMode(Y3, OUTPUT);
  pinMode(Y4, OUTPUT);
  pinMode(Y5, OUTPUT);
  pinMode(Y6, OUTPUT);
  pinMode(Y7, OUTPUT);

```

```

}
void loop(){
lcd.print("Sitúe la pieza en la base de medición y accione el pulsador para
iniciar la prueba de estanqueidad");
delay(4000); //Tiempo para situar la pieza en la base de medición

if (digitalRead(PIEZA)==HIGH){
  digitalWrite(Y1_2,HIGH); //Apertura válvula de seguridad
  delay(200);
}

  while (analogRead(P6)< 5){
    lcd.print("ERROR 1: Presión de red insuficiente <5 bar");
    delay(6000); //Tiempo para permitir leer el error sobre la pantalla
  }
  while (analogRead(P6)> 7){
    lcd.print("ERROR 2: Presión de red elevada >7 bar. Comprobar unidad de
mantenimiento");
    delay(6000); //Tiempo para permitir leer el error sobre la pantalla
  }
  while (digitalRead(a0)!=LOW || digitalRead(b0)!=LOW){
    lcd.print("ERROR 3: Cilindros fuera de posición. Pulse reset e inicie el
ciclo de nuevo");
    delay(6000); //Tiempo para permitir leer el error sobre la pantalla
  }
  while (digitalRead(PIEZA)==LOW){
    lcd.print("ERROR 4: No detecta pieza");
    delay(6000); //Tiempo para permitir leer el error sobre la pantalla
  }

if (analogRead(P6)>= 5 && analogRead(P6)<=7 && digitalRead(PIEZA)==HIGH &&
digitalRead(a0)==HIGH && digitalRead(b0)==HIGH &&
digitalRead(Accionamiento)==HIGH){
  digitalWrite(Y1, HIGH); //Salida cilindro superior
  lcd.print("Salida Cilindro Superior");
  delay(4000); //Tiempo que tarda el cilindro superior en completar la carrera
  digitalWrite(Y1, LOW); //Desactivación señal Y1 (en caso de pulsar la
válvula de reset, el cilindro retornaría sin problema)
}

  while (digitalRead(a1)==LOW){ //Detección presencia de rosca
    lcd.print("ERROR 5: Error de fabricación (SIN ROSCA). Retire pieza y
comience el ciclo de medición nuevamente");
  }
if (digitalRead(a1)==HIGH){
  digitalWrite(Y2,HIGH); //Salida cilindro lateral
  lcd.print("Salida Cilindro Lateral");
  delay(2000); //Tiempo que tarda el cilindro lateral en completar la carrera
  digitalWrite(Y2,LOW); //Desactivación señal Y2 (en caso de pulsar la válvula
de reset, el cilindro retornaría sin problema)
}

  while(digitalRead(b1)==LOW){
    lcd.print("ERROR 6: Cilindro lateral inhabilitado");
  }
if (digitalRead(b1)==HIGH){
  delay(200); //Tiempo de espera
  digitalWrite(Y3,HIGH); //Apertura válvula de control (Se proporciona
presión a la cámara de estanqueidad)
  delay(2000); //Tiempo de llenado
}

```

```
    digitalWrite(Y3,LOW); //Cierre válvula de control (Se garantiza
hermeticidad en la cámara de estanqueidad)
}

while (analogRead(P)<0,5){
    lcd.print("ERROR 7: Error de llenado. Pare el ciclo, revise la colocación
de la pieza y rearme el ciclo");
}
if (analogRead(P)>=0,5){
    delay(10000); //Tiempo de estabilizado
}

while (analogRead(P)>0,5 &&(analogRead(P)<0,9 || analogRead(P)>1,3)){
    lcd.print("ERROR 8: Compruebe que la presión de regulación de la cámara
de estanqueidad es de 1 bar. Pare la prueba y vuelva a realizar el ensayo");
}

if (analogRead(P)>=0,9 && analogRead(P)<=1,3){
    delay(7000); //Tiempo de test (Pasado ese tiempo comprobamos que la presión
se haya mantenido)
}

    if (analogRead(P)>=0,8 && analogRead(P)<=1,2){
        lcd.print("PIEZA CORRECTA");
        digitalWrite(Y4,HIGH); //Activación válvula accionamiento micropercusión
        delay(2000); //Tiempo de micropercusión
        digitalWrite(Y4,LOW); //Desactivación válvula accionamiento
micropercusión
    }
    if (analogRead(P)<0,8){
        lcd.print("PIEZA INCORRECTA");
    }

digitalWrite(Y5,HIGH); //Apertura válvula de vaciado (Vaciado de la cámara de
estanqueidad)
delay (500); //Tiempo de vaciado

while (analogRead(P)>0,1){
    lcd.print("ERROR 9: Válvula de vaciado bloqueada");
}
if (analogRead(P)<0,1){
    digitalWrite(Y5,LOW); //Cierre válvula de vaciado
    digitalWrite(Y1,LOW); //Cierre válvula accionamiento cilindro superior
    digitalWrite(Y2,LOW); //Cierre válvula accionamiento cilindro lateral
    digitalWrite(Y6,HIGH); //Retorno cilindro superior y lateral
}

if (digitalRead(a0)==LOW && digitalRead(b0)==LOW){
    digitalWrite(Y7,HIGH);
}
}
```

Mensajes de error mostrados sobre la pantalla LCD

ERROR	TEXTO EN PANTALLA	CAUSA	PROCEDIMIENTO
1	ERROR 1: Presión de red insuficiente <5 bar	Presión de suministro inferior a 5 bar	Comprobar la regulación llevada a cabo por el regulador de presión de la unidad de mantenimiento. Si la regulación es correcta, comprobar la presión del depósito acumulador.
2	ERROR 2: Presión de red elevada >7 bar. Comprobar unidad de mantenimiento	Presión de suministro superior a 7 bar	Comprobar la regulación llevada a cabo por el regulador de presión de la unidad de mantenimiento. Si la regulación es correcta, comprobar la presión del depósito acumulador.
3	ERROR 3: Cilindros fuera de posición. Pulse reset e inicie el ciclo de nuevo	Cilindros extendidos, fuera de la posición de inicio de ciclo.	Accionar pulsador de reset e iniciar el ciclo de nuevo.
4	ERROR 4: No detecta pieza	El sensor de proximidad no detecta pieza en la base de medición	Asegurarse de que la pieza está bien colocada en la base. En caso de no haber colocado la pieza, pulsar la seta de emergencia y el pulsador de reset. Comenzar el ensayo de medida de nuevo.
5	ERROR 5: Error de fabricación (SIN ROSCA). Retire pieza y comience el ciclo de medición nuevamente	El cilindro superior no ha alcanzado su final de carrera	Accionar el pulsador de reset. Comenzar el ensayo de medida de nuevo.
6	ERROR 6: Cilindro lateral inhabilitado	El cilindro lateral no ha alcanzado su final de carrera	Si el cilindro ha salido, comprobar que el útil lateral se ha asentado correctamente sobre el orificio. Si el cilindro no ha salido, comprobar el estado de la válvula de su válvula 5/3
7	ERROR 7: Error de llenado. Pare el ciclo, revise la colocación de la pieza y rearme el ciclo	Presión inferior a 0,5 bar en la cámara de estanqueidad tras el llenado	Accionar el pulsador de reset y resisar la colocación de la tapa sobre la base. Comenzar el ensayo de medida de nuevo de nuevo.
8	ERROR 8: Compruebe que la presión de regulación de la cámara de estanqueidad es de 1 bar. Pare la prueba y vuelva a realizar el ensayo	Presión inferior a 0,9 bar o superior a 1,3 bar en la cámara de estanqueidad tras el estabilizado	Accionar el pulsador de reset y resisar la presión regulada ($p=1\text{bar}$) y el estado de la válvula de control. Accionar el pulsador de reset y repetir el ensayo nuevamente.

Tabla 4.7 Mensajes de error en pantalla, causa y procedimiento de actuación

4.2.5 Cálculo del volumen del acumulador

Se propone la instalación de un depósito acumulador de aire que proporcione una presión de trabajo constante al circuito neumático del fugómetro. De este modo, los requisitos que debe cumplir este depósito serán los siguientes:

- Conmutaciones a la hora: no deben producirse más de 30 conmutaciones a la hora del compresor, es decir, una conmutación cada 2 minutos.
- Volumen del acumulador: no debe superar los 20 litros ya que su tamaño sería demasiado grande.

De acuerdo con lo expuesto anteriormente, para calcular el volumen que debe tener el compresor se necesita saber el caudal necesario por ciclo de ensayo; así como el tiempo empleado en realizar un ciclo.

El caudal por ciclo será:

$$Q_{CICLO} = Q_{CIL.superior} + Q_{CIL.lateral} + Q_{tuberías} + V_{tapa}$$

Donde, el caudal por ciclo del cilindro superior es:

$$Q_{CIL.superior} \left(\frac{l}{ciclo} \right) = \pi \frac{2 D_{cil}^2 - d^2}{4} [mm^2] Carrera [mm] \frac{P + P_{atm}}{10^6}$$

$$Q_{CIL.superior} = \pi \frac{2 * 50^2 - 20^2}{4} 400 \frac{6 + 1}{10^6} = 10,12 \left(\frac{l}{ciclo} \right) = 10115,93 \left(\frac{cm^3}{ciclo} \right)$$

El caudal por ciclo del cilindro lateral:

$$Q_{CIL.lateral} = \pi \frac{2 * 32^2 - 12^2}{4} 200 \frac{6 + 1}{10^6} = 2,09 \left(\frac{l}{ciclo} \right) = 2093,56 \left(\frac{cm^3}{ciclo} \right)$$

El volumen de aire en el interior de las tuberías de 2,5mm de diámetro interior, se calcula teniendo en cuenta las dimensiones aproximadas de la estructura de la máquina (expuesto en el punto 4.2.6):

$$Q_{Tuberías} = Longitud * Sección$$

$$Q_{Tuberías} = (1000 + 300 + 695 + 677 + 382 + 100 + 120 + 950) * \left(\pi \frac{2,5^2}{4} \right)$$

$$Q_{Tuberías} = 20734,51 \left(\frac{mm^3}{ciclo} \right) = 20,73 \left(\frac{cm^3}{ciclo} \right)$$

El volumen de la tapa (volumen de la cámara de estanqueidad, ya ha sido calculado en el punto 4.2.4:

$$V_{tapa} = 200,37 \left(\frac{cm^3}{ciclo} \right)$$

El caudal total por ciclo será entonces:

$$Q_{CICLO} = Q_{CIL.superior} + Q_{CIL.lateral} + Q_{tuberías} + V_{tapa}$$

$$Q_{CICLO} = 10115,93 + 2093,56 + 20,73 + 200,37 = 12430,59 \left(\frac{cm^3}{ciclo} \right)$$

Además, necesitamos conocer el tiempo necesario para ensayar una pieza (tiempo por ciclo). Éste se calculará de acuerdo a los tiempos de programación de ciclo establecidos anteriormente y a un tiempo estándar de manipulación de pieza por parte del operario. El tiempo de manipulación del operario será empleado en comprobar que la pieza ha sido correctamente grabada, que no presenta ningún desperfecto como resultado de la prueba y en colocarla en la siguiente estación del proceso de fabricación.

$$t_{ciclo} = t_{programado} + t_{operario}$$

$$t_{programado} = 4 + 0,2 + 4 + 2 + 0,5 + 2 + 10 + 7 + 2 + 0,5 + 4 + 2 = 38,2 \text{ segundos}$$

$$t_{operario} = 35 \text{ segundos}$$

$$t_{ciclo} = 38,2 + 40 = 78,2 \text{ segundos} \approx 80 \left(\frac{\text{segundos}}{\text{ciclo}} \right)$$

El caudal por minuto necesario será entonces:

$$Q = Q_{CICLO} \frac{60}{t_{ciclo}} = 12430,59 \frac{60}{80} = 9322,9425 \left(\frac{cm^3}{min} \right) = 9,3229425 \left(\frac{l}{min} \right)$$

Las pérdidas de presión en la red se aproximan como el 5% de la presión de suministro:

$$\Delta P = 0,05 P = 0,05 * 6 = 0,3 \text{ bar}$$

Con todos estos datos, debe cumplirse:

$$V_c = \frac{15 Q_s}{Z \Delta P} \leq 20 \text{ litros}$$

$$\frac{15 * 9,3229425}{Z 0,3} \leq 20 \text{ litros}$$

$$Z \geq 23,3 \text{ conmutaciones/hora}$$

De este modo, el depósito de 20 litros cumple las condiciones preestablecidas.

4.2.6 Esquema Preliminar de la Estructura de la máquina

Como bastidor del fugómetro, se propone una estructura construida con perfiles de aluminio de alta resistencia sobre la que se anclarán los elementos neumáticos del circuito así como la base de la pieza. La primera mitad de la estructura será el área de ensayo y servirá para situar todos estos elementos, mientras que en la otra mitad, se dispondrá de un espacio libre donde el operario podrá trabajar manualmente sobre las piezas que hayan resultado malas en la prueba de control de estanqueidad, pero que puedan ser posteriormente recuperadas.

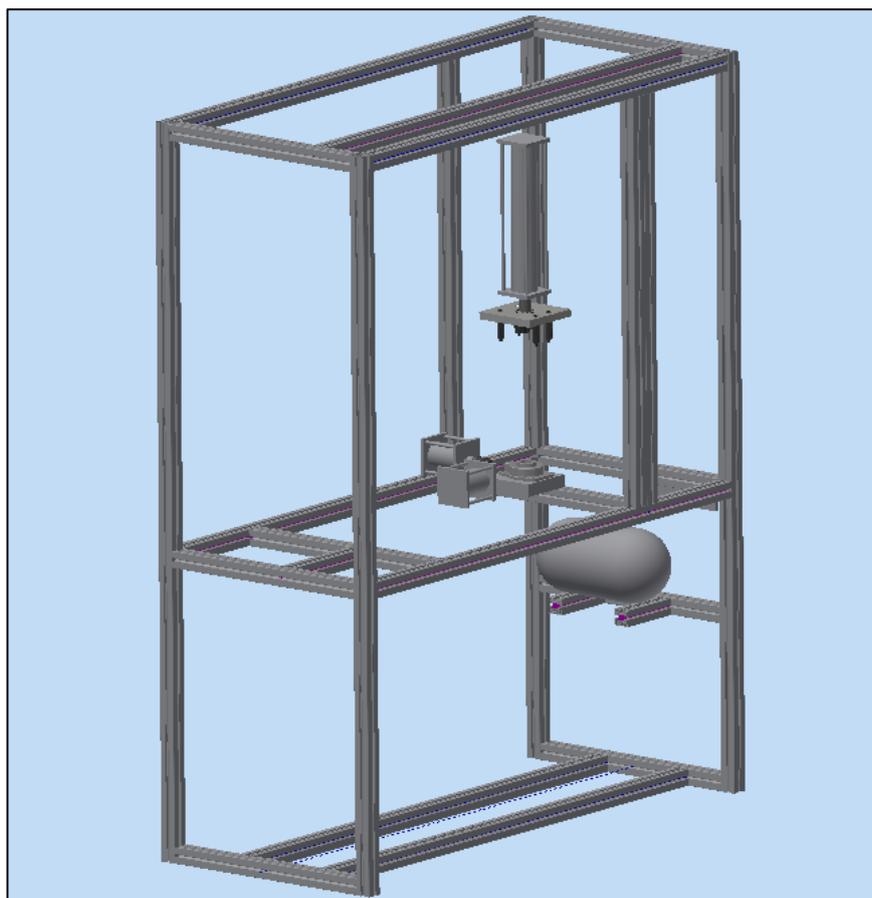


Figura 4-22. Estructura de la máquina y situación de elementos, representación CAD 3D

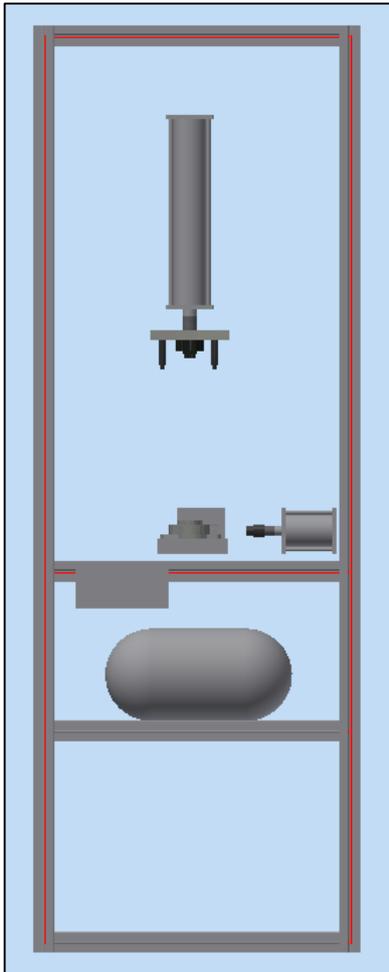


Figura 4-23. Estructura de la máquina y situación de elementos, vista en perfil

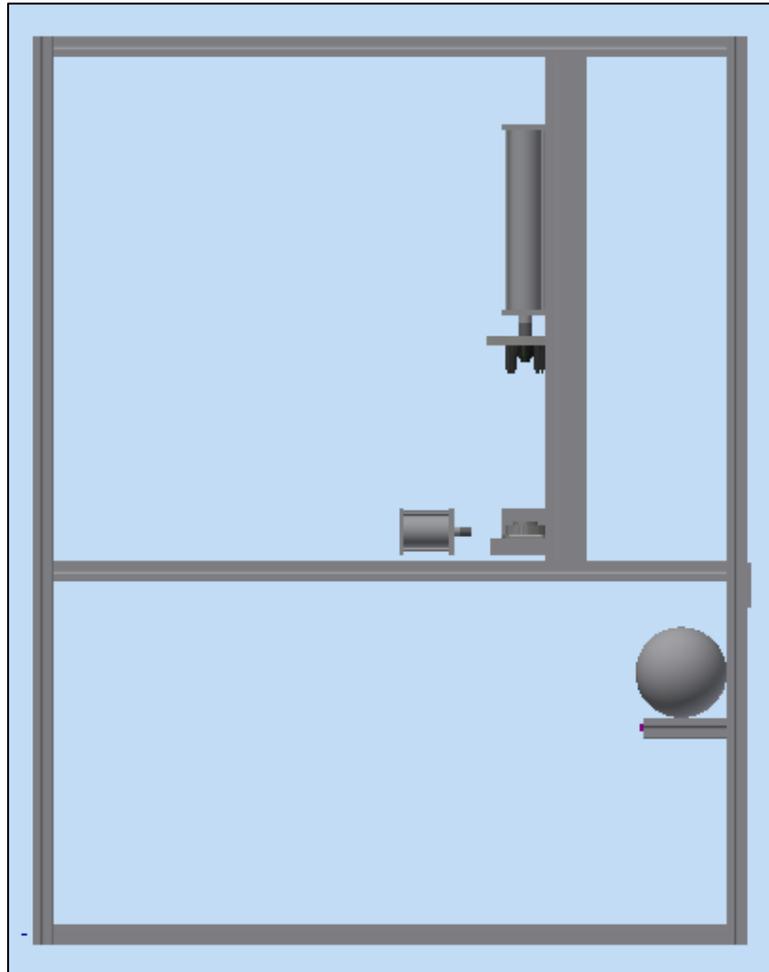


Figura 4-24. Estructura de la máquina y situación de elementos, vista en alzado

Para mayor detalle, puede consultarse el plano de conjunto del anexo.

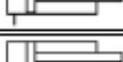
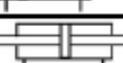
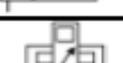
ANEXOS A LA MEMORIA

ANEXO 1: SIMBOLOGÍA NEUMÁTICA SEGÚN ISO**1219**

	Purga automática	Elemento que recoge automáticamente las condensaciones.
	Secador	Elemento que quita el agua del aire. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Lubricador	Elemento que vaporiza lubricante en el aire para lubricar otros elementos. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Refrigerador	Refrigerador de aire. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Escape	Escape simple sin tubo de conexión.
	Escape	Escape con tubo de conexión.
	Escape	Escape con elemento silenciador.
	Unión	Unión sin válvulas, abre mecánicamente. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Unión	Unión con válvula antirretorno, abre mecánicamente. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Acoplamiento	Acoplamiento rápido, línea abierta.
	Desacoplamiento	Desacoplamiento, final abierto. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Desacoplamiento	Desacoplamiento abierto. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Desacoplamiento	Desacoplamiento, final cerrado por válvula. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Derivación	Derivación rotativa de una vía
	Derivación	Derivación rotativa de dos vías.
	Amplificador	Amplificador. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Amplificador	Amplificador de caudal. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Emisor	Emisor del detector de paso. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Receptor	Receptor del detector de paso. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Detector	Detecta por obturación de fuga. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Detector	Detector de paso. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Detector	Detector de proximidad de imán. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Detector	Detector de proximidad eléctrico, con imán. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Mantenimiento	Completo kit de mantenimiento: filtro, regulador, lubricador. Símbolo DIN/ISO/CETOP.

ELEMENTOS DE TRANSFORMACION DE ENERGIA

REPRESENTACION	NOMBRE	DESCRIPCION
	Compresor	Produce energía neumática. Símbolos: Izq: DIN/ISO. Decha: CETOP

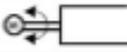
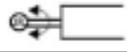
	Bomba de vacío	Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Motor	Motor de desplazamiento constante, un sentido de flujo. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Motor	Motor de desplazamiento constante, dos sentidos de flujo. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Motor	Motor de desplazamiento variable, un sentido de flujo. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Motor	Motor de desplazamiento variable, dos sentidos de flujo. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Motor	Motor con doble sentido de giro, limitados.
	Cilindro de simple efecto	Cilindro de simple efecto con retroceso de muelle. Símbolo DIN/ISO.
	Cilindro de simple efecto	Cilindro de simple efecto, sin fuerza determinada en el retroceso. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Cilindro de doble efecto	Cilindro de doble efecto. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Cilindro simple un solo sentido	Cilindro simple no regulable, actúa en un solo sentido. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Cilindro simple dos sentidos	Cilindro simple no regulable, con dos sentidos. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Cilindro simple regulable un solo sentido	Cilindro simple regulable, actúa en un solo sentido. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Cilindro simple regulable dos sentidos	Cilindro simple no regulable, con dos sentidos. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Cilindro de doble efecto y doble vástago	Cilindro de doble efecto y doble vástago. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Cilindro diferencial	Cilindro diferencial. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Cilindro de simple efecto telescópico	Cilindro telescópico de simple efecto. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Cilindro de doble efecto telescópico	Cilindro telescópico de doble efecto. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Cilindro magnético	Cilindro magnético, no tiene vástago. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Cilindro automático	Cilindro accionado automáticamente que cierra el aire. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Amplificador de presión	Amplificador, multiplicador de presión. Símbolo DIN/ISO.
	Amplificador de presión	Amplificador, multiplicador de presión. Símbolo CETOP.
	Amplificador de presión	Amplificador, multiplicador de presión para aire y líquido. Símbolo DIN/ISO.
	Convertidor	Convertidor de presión, p.ej. Aire-líquido. Símbolos: Izq: DIN/ISO. Dcha: CETOP
	Convertidor de señal	Convertidor de señal eléctrico-neumático. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Convertidor de señal	Convertidor de señal neumático-eléctrico. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Convertidor de señal	Convertidor de señal neumático-eléctrico. Símbolo DIN/ISO/CETOP.

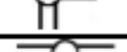
VALVULAS		
VALVULAS DISTRIBUIDORAS		
REPRESENTACION	NOMBRE	DESCRIPCION
	Válvula distribuidora (símbolo general)	Flechas: sentido del aire. Líneas: conexiones. Trazo cruzado: conductos cerrados.
	Válvula 2/2	Válvula de dos posiciones, en una bloquea y en la otra deja pasar el aire.
	Válvula 2/2 NC	Válvula que estando en reposo obstruye el paso de aire. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Válvula 2/2 NA	Válvula que estando en reposo deja pasar el aire. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Válvula 2/2 biestable	Válvula con dos posiciones estables.
	Válvula 3/2 NC	Válvula 3/2 que estando en reposo obstruye el paso de aire. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Válvula 3/2 NA	Válvula 3/2 que estando en reposo deja pasar el aire. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Válvula 3/2 NC	Válvula que en estado de reposo está tarada.
	Válvula 3/2 NA	Válvula que en estado de reposo está comunicada.
	Válvula 3/2 biestable	Válvula estable en todas sus posiciones.
	Válvula 3/2	Válvula 3/2 con amplificador incorporado. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Válvula 3/3 NC	Válvula 3/3 que estando en reposo obstruye el paso de aire. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Válvula 4/2	Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Válvula 4/2	Válvula 4/2 simplificada. Símbolo DIN/ISO.
	Válvula 4/2	Válvula 4/2 simplificada. Símbolo CETOP.
	Válvula 4/3	Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Válvula 4/3	Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Válvula 5/2	Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Válvula 5/2 monoestable	Válvula en reposo tiene la posición derecha.
	Válvula 5/2 biestable	Válvula con dos posiciones estables.
	Válvula 5/3 NC	Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Válvula 5/3	Válvula definida por posición central.
	Válvula 5/4 NC	Símbolo DIN/ISO/CETOP.
VALVULAS REGULADORAS		
REPRESENTACION	NOMBRE	DESCRIPCION
	Válvula reguladora	Válvula con escape, regulable y de 3/2 vías. Limitadora del umbral de la presión de pilotaje. Símbolo DIN/ISO/CETOP.

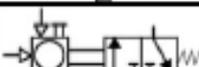
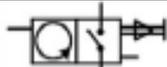
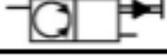
	Válvula reguladora	Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Válvula reguladora	Válvula reguladora con escape. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Válvula reguladora	Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Válvula reguladora	Válvula reguladora con escape. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
VALVULAS DE ESTANQUEIDAD		
REPRESENTACION	NOMBRE	DESCRIPCION
	Aislamiento	Válvula de cierre. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Llave de paso	Símbolo general.
VALVULAS DE CAUDAL Y BLOQUEO		
REPRESENTACION	NOMBRE	DESCRIPCION
	Estrechamiento de diafragma	Diafragma de caudal constante.
	Regulador de caudal	Estrangulación de caudal constante. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Estrangulador regulable	Estrangulación de caudal regulable. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Estrangulador manual	Válvula de estrangulación manual. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Estrangulador mecánico	Válvula de estrangulación, mecánico, retorno con muelle. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Regulador unidireccional	Regula el caudal en un solo sentido, en el otro estrangula. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Regulador unidireccional	Diafragma de caudal variable en un solo sentido.
	Divisor de caudal	
VALVULAS DE PRESION		
REPRESENTACION	NOMBRE	DESCRIPCION
	Válvula limitadora	Válvula limitadora de presión. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Válvula limitadora	Limitador de presión regulable sin escape.
	Válvula reductora	Regulación de presión, sin escape. Reduce la presión de entrada teniendo en la salida una presión constante.
	Manorreductor de presión	
	Válvula de seguridad de presión	
	Regulador de presión	La presión de salida depende de la presión de entrada. Símbolo DIN/ISO/CETOP.

VALVULAS DE BLOQUEO		
REPRESENTACION	NOMBRE	DESCRIPCION
	Antirretorno (sin muelle)	El aire solo pasa en un sentido. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Antirretorno (con muelle)	El aire solo pasa en un sentido. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Antirretorno pilotado	Permite el paso del aire en un sentido. Pilotado externamente admite el otro sentido.
	Válvula de simultaneidad	Activando las dos entradas tenemos una salida. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Selector de circuito	Selecciona entre dos puntos. Símbolo CETOP.
	Escape rápido	Evacua el aire.
	Escape rápido	Evacua el aire. Símbolo DIN/ISO.
	Escape rápido	Evacua el aire. Símbolo CETOP.

ACCIONAMIENTO DE VALVULAS		
ACCIONAMIENTOS MUSCULARES		
REPRESENTACION	NOMBRE	DESCRIPCION
	Pulsador (símbolo general)	Accionamiento por pulsador. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Seta	Accionamiento por pulsador unidireccional tipo seta. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Seta extractora	Accionamiento por pulsador tipo seta extractora. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Seta tractora	Accionamiento por pulsador bidireccional tipo seta tractora. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Palanca	Accionamiento por palanca. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Pedal	Accionamiento por pedal. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Pedal basculante	Accionamiento por pedal basculante. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
ACCIONAMIENTOS MECANICOS		
REPRESENTACION	NOMBRE	DESCRIPCION
	Pulsador	Pulsador, leva, accionamiento mecánico, símbolo general. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Muelle	Accionamiento por muelle. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Rodillo	Accionamiento por rodillo, símbolo general. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Rodillo escamoteable	Accionamiento por rodillo escamoteable. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Palpador	Accionamiento por palpador. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Centrado de muelles	Accionamiento por centrado de muelles. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
ACCIONAMIENTOS ELECTRICOS		
REPRESENTACION	NOMBRE	DESCRIPCION
	Electroimán	Electroimán de un solo arrollamiento. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Electroimán doble	Electroimán de dos arrollamientos. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Electroimán doble	Electroimán de dos arrollamientos opuestos. Símbolo DIN/ISO/CETOP.

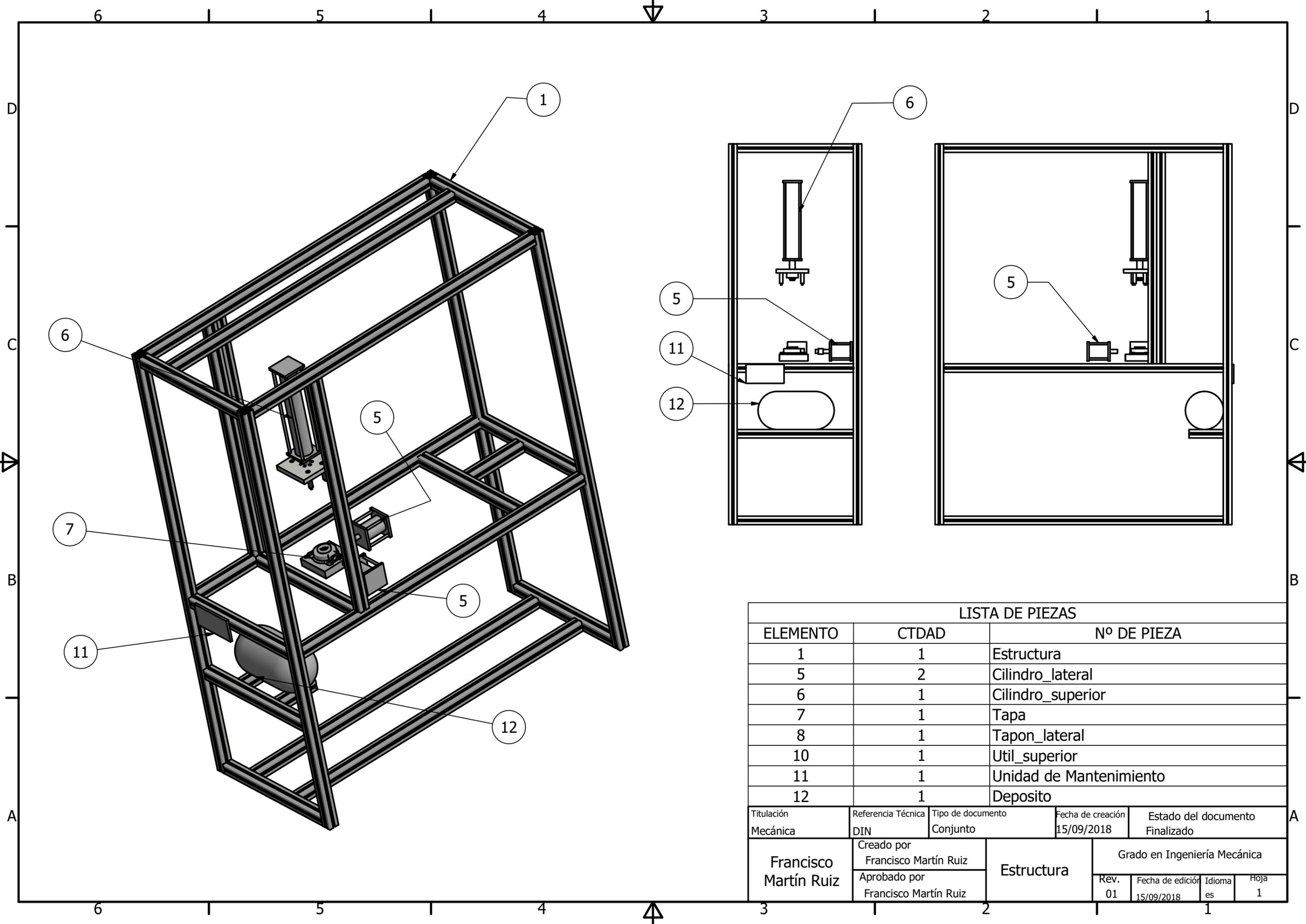
	Motor con giro continuo	Accionamiento por motor. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Motor paso a paso	Accionamiento por motor. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
ACCIONAMIENTOS NEUMATICOS		
REPRESENTACION	NOMBRE	DESCRIPCION
	Motor neumático	Símbolo general.
	Presión, directo	Accionamiento por presión directa. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Depresión, directo	Accionamiento por depresión. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Diferencial	Accionamiento por diferencial de presión. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Centrado	Accionamiento por centrado de presión. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Presión, indirecto (servopilotaje)	Accionamiento por presión indirecta positiva. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Depresión, indirecto (servopilotaje)	Accionamiento por presión indirecta negativa. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Amplificador de presión de pilotaje	Accionamiento por presión de pilotaje. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Amplificador de presión de pilotaje	Accionamiento por baja presión, pilotaje. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Mando de divisor primario	Mando de divisor primario. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Accionamiento indirecto	Por vías de mando internas.
ACCIONAMIENTOS COMBINADOS		
REPRESENTACION	NOMBRE	DESCRIPCION
	Pilotaje combinado (servopilotaje)	Accionamiento por presión y electroimán. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Pilotaje combinado (servopilotaje)	Accionamiento por presión o electroimán. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Electroimán o mando manual	Accionamiento por electroimán o manual. Símbolo DIN/ISO/CETOP.

MANDOS MECANICOS		
REPRESENTACION	NOMBRE	DESCRIPCION
	Giro en un sentido	Árbol con giro en un sentido.
	Giro en dos sentidos	Árbol con giro en los dos sentidos.
	Enclavamiento	Enclavamiento.
	Bloqueo	Bloqueo (representación esquemática del enclavamiento)
	Desenclavamiento	Dispositivo de desenclavamiento automático.
	Articulación	Articulación simple.
	Articulación	Articulación con leva.
	Articulación	Articulación con punto fijo.

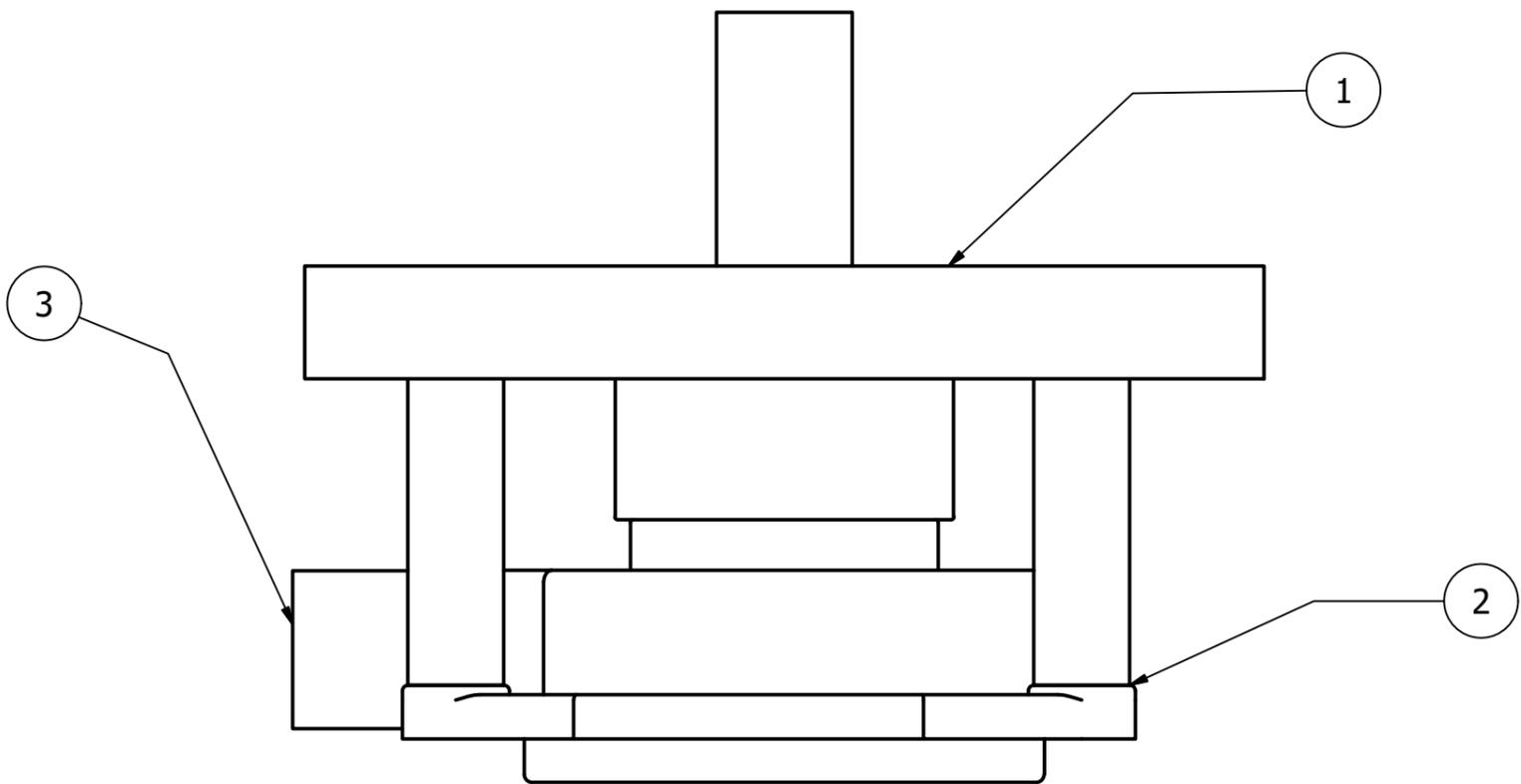
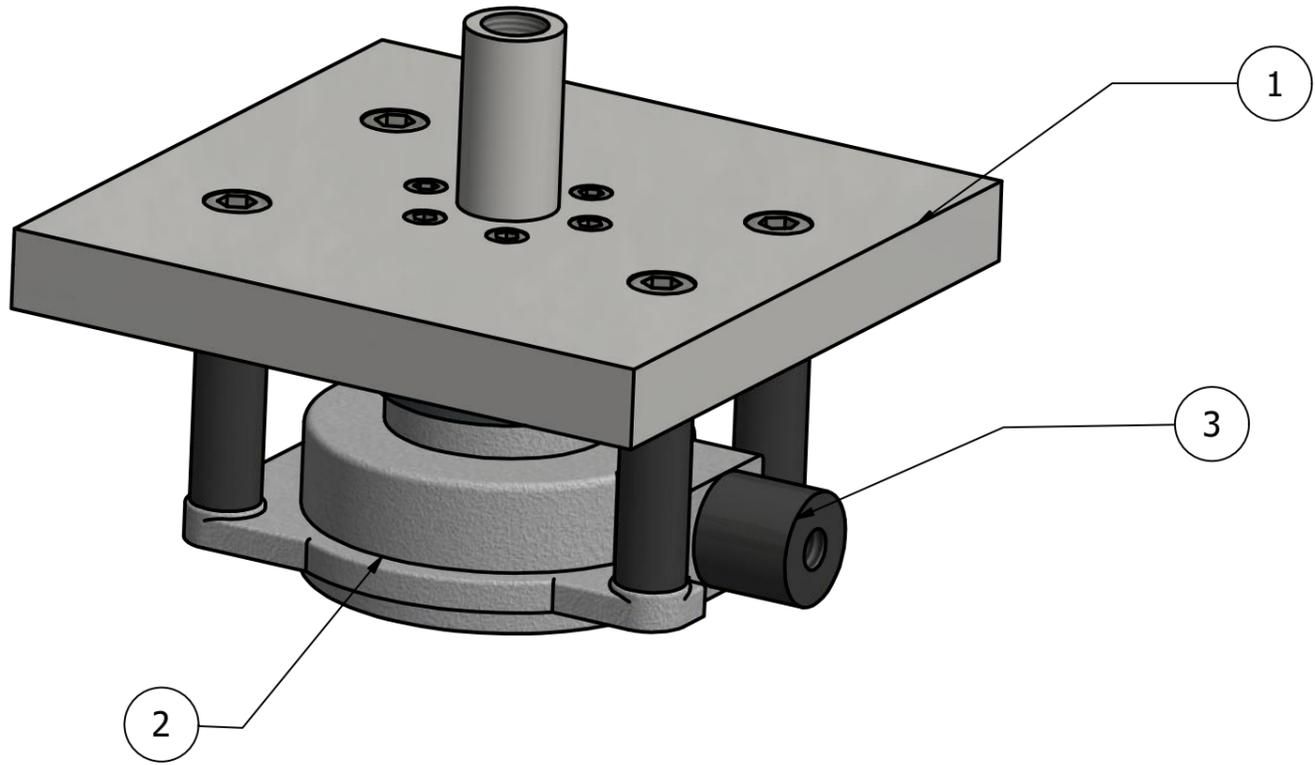
ELEMENTOS DE MEDIDA		
REPRESENTACION	NOMBRE	DESCRIPCION
	Presostato	Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Manómetro	Mide la presión. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Manómetro diferencial	Mide la presión. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Indicador de presión	Indica presión. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Termómetro	Mide la temperatura. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Medidor de caudal	Mide el caudal. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Medidor de volumen	Mide el volumen. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Detector de caudal	Símbolo DIN/ISO
	Medidor de temperatura	Símbolo DIN/ISO
	Detector de temperatura	Símbolo DIN/ISO
	Detector de presión	Símbolo DIN/ISO
	Temporizador	Símbolo DIN/ISO
	Contador de impulsos	Contador de impulsos. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Contador	Cuenta por sustracción. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Contador	Cuenta por diferencia. Símbolo DIN/ISO/CETOP.
	Contador	Cuenta por adicción. Símbolo DIN/ISO/CETOP.

DENOMINACIÓN DE LOS RÁCORES		
REPRESENTACION	NOMBRE	DESCRIPCION
A, B, C, ...	Conexión	Conexión de utilización
P	Alimentación	Alimentación de presión
R, S, T, ...	Escapes	Escapes
L	Fuga	Fuga
Z, Y, X, ...	Conexión	Conexión de pilotaje
2, 4, 6, ...	Conductos	Conductos de trabajo
1	Alimentación	Alimentación
3, 5, 7, ...	Escape	Escape de aire a la atmósfera
9	Conducción	Conducción de fugas
12, 14, 16, 18, ...	Conductos	Conductos de pilotaje

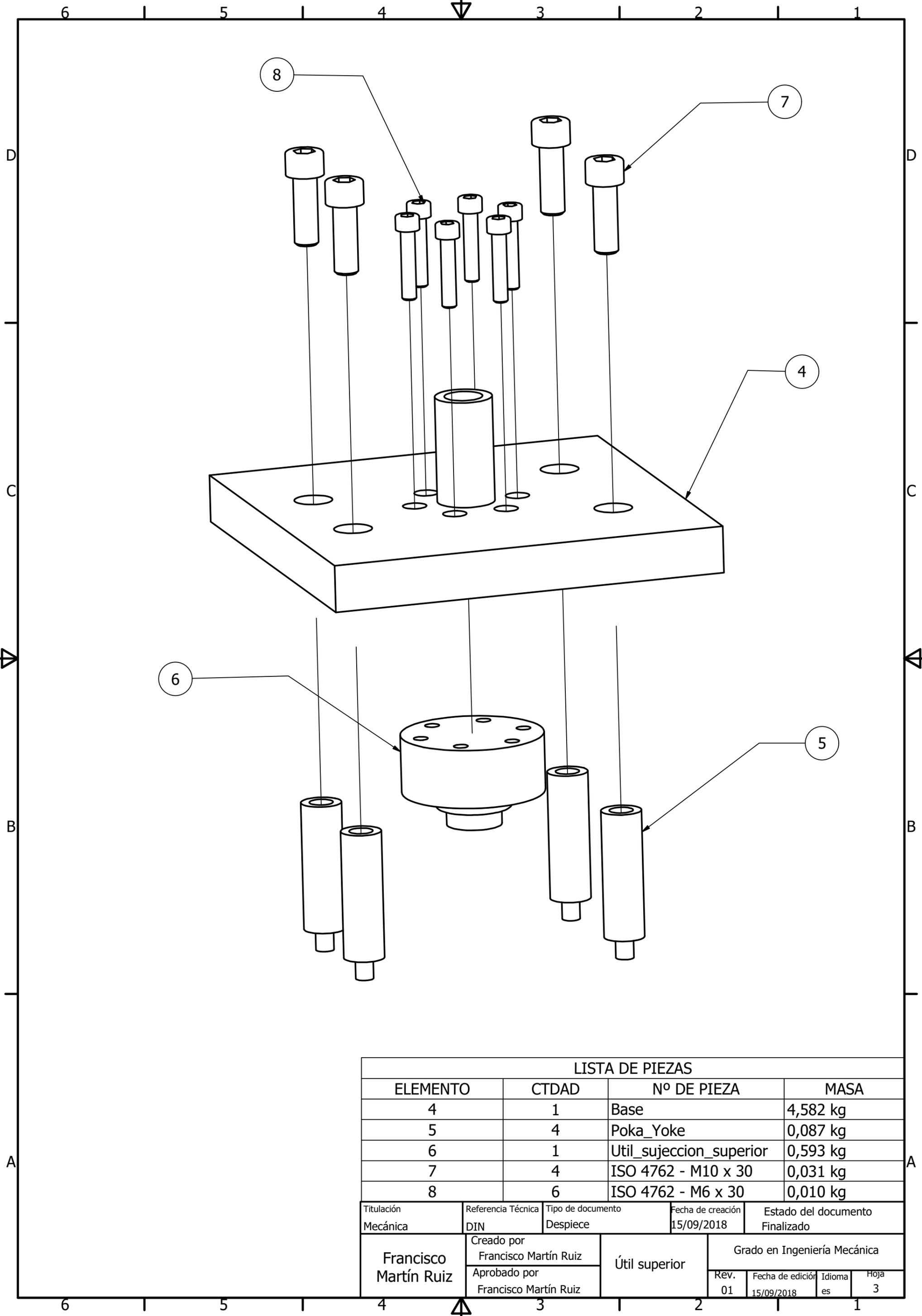
PLANOS



LISTA DE PIEZAS							
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA					
1	1	Estructura					
5	2	Cilindro_lateral					
6	1	Cilindro_superior					
7	1	Tapa					
8	1	Tapon_lateral					
10	1	Util_superior					
11	1	Unidad de Mantenimiento					
12	1	Deposito					
Titulación Mecánica		Referencia Técnica DIN	Tipo de documento Conjunto	Fecha de creación 15/09/2018	Estado del documento Finalizado		
Francisco Martín Ruiz		Creado por Francisco Martín Ruiz		Estructura		Grado en Ingeniería Mecánica	
		Aprobado por Francisco Martín Ruiz				Rev. 01	Fecha de edición 15/09/2018

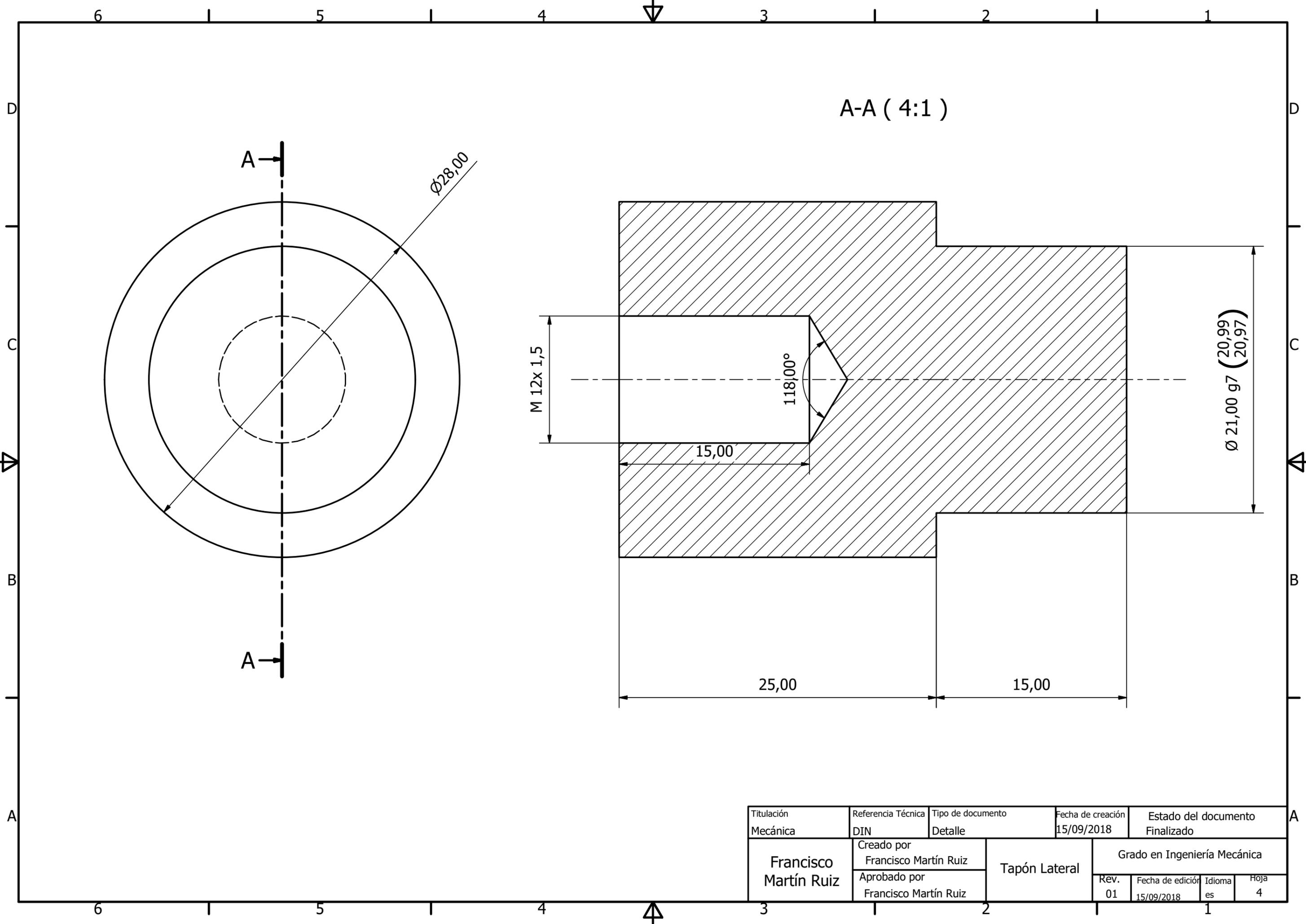


LISTA DE PIEZAS					
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	MASA		
1	1	Util_superior	5,620 kg		
2	1	Tapa	0,284 kg		
3	1	Tapon_lateral	0,152 kg		
Titulación Mecánica	Referencia Técnica DIN	Tipo de documento Subconjunto	Fecha de creación 15/09/2018	Estado del documento Finalizado	
Francisco Martín Ruiz	Creado por Francisco Martín Ruiz		Conjunto	Grado en Ingeniería Mecánica	
	Aprobado por Francisco Martín Ruiz			Rev. 01	Fecha de edición 15/09/2018
				Hoja 2	



LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	MASA
4	1	Base	4,582 kg
5	4	Poka_Yoke	0,087 kg
6	1	Util_sujeccion_superior	0,593 kg
7	4	ISO 4762 - M10 x 30	0,031 kg
8	6	ISO 4762 - M6 x 30	0,010 kg

Titulación Mecánica	Referencia Técnica DIN	Tipo de documento Despiece	Fecha de creación 15/09/2018	Estado del documento Finalizado	
Francisco Martín Ruiz	Creado por Francisco Martín Ruiz		Útil superior	Grado en Ingeniería Mecánica	
	Aprobado por Francisco Martín Ruiz			Rev. 01	Fecha de edición 15/09/2018
				Hoja 3	



A-A (4:1)

$\varnothing 28,00$

A

A

M 12x 1,5

15,00

118,00°

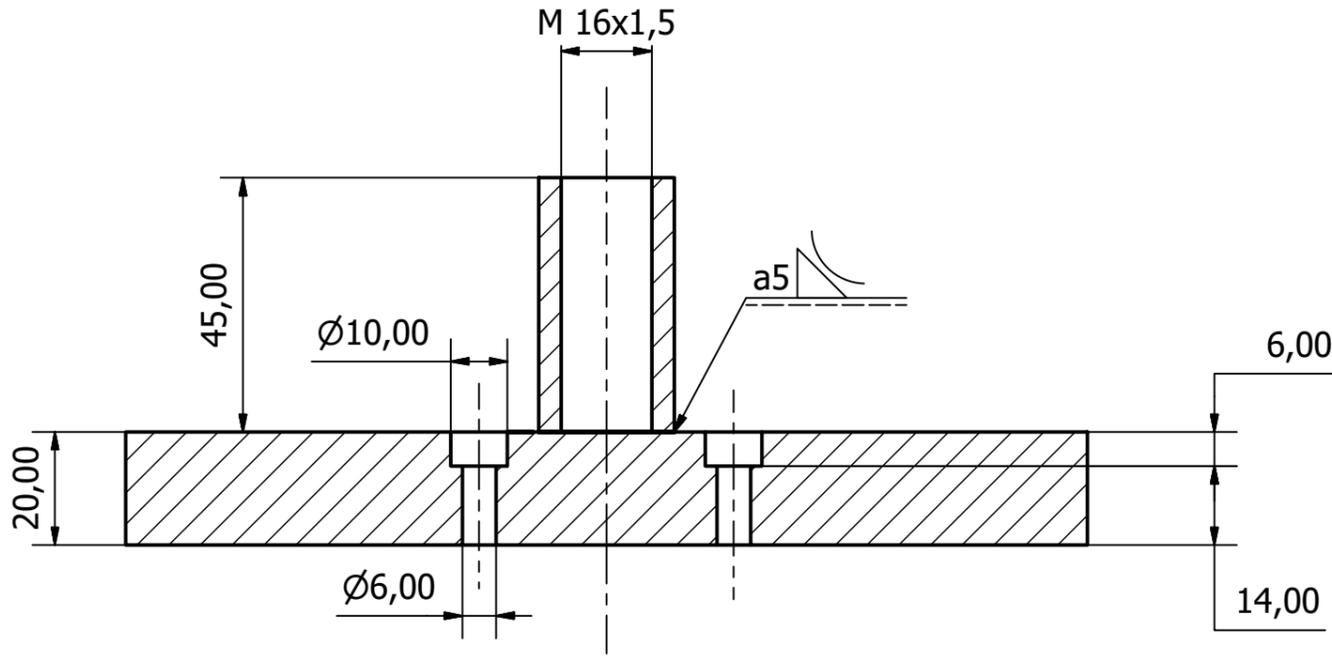
$\varnothing 21,00 \text{ g7}$ (20,99)

25,00

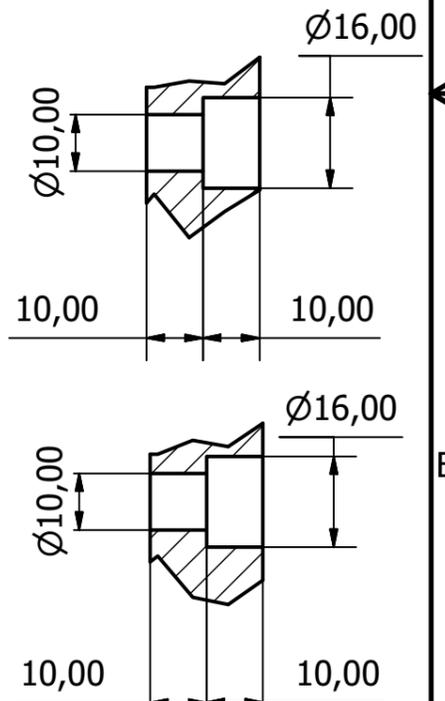
15,00

Titulación Mecánica	Referencia Técnica DIN	Tipo de documento Detalle	Fecha de creación 15/09/2018	Estado del documento Finalizado
Francisco Martín Ruiz	Creado por Francisco Martín Ruiz	Tapón Lateral	Grado en Ingeniería Mecánica	
	Aprobado por Francisco Martín Ruiz		Rev. 01	Fecha de edición 15/09/2018

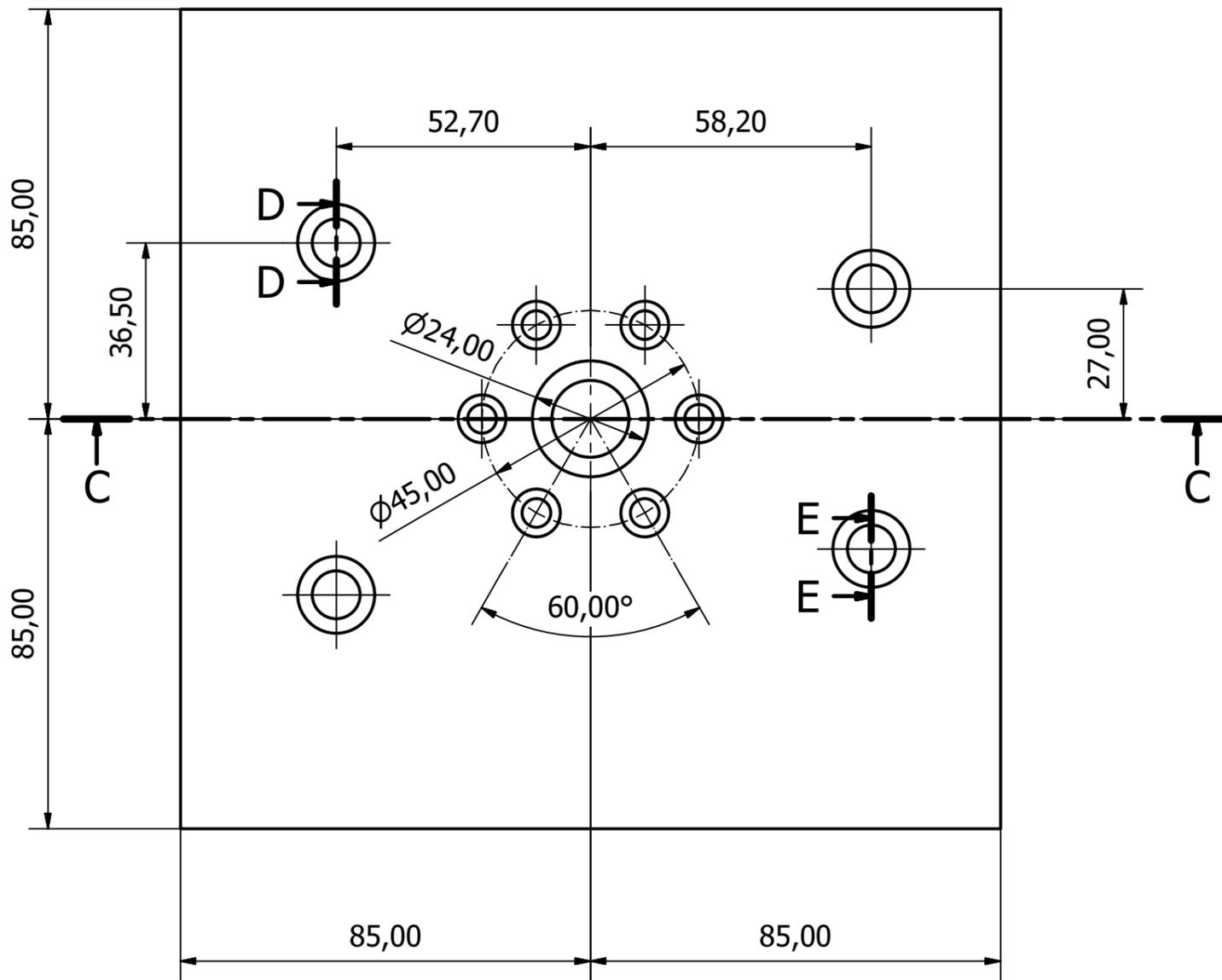
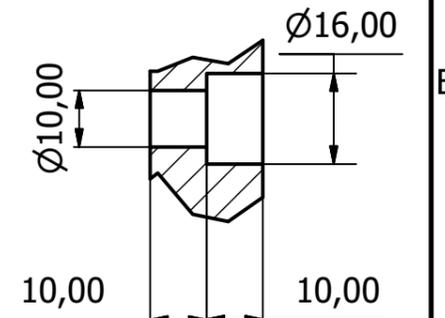
C-C (4:5)



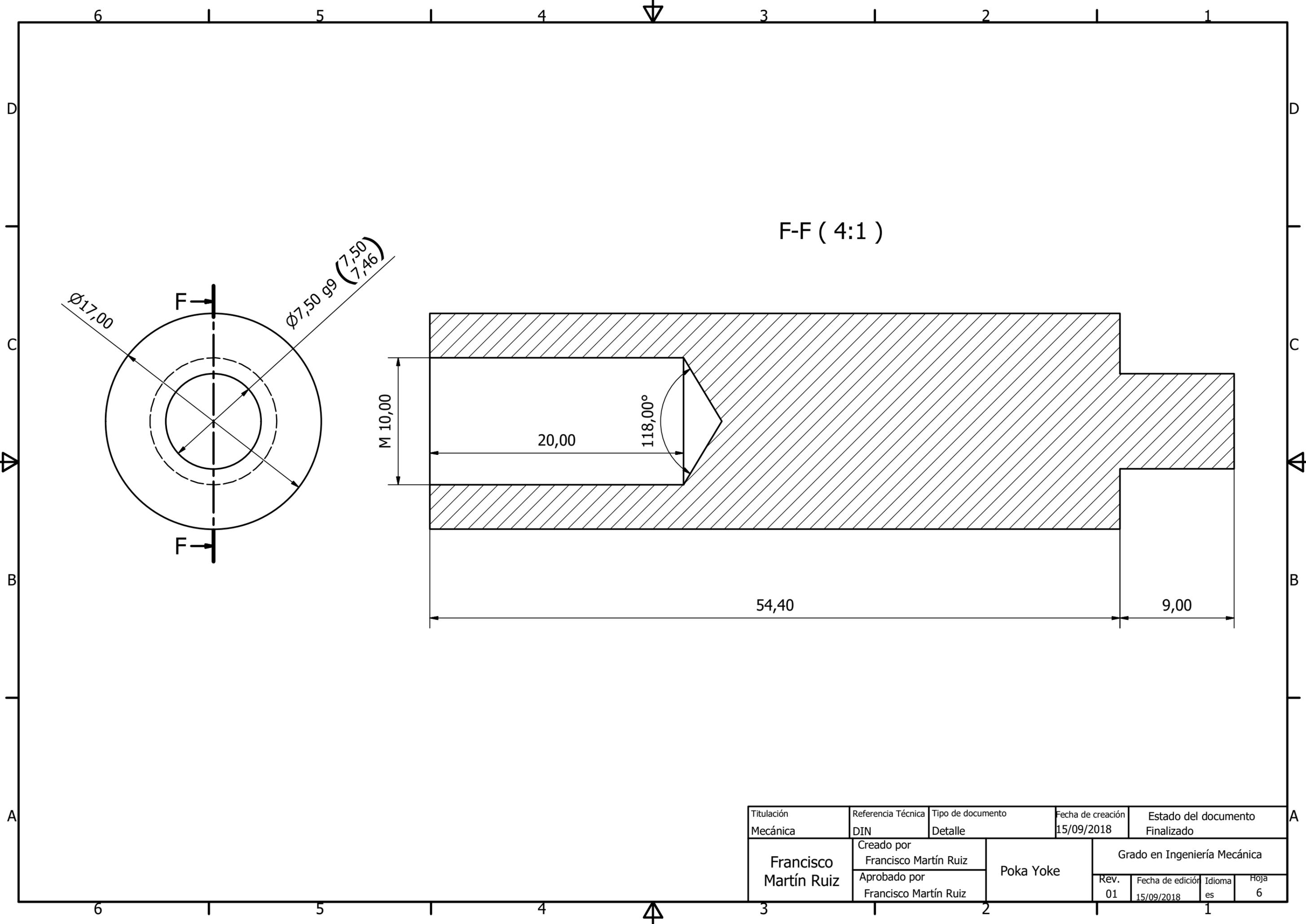
D-D (4:5)



E-E (4:5)



Titulación Mecánica	Referencia Técnica DIN	Tipo de documento Detalle	Fecha de creación 15/09/2018	Estado del documento Finalizado
Francisco Martín Ruiz	Creado por Francisco Martín Ruiz		Grado en Ingeniería Mecánica	
	Aprobado por Francisco Martín Ruiz			
Base		Rev. 01	Fecha de edición 15/09/2018	Idioma es
				Hoja 5



F-F (4:1)

$\varnothing 17,00$
 $\varnothing 7,50$ 99 (7,50 / 7,46)

M 10,00

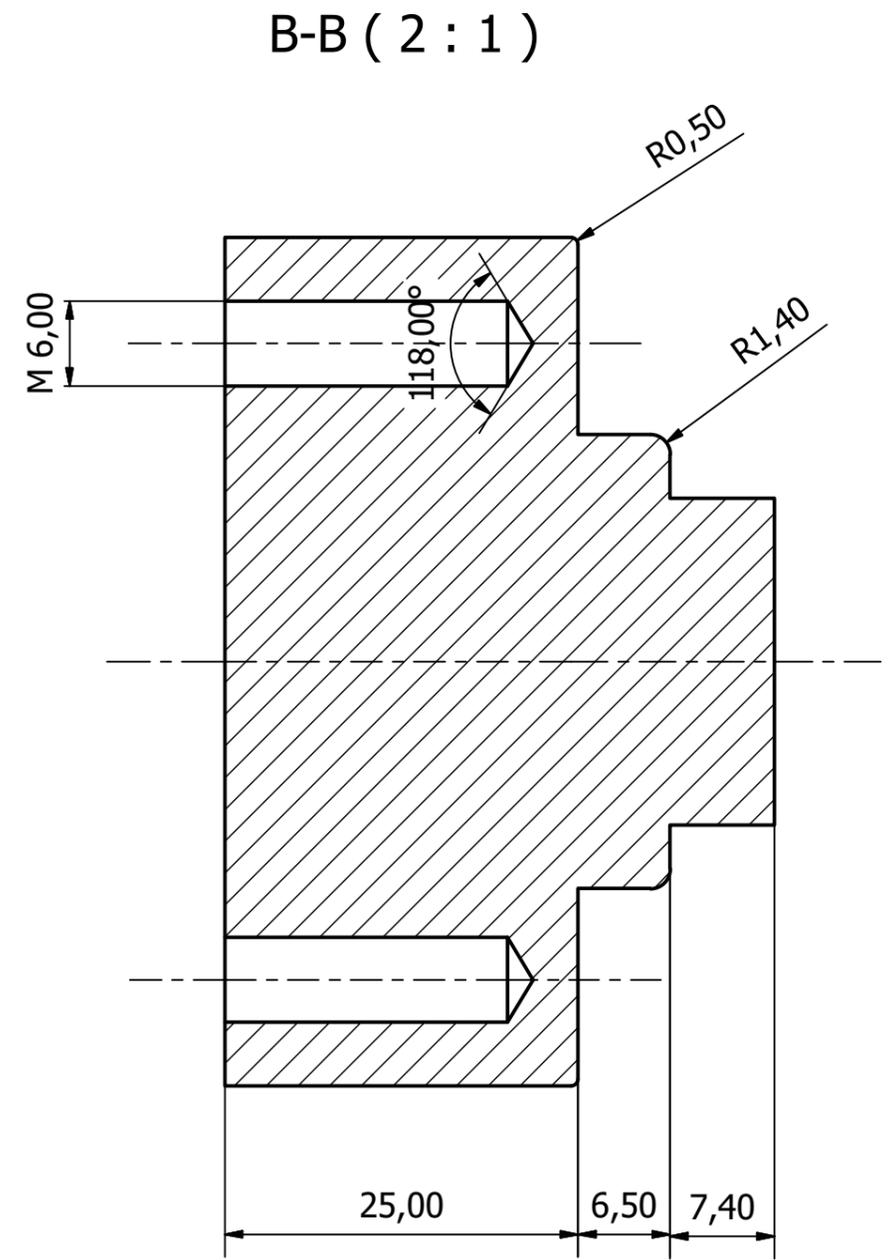
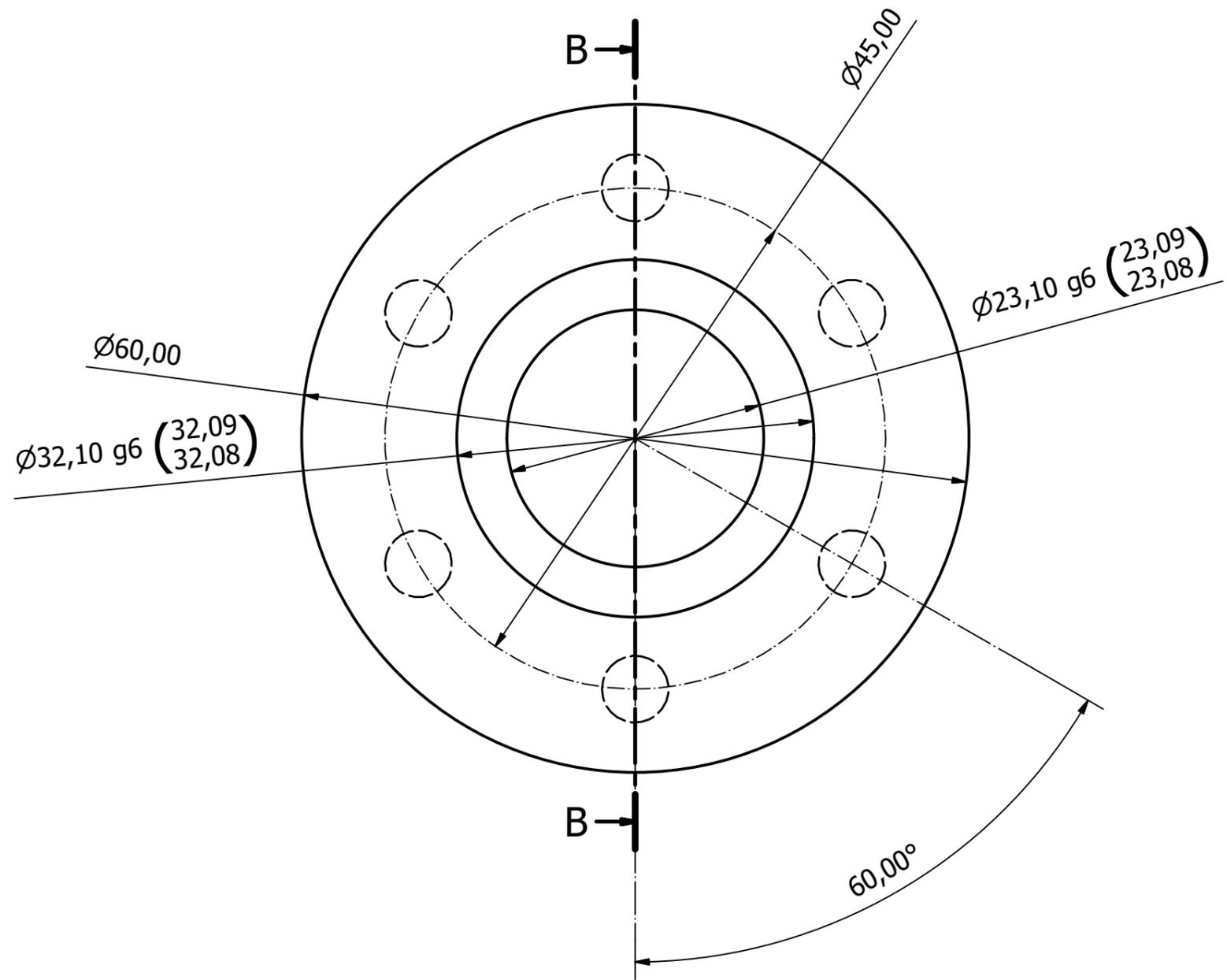
20,00

118,00°

54,40

9,00

Titulación Mecánica	Referencia Técnica DIN	Tipo de documento Detalle	Fecha de creación 15/09/2018	Estado del documento Finalizado
Francisco Martín Ruiz	Creado por Francisco Martín Ruiz	Poka Yoke	Grado en Ingeniería Mecánica	
	Aprobado por Francisco Martín Ruiz		Rev. 01	Fecha de edición 15/09/2018



Titulación Mecánica	Referencia Técnica DIN	Tipo de documento Detalle	Fecha de creación 15/09/2018	Estado del documento Finalizado			
Francisco Martín Ruiz	Creado por Francisco Martín Ruiz		Grado en Ingeniería Mecánica				
	Aprobado por Francisco Martín Ruiz		Útil sujeción superior	Rev. 01	Fecha de edición 15/09/2018	Idioma es	Hoja 7

PLIEGO DE CONDICIONES

1. Disposiciones generales

1.1 Objeto del pliego

El pliego de condiciones establece los requisitos o normas generales de carácter facultativo, económico y legal que el contratista y todas las partes implicadas deben llevar a cabo para la construcción del fugómetro diseñado.

No es propósito de esta parte hacer referencia a todos los detalles constructivos del equipo. Es por tanto responsabilidad del contratista acogerse a las normas de diseño, reglamentos y técnicas aplicables más actuales.

1.2 Documentación del proyecto

Todo proyecto consta de los siguientes documentos.

1. ÍNDICE GENERAL.
2. MEMORIA.
3. CÁLCULOS.
4. ANEXO.
5. PLANOS.
6. PLIEGO DE CONDICIONES.
7. PRESUPUESTO.

De entre todos ellos, deben diferenciar los documentos contractuales de los que no lo son. Se entiende por documento contractual aquel que aparece reflejado en el contrato y que es de obligado cumplimiento. Solamente se permitirá no cumplir ciertos aspectos si estos quedan debidamente reflejados. De este modo, el contratista no podrá alegar modificación alguna de las condiciones del contrato en base a los datos contenidos en los documentos informativos a menos que estos datos aparezcan en algún documento contractual.

Los documentos contractuales son:

- ANEXO.
- PLANOS.
- PLIEGO DE CONDICIONES.
- PRESUPUESTO.

1.3 Compatibilidad y prelación entre documentos

Los documentos que definen este proyecto son compatibles entre sí, están interrelacionados y además se complementan entre ellos. No obstante, el proyecto debe quedar definido con los siguientes documentos:

- ANEXO
- PLANOS
- PLIEGO DE CONDICIONES

La importancia de estos documentos es por tanto notable y establecer un orden de prioridad entre los documentos depende del ámbito técnico en el que nos estemos moviendo. Si se atiende a una cuestión técnico-teórica, el documento por excelencia es la "MEMORIA" y en especial los "CÁLCULOS", seguido de los "PLANOS". Si se atiende a una cuestión jurídico-legal, será el "PLIEGO DE CONDICIONES" el documento más importante.

2. Condiciones Técnicas

Para la realización del proyecto, la empresa pondrá a disposición del contratista toda la documentación necesaria para la correcta interpretación del diseño expuesto.

Además, el contratista deberá reportar a la empresa los resultados que vaya obteniendo durante el desarrollo del proyecto, así como un informe final, detallando las conclusiones y la metodología seguida en el desarrollo del proyecto. Los procedimientos de cálculo se realizarán de acuerdo a lo señalado en el documento "CÁLCULOS". Toda modificación de estos procedimientos requerirá de autorización previa.

Por último, en caso de subcontratación de una parte o de la integridad del proyecto, deberá certificarse la cualificación de dicha subcontrata y de sus trabajadores, siempre con la conformidad de la empresa.

6.2.1. Documentos de soporte

En este apartado se indicarán los documentos que se deben reportar al término de ejecución del proyecto. Los siete documentos que integran el proyecto se entregarán encuadernados separadamente.

1. **ÍNDICE GENERAL:** se trata de un listado de todos los documentos que componen el proyecto al completo, identificando las páginas en las que aparecen desarrollados cada uno de ellos.
2. **MEMORIA:** define el propósito del proyecto. Se establece el problema de partida, la solución al mismo y las conclusiones obtenidas: el proceso seguido para la realización del "Diseño neumático del fugómetro".
3. **CÁLCULOS:** este documento contiene los desarrollos matemáticos cálculos que aseguran el correcto diseño de la máquina.
4. **ANEXO:** este documento refleja información adicional para la interpretación de resultados, diagramas, etc.. En este caso, tablas de simbología neumática.
5. **PLANOS:** este documento recogen los planos técnicos de todos los elementos de los útiles diseñados así como un plano de conjunto de la estructura de la

máquina. Los planos deben estar perfectamente acotados y definir perfectamente cada una de las piezas.

6. **PLIEGO DE CONDICIONES:** este documento establece las normas de comportamiento entre las distintas partes implicadas en la realización del proyecto. El pliego de condiciones abarca: reglas de comportamiento técnico, facultativo, económico y legal.
7. **PRESUPUESTO:** resume la cuantía económica de lo proyectado. Se trata de un documento orientativo de los costes y las mediciones del proyecto en general.

3. Condiciones facultativas

El director de la obra será de un ingeniero técnico. Sus obligaciones consistirán en asegurar que los trabajos que se están realizando correctamente y que el contratista sigue las pautas que marca el proyecto.

El contratista tiene la obligación de facilitar al director de obra toda la información que sea necesaria. Además, deberá informar de cualquier incidencia y será el encargado de cumplir los plazos de fabricación estipulados.

En caso de retrasos en el cumplimiento deberá informar a la dirección de fabricación, siendo de ésta última la responsabilidad en la resolución de dicho problema.

3.1 Jefe de fabricación

El contratista deberá seleccionar un jefe de fabricación que cumpla con el proceso de fabricación correctamente. El jefe de fabricación será el representante oficial del contratista durante todo el proceso teniendo la obligación de hacer cumplir con autoridad lo estipulado en el proyecto.

El jefe de fabricación deberá cumplir y hacer cumplir las órdenes recibidas de la dirección facultativa debiendo notificar a ésta última las incidencias producidas.

En caso cambio del jefe de fabricación durante el desarrollo del proyecto, el contratista deberá informar previamente a la dirección facultativa, que deberá dar su visto bueno.

3.2 Obligaciones del Contratista

Aunque el jefe de fabricación sea el representante del contratista en la obra, suya es la responsabilidad de la fabricación en caso de incumplimiento del pliego de condiciones. El jefe de fabricación será el segundo responsable.

El contratista deberá facilitar en caso de que sea necesario cualquier certificado de calidad de los materiales, maquinaria y equipo empleado en la fabricación.

El contratista deberá acudir de forma obligatoria a todas las reuniones que organice la dirección facultativa y en caso de ausencia justificada, deberá designar un representante.

Otra de sus obligaciones principales será acudir presencialmente a la fabricación durante su jornada laboral.

3.3 Plazos y comienzo de la fabricación

Los plazos de ejecución (fecha de comienzo y fin de obra) estarán definidos en el contrato y serán de obligatorio cumplimiento por parte del contratista. El Contratista deberá dar parte del comienzo a la dirección facultativa y será el máximo responsable de los atrasos.

El jefe de fabricación podrá pedir a la dirección facultativa una ampliación del plazo de fabricación justificando los motivos por lo que debe aumentarse el plazo. La dirección facultativa determinará una nueva fecha tras realizar una reunión en caso de que sea necesario.

3.4 Fallos de fabricación o montaje

El contratista será el máximo responsable de los fallos o defectos en el montaje del fugómetro. En caso de fallo de montaje, se desmontará y se volverá a realizar el montaje de forma correcta.

En caso de que los fallos sean responsabilidad directa del contratista, será él quien deba correr con los gastos asociados a los mismos.

3.5 Garantía

El brazo articulado tendrá una garantía de cuatro años desde el momento en el que se entregue al cliente. El tiempo en el que el brazo articulado este en garantía los fallos o piezas defectuosas serán arreglados y remplazados sin ningún coste para el cliente.

4. Condiciones económicas

4.1 Garantías

La empresa podrá exigir al contratista la presentación de las referencias bancarias, al objeto de cerciorarse de que éste reúne las condiciones estipuladas para el cumplimiento del contrato. Esta documentación deberá ser presentada antes de la firma del contrato.

4.2 Gastos e impuestos

Todos los gastos e impuestos de cualquier orden, que por legislación del estado, provincia o municipio, se deriven del contrato, y estén vigentes en la fecha de la firma del mismo, serán por cuenta del contratista a excepción del IVA.

En ningún caso podrá ser causa de revisión de precios la modificación del sistema tributario vigente tras la firma del contrato.

4.3 Reclamación por aumento de precios

Si el Contratista, antes de la firma del contrato no hubiese hecho la reclamación u observación oportuna, no podrá bajo ningún pretexto de error u omisión reclamar aumento de los precios fijados en el cuadro correspondiente del presupuesto que sirve de base para la ejecución del proyecto.

Las equivocaciones relativas a los materiales o a errores aritméticos en las unidades o magnitudes del importe, se corregirán en el momento que se detecten, pero no se tendrán en cuenta a los efectos de la rescisión de contrato.

4.4 Revisión de precios

Si los vigentes precios de jornada, cargas sociales y materiales, en el momento de firmar el Contrato, sufren una variación oficial en más o menos del 5%, podrá hacerse una revisión de precios a petición de cualquiera de las partes.

En principio no se debe admitir la revisión de los precios contratados. Sin embargo, dada la variabilidad continua de dichos precios que pueden llegar a darse durante el desarrollo del proyecto, se admiten durante ellas la rescisión de los precios contratados, bien en alza o en baja y en armonía con las oscilaciones de los precios del mercado.

El contratista puede solicitar la revisión en cuanto se produzca cualquier alteración de precio. Ambas partes convendrán el nuevo precio unitario antes de comenzar o de continuar la ejecución de la unidad de obra en que intervenga el elemento cuyo precio en el mercado y por causas justificadas haya subido, especificándose y acordándose también previamente a la fecha a partir de la cual se tendrán en cuenta y cuando proceda, el acopio de materiales en la fabricación en el caso de que estuviese abonado total o parcialmente por el propietario.

Si el propietario no estuviese conforme con los nuevos precios de materiales que el Contratista desea percibir como normales en el mercado, tiene la facultad de proponer al Contratista, en cuyo caso se tendrá en cuenta para la revisión, los precios de los materiales adquiridos por el Contratista a merced de la información del Propietario.

4.5 Equivocaciones del presupuesto

Si el número de unidades de un determinado artículo es inferior al proyectado, el número de unidades fuera inferior, se descontará del presupuesto final.

4.6 Pagos

El propietario realizará los pagos en los plazos previamente establecidos y su importe corresponderá al de las certificaciones de obra emitidas por el ingeniero director.

4.7 Suspensión por retrasos de pago

En ningún caso podrá el contratista, alegando retraso en los pagos, suspender los trabajos, ni acumular retraso intencionadamente.

4.8 Indemnización por el retraso de los trabajos

El importe de la indemnización que debe abonar el contratista por causas de retraso no justificado, en el plazo de terminación de las obras, será: el coste asociado a la imposibilidad de repercutir beneficio sobre la máquina proyectada de acuerdo a la fabricación que hubiera realizado la misma en el tiempo de retraso.

4.9 Mejoras de fabricación

No se admitirán mejoras de fabricación, más que en el caso en que la empresa haya ordenado por escrito la ejecución de los trabajos nuevos. Tampoco se admitirán aumentos de fabricación en las unidades contratadas, salvo caso de error en las mediciones del Proyecto, a menos que la compañía que solicita el proyecto lo ordene, también por escrito, la ampliación de las contratadas.

5. Condiciones legales

5.1 Marco jurídico

La ejecución del proyecto deberá proyectarse y regirse por las leyes vigentes del estado siendo responsabilidad de la empresa la que el proyecto de ejecute de acuerdo a dichas condiciones.

5.2 Régimen de intervención

Cuando el contratista se acoja al contrato o a las órdenes de servicio que les sean dadas por la empresa, ésta le requerirá a cumplir este requisito de órdenes en un plazo determinado, que, salvo casos de urgencia, no será nunca menor de 10 días a partir del plazo de la notificación del requerimiento.

Pasado este plazo, si el contratista no ha ejecutado las pautas requeridas, la empresa podrá ordenar de manera provisional el establecimiento de un régimen de intervención general o parcial sobre el proyecto.

Se procederá inmediatamente, en presencia del contratista, o habiéndole convocado debidamente, a la verificación del trabajo realizado: fabricación ejecutada, materiales acopiados así como al inventario descriptivo del material propio del contratista, y a la devolución a éste de sus materiales, así como de la parte de materiales que no utilizará la empresa para la finalización de los trabajos. La empresa tiene por otra parte, la facultad, de ordenar la convocatoria de un nuevo concurso, de realizar petición de ofertas, por cuenta y riesgo del contratista incumplidor o de ejercitar el derecho de rescisión inmediata del contrato.

Durante el período de régimen de intervención, el contratista podrá conocer la marcha de los trabajos, sin que pueda, de ninguna manera, interferir en las órdenes de la empresa.

El contratista podrá, por otra parte, ser liberado del régimen de intervención si justifica su capacidad para volver a hacerse cargo de los trabajos de manera correcta, de acuerdo al contrato.

Los excedentes de gastos que resulten de la intervención o de la redacción de un nuevo contrato serán deducidos de las sumas, pudiendo ejercer sobre el contratista el pago de los mismos.

Si existiera una disminución de gastos debido a la intervención de la empresa, el contratista no tendrá derecho a percibir ningún beneficio del mismo.

5.3 Accidentes de trabajo y daños a terceros

El contratista es el máximo y único responsable de la seguridad y de los trabajadores durante la fabricación teniendo la obligación de comprobar el cumplimiento de las leyes de seguridad laboral. La empresa quedará libre de responsabilidades.

El Contratista deberá instruir a los operarios en las medidas de seguridad necesarias y deberá suministrarles el material de seguridad necesario.

En caso de accidente o daños a terceras personas u objetos por un incorrecto cumplimiento de las leyes vigentes, el contratista será el responsable.

5.4 Responsabilidad civil

El contratista deberá tener cubierta su responsabilidad civil, que le ampare en caso de que alguno de sus empleados o subcontratas incumplan la normativa.

El contratista será el encargado de tomar las medidas necesarias para no comprometer la salud de sus empleados ni de las terceras personas siendo su responsabilidad en caso de accidente.

En caso de accidente, el contratista será el único responsable de las lesiones sufridas, debiendo indemnizar a los afectados, quedando el propietario y dirección facultativa libre de responsabilidades.

5.5 Permisos y certificados

Será responsabilidad del contratista el cumplimiento de las leyes estatales, provinciales o municipales vigentes.

También será el encargado de solicitar los certificados de manera que la documentación esté siempre en regla. Los costes asociados a estas tareas serán abonados por la propiedad.

5.6 Rescisión del contrato

Las acciones nombradas a continuación serán las causantes de la rescisión del contrato:

- Retraso en la fecha de inicio estipulada.
- Demora excesiva en los plazos de entrega previstos.
- Incumplimiento por parte del contratista de sus responsabilidades.
- Errores en los materiales debido a la negligencia del contratista.

- Modificaciones en el contrato con incrementos de precio mayores al 7%.

5.7 Disposiciones legales

La normativa que rige las disposiciones legales de carácter general en la industria son:

- Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.
- Ley 54/2003, de 12 de noviembre, reforma del marco normativo de la Prevención de Riesgos Laborales.
- Real Decreto 171/2004, de 30 de enero, por el que se desarrolla el artículo 24 de la Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales.
- Directiva 89/391/CEE, relativa a la aplicación de las medidas para promover la mejora en la seguridad y de la salud de los trabajadores en el trabajo.
- Ley 50/1998, de 30 de diciembre, de Medidas Fiscales, Administrativas y del Orden Social, que modifica la Ley 31/1995 en sus artículos 47, 48 y 49.
- Real Decreto Legislativo 5/2000, de 4 de agosto, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley sobre Infracciones y Sanciones en el Orden Social.
- Convenio 155 de la OIT sobre seguridad y salud de los trabajadores, de 22 de junio de 1981.
- Real Decreto 707/2002, de 19 de julio, por el que se aprueba el Reglamento sobre el procedimiento administrativo especial de actuación de la Inspección de Trabajo y Seguridad Social y para la imposición de las medidas correctoras de incumplimientos en materia de prevención de riesgos laborales en el ámbito de la Administración General del Estado.
- Ley 21/1992, de 16 de julio, de Industria.
- Orden de 29 de julio de 1993, que desarrolla el Real Decreto 825/1993.
- Real Decreto 697/1995, de 28 de abril, que desarrolla el Reglamento de Registro de Establecimientos Industriales de la Ley 21/1992.
- Real Decreto 2526/1998, de 27 de noviembre, que modifica el artículo 17.1 del anexo al Real Decreto 697/1995.
- Real Decreto A1823/1998, de 28 de agosto, sobre Composición y Funcionamiento de la Comisión para la Competitividad industrial, desarrollando la Ley 21/1992.

ANEXO I. ESTUDIO DE SEGURIDAD EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN Y MONTAJE

1.Introducción

La Constitución Española encomienda a los poderes públicos velar por la seguridad e higiene en el trabajo. Bajo este mandato constitucional y como transposición de la Directiva Europea 89/391/CEE, aparece la Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales (LPRL), modificada por la Ley 54/2003, de 12 de diciembre, de reforma del marco normativo de la prevención de riesgos laborales. La Ley de Prevención de Riesgos Laborales puede sintetizarse de la siguiente manera:

- Derecho a la Protección frente a los riesgos laborales.
- Plan de Prevención de Riesgos Laborales.
- Evaluación de Riesgos.
- Planificación de la actividad preventiva.
- Modalidades de los Servicios de Prevención.
- Riesgo grave e inminente para la Salud.

Los riesgos laborales pueden:

- Accidentes de trabajo.
- Enfermedades crónicas.
- Malestar y enfermedad: fatiga, estrés, estados depresivos, etc.

La Prevención de Riesgos Laborales deberá integrarse en el sistema general de organización de la empresa. La empresa deberá por tanto implantar y aplicar un plan de prevención de riesgos laborales. Este plan de prevención de riesgos laborales deberá incluir:

- La determinación y/o constitución de la modalidad organizativa encargada de la prevención de riesgos.
- Los nombramientos de responsables en materia de prevención de riesgos laborales. La capacitación formativa necesaria, recursos y funciones de los responsables quedarán debidamente indicada.
- Las prácticas, procedimientos y procesos de prevención.
- La articulación de los mecanismos de participación y consulta.

Los instrumentos capitales para poder gestionar y aplicar el plan de prevención de riesgos laborales son:

- La evaluación de riesgos laborales.
- La planificación de la actividad preventiva.

Cualquier proyecto de diseño y fabricación de maquinaria debe contemplar un estudio de seguridad en base a:

- Establecer un nivel de riesgos mínimo para las personas.
- Establecer normas de seguridad sencillas que faciliten una correcta in

Para poder cumplir con lo dicho anteriormente, deben delimitarse los procesos críticos de montaje y uso de máquina. Por tanto, se realizará una descripción de los peligros en función de la naturaleza de éstos y un estudio durante la fabricación para contemplar nuevos riesgos.

2. Tipos de peligros que intervienen en el proceso de fabricación y montaje circuito neumático de un fugómetro

2.1 Peligro mecánico

Es aquel asociado a los equipos y máquinas utilizadas durante la fabricación de componentes y montaje de la máquina: peligro por aplastamiento, cizallamiento, atrapamiento, corte, impacto, etc...

2.2 Peligro eléctrico

Este peligro puede llegar a causar quemaduras de cierta importancia y en caso de choque eléctrico, la muerte. Este riesgo se acentúa si existe riesgo de contacto de personas con:

- Partes activas: partes que normalmente están en tensión.
- Partes que se han hecho activas, accidentalmente, por un fallo de aislamiento.

2.3 Peligro térmico

Puede originar quemaduras o efectos nocivos para la salud debido al ambiente de trabajo. Durante el montaje del fugómetro se trabaja en condiciones normales, la temperatura ambiente en el área de trabajo no será elevada. Por lo tanto, el riesgo térmico no es importante.

2.4 Peligro producido por el ruido y las vibraciones

Producido por el ruido y las vibraciones de las máquinas utilizadas en el proceso de montaje. Exponerse de forma prolongada a estas condiciones de trabajo sin la debida protección auditiva, puede provocar sordera e incluso trastornos neurológicos y basculares fruto de las vibraciones.

2.5 Peligros producidos por materiales y sustancias

Los consumibles y materiales utilizados por las máquinas, así como el material que puedan llegar a proyectar durante su uso, puede dar lugar a:

- Peligro de contacto con, fluidos, gases, nieblas, humos y polvos de efecto nocivo, tóxico corrosivo y/o irritante.
- Peligro de inhalación de fluidos, gases, nieblas, humos y polvos de efecto nocivo, tóxico, corrosivo y/o irritante.
- Peligro de incendio.
- Peligro de explosión.

2.6 Otros peligros

Como resultado del trabajo a pie de obra, pueden darse otras situaciones de riesgo que pueden llevar a los siguientes perjuicios sobre las personas:

- Caídas.
- Golpes contra otros objetos.
- Caída de objetos.
- Caída de cargas suspendidas.
- Golpes y/o cortes por manipulación de herramientas.
- Posibles atropellos por vehículos industriales.
- Dolencias debidas a posturas forzadas.

3. Medidas de prevención de riesgos

Estas medidas de seguridad de obligado cumplimiento contemplan:

- Limitar las exposiciones de los trabajadores a los peligros inevitables.
- Reducir al máximo los riesgos seleccionando el método de fabricación más adecuado para cada componente.

3.1 Medidas preventivas de los trabajadores

La empresa tiene la obligación de facilitar a todos los trabajadores los equipos de seguridad individual necesarios (EPIS), correctamente homologados. Con carácter general, los EPIS mínimos deberán ser:

- Casco de protección.
- Gafas de seguridad.
- Auriculares de seguridad.
- Buzo de trabajo.
- Guantes de seguridad.
- Botas de seguridad.

Para tareas más específicas, los EPIS que deberán utilizarse serán:

- Arnés de seguridad: para trabajos en altura.
- Protección vías respiratorias: para ambientes tóxicos.

El uso de los EPIS es obligación del propio trabajador, pudiendo ser objeto de sanción o incluso despido una actitud negativa del trabajador a tal aspecto.

3.2 Medidas preventivas de las máquinas empleadas en la fabricación y montaje del fugómetro

Cada máquina llevará, de forma legible e imborrable, como mínimo las indicaciones siguientes:

3.2.1 Dispositivos de información

La información necesaria para el manejo de la máquina no deberá albergar ninguna duda y se deberá comprender fácilmente.

Cuando la salud y la seguridad de los trabajadores puedan estar en peligro por funcionamiento defectuoso de la máquina, ésta deberá ir provista de un sistema que advierta de ello mediante un indicador luminoso.

3.2.2 Dispositivos de advertencia

Toda máquina debe ir provista de dispositivos de advertencia. La interpretación de los mismos deberá ser sencilla o no dejar lugar a las dudas.

Las prescripciones de las normas específicas que apliquen las Directivas comunitarias deben ir indicadas correctamente indicadas sobre colores y señales de seguridad.

3.2.3 Marcado CE

Toda máquina que posea el marcado CE satisface todos los requisitos esenciales de seguridad y de salud correspondientes de acuerdo a la normativa vigente. Será obligación del proveedor entregar dicho certificado al cliente. Este marcado debe incluir la siguiente información:

- Nombre y dirección del fabricante.
- La designación de la máquina.
- La designación de la serie o del modelo.
- El número de serie.
- El año de fabricación.

3.2.4 Manual de instrucciones

Cada máquina llevará un manual de instrucciones en el que se indique, como mínimo, lo siguiente:

- Información relativa al mantenimiento de la máquina: dirección del importador, de los reparadores, etc.
- Las condiciones previstas de utilización.
- Los puestos de trabajo que puedan ocupar los operadores.
- Las instrucciones para que puedan efectuarse sin riesgo.
- La puesta en servicio.
- La utilización.
- La manutención con la indicación de la masa de la máquina y sus diversos elementos, y si debe transportarse por separado.
- La instalación, el montaje, el desmontaje y el reglaje.

El manual de instrucciones estará redactado en una de las lenguas comunitarias e incluirá los planos y esquemas necesarios para poner en servicio, conservar, inspeccionar e incluso reparar la máquina.

3.3 Requisitos fundamentales de seguridad y salud

Los requisitos esenciales de seguridad y de salud han sido agrupados en función de los peligros que cubren.

3.3.1 Principios de la integración de la seguridad

Para evitar daños sobre las personas, durante el montaje de la máquina se deberá:

- Eliminar o reducir los riesgos en la medida de lo posible (integración de la seguridad en el diseño y fabricación de la máquina).
- Adoptar las medidas de protección que sean necesarias frente a los riesgos que no puedan eliminarse.
- Informar a los usuarios de los riesgos residuales debidos a la incompleta eficacia de las medidas de protección adoptadas. Puede incluso requerirse el uso de EPIS durante el uso de máquina.

3.3.2 Materiales y productos empleados en la fabricación

Los materiales que se empleen para fabricar la máquina no originarán riesgos para la seguridad ni para la salud de las personas expuestas.

Diseño de la máquina con miras a su manipulación durante el montaje Se darán las instrucciones necesarias para que el montaje de la máquina pueda efectuarse correctamente y con el menor peligro posible. De este modo, cuando el peso de los diferentes elementos dificulte la maniobrabilidad, la máquina deberá incorporar apéndices que permiten su elevación.

Roturas en servicio

Las diferentes partes o elementos de la máquina deben poder resistir a lo largo del tiempo los esfuerzos. Sin embargo, no se asegura la vida infinita del equipo. Por ello, el fabricante indicará en las instrucciones los tipos y la frecuencia de las inspecciones y mantenimientos necesarios por motivos de seguridad. En su caso,

señalará los elementos sometidos a desgaste, así como los criterios para su sustitución.

Aristas agudas o cortantes

No deberán existir aristas agudas o cortantes en la máquina o sus componentes que puedan producir heridas.

3.3.3 Declaración "CE" de conformidad

La firma de la declaración "CE" de conformidad autoriza al fabricante o a su representante establecido en la Comunidad, a colocar en la máquina el marcado "CE".

Para poder colocar dicha certificación, deberá presentarse un expediente técnico de construcción constituido por:

- El plano de conjunto de la máquina.
- Los planos detallados y completos.

El fabricante deberá efectuar las investigaciones y las pruebas necesarias en lo referente a los componentes, los accesorios o la máquina en su totalidad para poder asegurar que el conjunto, por su diseño y fabricación, puede montarse y ser puesta en servicio con seguridad.

3.3.4 Examen "CE" de tipo

El examen "CE" de tipo es el procedimiento por el que un Organismo de control comprueba y certifica que el modelo de una máquina cumple las disposiciones correspondientes del presente Real Decreto.

El fabricante, o su representante legalmente establecido en la Comunidad, presentarán la solicitud de examen "CE" de tipo ante un único Organismo de control para un modelo de máquina.

La solicitud incluirá:

- El nombre y la dirección del fabricante o de su representante legalmente establecido en la Comunidad y el lugar de fabricación de la máquina.
- Un expediente técnico de fabricación de la máquina.

El Organismo de control procederá al examen "CE" de tipo según las normas que se exponen a continuación:

- Fabricación de acuerdo con el expediente técnico de fabricación, con garantías de seguridad en las condiciones de servicio previstas.
- Si se hubiese hecho uso de normas, comprobará si éstas han sido utilizadas correctamente.
- Efectuará los exámenes y ensayos apropiados para comprobar que la máquina cumple los correspondientes requisitos esenciales de seguridad y de salud.

ANEXO II. ESTUDIO DE CALIDAD EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN Y MONTAJE

1.Introducción

El control de calidad, permite verificar que los productos o servicios ofrecidos reúnen las condiciones necesarias para una correcta utilización de los mismos, de acuerdo a lo ofrecido.

Para controlar la calidad, se utilizan una serie de herramientas y procesos, que permiten medir el grado de conformidad del producto, verificando que el cliente quede satisfecho.

Si durante la etapa de control se verifican errores, deberán corregirse. Es por esta razón que el control debe realizarse lo antes posible, incluso durante el proceso de fabricación y montaje.

El fabricante proveerá todos los procedimientos de control de calidad que considere necesarios y que establezcan las especificaciones de proyecto, con el fin de asegurar que todo el trabajo sea ejecutado de acuerdo con las especificaciones de este Reglamento.

2.Control de calidad de la fabricación

En esta fase, deben realizarse las siguientes tareas:

- Comprobar la conformidad del producto con respecto a las especificaciones de diseño del mismo.
- Identificar las causas de dispersión respecto de la capacidad de la máquina de manera que puedan establecerse los métodos de corrección oportunos.

3.Control de calidad de la documentación del montaje

Para esta última fase, deberán proporcionarse:

- Planos de montaje: deben indicar de manera precisa la posición y movimientos de las piezas durante el proceso de montaje.

Un plan de puntos de inspección que deben ser corroborados durante el montaje, indicando los elementos a los que debe aplicarse ese control.

PRESUPUESTO

1. DISTRIBUCIÓN DEL PRESUPUESTO

Para facilitar la lectura del presupuesto y la identificación de componentes, se ha dividido el mismo atendiendo a la tipología del componente presupuestado. De este modo, se establecen las siguientes categorías:

- Componentes y dispositivos neumáticos.
- Componentes y dispositivos electrónicos: se corresponde con todos los equipos de control (placa Arduino, contactores, relés...) y de medida (detectores de presión, detectores de proximidad...)
- Útiles de ensayo: se corresponde con el coste fraccionado de:
 - o Materia prima.
 - o Coste de mecanizado.
 - o Coste de los componentes normalizados de las uniones atornilladas.
- Coste de mano de obra directa
- Coste de mano de obra indirecta

1.1 COMPONENTES Y DISPOSITIVOS NEUMÁTICOS

A continuación se recoge el coste y la cuantía de los dispositivos necesario para el montaje del circuito neumático.

COMPONENTES NEUMÁTICOS				
Marca	Cantidad	Elemento	Coste unitario	Coste total
SMC	1	Cilindro lateral CP96SDB32-200C	77,82 €	77,82 €
SMC	1	Cilindro superior CP96SDB50-400C	168,91 €	168,91 €
MAC	1	Marcador de micropercusión	1.026,10 €	1.026,10 €
Festo	1	Depósito 20L	571,07 €	571,07 €
SMC	1	Unidad de mantenimiento	92,77 €	92,77 €
Norgren	1	Parada de emergencia, válvula 3/2	113,00 €	113,00 €
SMC	2	Electroválvula 2/2 accionada eléctricamente, retorno por muelle	45,65 €	91,30 €
Parker	2	Electroválvula 3/2 accionada eléctricamente, retorno por muelle	34,26 €	68,52 €

SMC	1	Válvula 3/2 accionada por pulsador, retorno solenoide	64,33 €	64,33 €
Festo	1	Válvula 3/2 accionada por pulsador, retorno por muelle	59,68 €	59,68 €
SMC	2	Electroválvula biestable 5/3 solenoide solenoide	83,85 €	167,70 €
Festo	1	Electroválvula biestable 5/3 solenoide resorte	48,08 €	48,08 €
SMC	1	Válvula selectora OR	36,50 €	36,50 €
Festo	1	Regulador de presión	44,47 €	44,47 €
SMC	2	Racor 3/8"	3,44 €	6,88 €
SMC	4	Racor 1/4"	2,31 €	9,24 €
SMC	34	Racor 1/8"	1,98 €	67,32 €
SMC	3	Conexión 3 puertos de salida	6,11 €	18,33 €
RS Pro	1	Manguera de aire, 30m, 4mm	8,73 €	8,73 €
Honeywell	1	Sensor de presión manométrica 0-10bar, 8-30 V	107,15 €	107,15 €

Total	2.847,90 €
-------	------------

El coste de los componentes neumáticos asciende a dos mil ochocientos cuarenta y siete con noventa euros.

1.2 DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS Y DE CONTROL

A continuación se recoge el coste y la cuantía de los dispositivos necesario para el realizar el control automatizado del circuito electro neumático.

COMPONENTES ELECTRÓNICOS Y DE CONTROL				
Marca	Cantidad	Elemento	Coste unitario	Coste total
ARDUINO	1	Arduino Mega 2560 Rev 3	32,99 €	32,99 €
ST Microelectronics	1	Módulo sensor de presión MPS20N0040D-S	3,94 €	3,94 €
Seedstudio	1	Display LCD	15,75 €	15,75 €
Pulsatek	4	Sensor magnético Red Switch	4,46 €	17,84 €
	1	Elementos de conexión: cables, relés, contactores...	25,00 €	25,00 €

Total	95,52 €
-------	---------

El coste de los componentes electrónicos y de control asciende a noventa y cinco con cincuenta y dos euros.

1.3 ÚTILES DE ENSAYO

A continuación se recoge el coste de los distintos componentes de los útiles de manera escalonada.

MATERIAS PRIMAS ÚTIL CILINDRO LATERAL			
Material	Cantidad (kg)	€/kg	Subtotal
Acero 1114	0,152	1	0,15 €

Total	0,15 €
-------	--------

El coste del acero mecanizable del útil lateral (tapón lateral) asciende a cero con quince euros.

MATERIAS PRIMAS ÚTIL CILINDRO SUPERIOR			
Material	Cantidad (kg)	€/kg	Subtotal
Acero 1114	5,523	1	5,52 €

Total	5,52 €
-------	--------

El coste de del acero mecanizable del útil superior asciende a cinco con cincuenta y dos euros.

MECANIZADO ÚTIL LATERAL (TAPÓN LATERAL)						
Cantidad	Pieza	Proceso	€/h	Horas	Coste unitario	Subtotal
1	Tapón lateral	Torneado	46	0,6	27,60 €	27,60 €

Total	27,60 €
-------	---------

El coste de mecanizado del tapón lateral asciende a veintisiete con sesenta euros.

MECANIZADO ÚTIL SUPERIOR						
Cantidad	Pieza	Proceso	€/h	Horas	Coste unitario	Subtotal
4	Poka Yoke	Torneado	46	0,5	23,00 €	92,00 €
1	Util sujeción superior	Torneado	46	0,8	36,80 €	36,80 €
		Fresado	46	0,8	36,80 €	36,80 €
1	Base	Corte por láser	100	0,2	20,00 €	20,00 €
		Fresado	46	1	46,00 €	46,00 €
1	Eje hembra	Torneado	46	0,4	18,40 €	18,40 €

Total	250,00 €
-------	----------

El coste de mecanizado del tapón lateral asciende a doscientos cincuenta euros.

TORNILLERÍA ÚTIL SUPERIOR					
Cantidad	Referencia	Descripción	Calidad	Coste unitario	Subtotal
4	ISO 4762 - M10 x 30	Tornillo ciclíndrico con hexágono interior	10.9	0,84 €	3,38 €
6	ISO 4762 - M6 x 30	Tornillo ciclíndrico con hexágono interior	10,9	0,33 €	1,99 €

Total	5,37 €
-------	--------

El coste en tornillería del útil superior asciende a cinco con treinta y siete euros

ÚTIL SUPERIOR			
Cantidad	Concepto	Coste unitario	Subtotal
1	Materias primas	5,52 €	5,52 €
1	Mecanizado	250,00 €	250,00 €
1	Tornillería	5,37 €	5,37 €

Total	260,89 €
-------	----------

El coste total del útil superior asciende a doscientos sesenta con ochenta y nueve euros.

ÚTIL LATERAL			
Cantidad	Concepto	Coste unitario	Subtotal
1	Materias primas	0,15 €	0,15 €
1	Mecanizado	27,60 €	27,60 €
Total			27,75 €

El coste total del útil superior asciende a veintisiete con setenta y cinco euros.

1.4 MANO DE OBRA DIRECTA

El coste de la mano de obra directa se considerará el 15% del coste de los componentes.

Concepto	Subtotal
Componentes neumáticos	2.847,90 €
Componentes electrónicos	95,52 €
Útil superior	260,89 €
Útil lateral	27,75 €
Total	3.232,06 €
MANO DE OBRA DIRECTA	484,81 €

1.5 MANO DE OBRA INDIRECTA

El coste de la mano de obra indirecta se considerará el 10% del coste de la mano de obra directa.

Concepto	%	Subtotal
Mano de obra directa		484,81 €
MANO DE OBRA INDIRECTA	10	48,48 €

1.6 PRESUPUESTO GENERAL

PRESUPUESTO GENERAL		
Concepto	%	Subtotal
Componentes neumáticos		2.847,90 €
Componentes electrónicos		95,52 €
Útil superior		260,89 €
Útil lateral		27,75 €
Mano de obra directa		481,81 €
Mano de obra indirecta		48,48 €
TOTAL COSTE DE FABRICACIÓN		3.762,35 €
MARGEN DE BENEFICIO INDUSTRIAL	15	564,35 €
IVA	21	908,61 €
TOTAL PRECIO VENTA		5.235,31 €

El coste total del proyecto es de cinco mil doscientos treinta y cinco con treinta y un euros.

RELACIÓN DE FIGURAS Y TABLAS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Principales defectos superficiales y volumétricos	8
Tabla 3.2 Ventajas y desventajas del método de inspección visual	10
Tabla 3.3 Ventajas y desventajas del método de líquidos penetrantes	13
Tabla 3.4 Ventajas y desventajas del método de partículas magnéticas	15
Tabla 3.5 Ventajas y desventajas de la termografía infrarroja.....	21
Tabla 3.6 Ventajas y desventajas de la inspección por corrientes inducidas	23
Tabla 3.7 Ventajas y desventajas de la radiografía industrial	25
Tabla 3.8 Detección de pulsos en función de la posición del cabezal	28
Tabla 3.9 Ventajas y desventajas de los ultrasonidos.....	30
Tabla 3.10 Propiedades y condiciones que favorecen la generación de emisiones acústicas.....	31
Tabla 3.11 Comparativa entre el método de EA y los MND.....	32
Tabla 3.12 Ventajas y desventajas de las emisiones acústicas	32
Tabla 3.13 Ventajas y desventajas de la resonancia acústica	35
Tabla 3.14 Calidad del aire según ISO8573-1:2010 [43]	41
Tabla 3.15 Nomenclatura en la identificación de la clase de aire.....	42
Tabla 3.16. Cantidad de contaminantes que atraviesan un circuito neumático por la acción de un compresor con una capacidad de 1000 m ³ /h y con unas condiciones del aire ambiente de 25 °C y una humedad relativa de 60%	44
Tabla 3.17 Presión de descarga en función del número de etapas de compresión	47
Tabla 3.18 Ventajas y desventajas de los compresores de pistón	48
Tabla 3.19 Prestaciones habituales de los compresores de tornillo.....	50
Tabla 3.20 Ventajas y desventajas de los compresores de tornillo	50
Tabla 3.21 Prestaciones de los compresores rotativos de paletas	51
Tabla 3.22 Ventajas y desventajas de los compresores rotativos de paletas	51
Tabla 3.23 Ventajas y desventajas de los compresores Scroll	53
Tabla 3.24 Ventajas y desventajas de los compresores Scroll	53
Tabla 3.25 Prestaciones máximas de los compresores tipo Roots	54
Tabla 3.26 Ventajas y desventajas de los compresores centrífugos.....	55
Tabla 3.27 Eficiencia y tamaño de partículas retenidas en las diferentes fases de filtrado	58
Tabla 3.28 Eliminación de contaminantes según el tipo de filtro [42]	58

Tabla 3.29 Elementos instalación figura 3-61.....	61
Tabla 3.30 Tipos de actuadores neumáticos.....	71
Tabla 3.31 Ventajas y desventajas de los cilindros de simple efecto	73
Tabla 3.32 Numeración de las vías de una válvula según el tipo de conexión ...	81
Tabla 3.33. Válvulas distribuidoras más habituales	81
Tabla 3.34 Características de los tipos de fotocélulas principales	93
Tabla 3.35. Leyes de los gases	99
Tabla 3.36. Longitud de tubería equivalente de accesorios según el diámetro interior de la tubería. Orden de 26 de septiembre de 1986 por la que se aprueba la Norma Tecnológica de la Edificación NTE-IGA: «Instalaciones de gas. Aire comprimido» [67]	105
Tabla 3.37. Determinación diámetro nominal. Orden de 26 de septiembre de 1986 por la que se aprueba la Norma Tecnológica de la Edificación NTE-IGA: «Instalaciones de gas. Aire comprimido» [67]	110
Tabla 3.38. Determinación coeficiente dP. Orden de 26 de septiembre de 1986 por la que se aprueba la Norma Tecnológica de la Edificación NTE-IGA: «Instalaciones de gas. Aire comprimido» [67]	111
Tabla 3.39. Identificación elementos según figura 3-166.....	122
Tabla 3.40. Identificación elementos según figura 3-167.....	123
Tabla 4.1 Componentes circuito neumático según figura 4-16.....	136
Tabla 4.2. Características de la placa Arduino Mega 2560 R3	139
Tabla 4.3 Características técnicas módulo sensor de presión MPS20N0040D-S140	
Tabla 4.4 Características técnicas display LCD	140
Tabla 4.5 Características técnicas sensor magnético red switch.....	141
Tabla 4.6 Tiempos del ensayo de estanqueidad.....	142
Tabla 4.7 Mensajes de error en pantalla, causa y procedimiento de actuación	146

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3-1. Medición con micrómetro [4].....	9
Figura 3-2. Microscopio estereoscópico [2].....	9
Figura 3-3. Visión artificial. Control productivo por cámaras [1]	10
Figura 3-4. Inspección visual remota. Control álabes turbina con videoscopio [3]	10
Figura 3-5. Revelado de grietas mediante líquidos penetrantes [6].....	11
Figura 3-6. Operaciones básicas para la inspección con líquidos penetrantes [14]	12
Figura 3-7. Deposiciones de polvo metálico en la superficie [9].....	13
Figura 3-8. Flujo magnético a través de una soldadura agrietada [9].....	13
Figura 3-9. Alteración de las líneas de campo magnético antes diferentes discontinuidades [14]	14
Figura 3-10. Inspección utilizando un yugo magnético. [9].....	15
Figura 3-11. Inspección utilizando una bobina. [9].....	15
Figura 3-12. Configuración de un sistema termográfico para ensayos de termografía activa [22].....	17
Figura 3-13. Configuración típica de la termografía lock-in [12]	18
Figura 3-14. Arriba a la izquierda: fotografía de la zona inspeccionada. Arriba, probeta de fibra de carbono de 4 mm de espesor con delaminaciones producidas a 0.95 mm (A), 1.25 mm (B) y 1.55 mm (C). [12].....	19
Figura 3-15. Pletina de aluminio. Fotografía y termograma visto desde la cara plana sin agujeros. [12].....	20
Figura 3-16. Termograma de una pieza de aluminio de una aeronave para dos tiempos de enfriamiento diferentes. [12]	21
Figura 3-17. Principio físico del ensayo por corrientes inducidas [13].....	22
Figura 3-18. Detección de una grieta en un tren de aterrizaje utilizando el sistema de inspección radiográfica [23]	24
Figura 3-19. Esquema representativo de la formación de imágenes en una placa por radiografía industrial [14].....	24
Figura 3-20. Esquema de un cabezal ultrasónico [15]	26
Figura 3-21. Componentes de un sistema de ensayo por ultrasonidos [16].....	26
Figura 3-22. Ejemplo ilustrativo detección de defectos mediante el procedimiento pulso-eco. [15].....	28

Figura 3-23. Visualización en procedimiento pulso-eco con fisura. [15]	29
Figura 3-24. Visualización en procedimiento pulso eco. [15]	29
Figura 3-25. Búsqueda de fisuras en control de calidad de engranajes. [15]	29
Figura 3-26. Búsqueda de fisuras en materiales compuestos. [15]	29
Figura 3-27. Esquema que muestra el principio básico de las emisiones acústicas [14]	31
Figura 3-28. Función Hann (izquierda) frente a su respuesta a la frecuencia [21]	33
Figura 3-29. Espectro de frecuencia de una pieza con defectos frente a la pieza de referencia (sin defectos). [19]	34
Figura 3-30. Procedimiento operativo de una prueba hidrostática [28].....	36
Figura 3-31. Colapso de una red de almacenamiento y transporte de fluido durante una prueba neumática [27]	37
Figura 3-32. Fundamento de un espectrómetro de masas [31]	39
Figura 3-33. % de HR frente a temperatura ambiente del aire [44]	42
Figura 3-34. La acción de comprimir aire atmosférico a 7 bar crea un incremento del 800% en la concentración de contaminantes [44]	44
Figura 3-35. Clasificación de los compresores [38]	45
Figura 3-37. Fases de funcionamiento de un compresor de pistón de una etapa [32]	46
Figura 3-36. Compresor de pistón de dos etapas [32].....	46
Figura 3-38. Influencia de la presión de admisión sobre el rendimiento volumétrico y el gasto másico ideal supuesta constante la presión de escape [34].....	47
Figura 3-39. Rendimientos reales e ideales de un compresor de una etapa en función de su relación de compresión [34]	47
Figura 3-40. Tornillos de un compresor helicoidal de dos rotores [34].....	49
Figura 3-41. Compresor helicoidal de rotor único [34]	49
Figura 3-42. Funcionamiento del compresor helicoidal de rotor único [34].....	49
Figura 3-43. Flujo de aire un compresor rotativo de paletas [53]	51
Figura 3-44. Elementos compresor rotativo de paletas [36].....	51
Figura 3-45. Vista del conjunto árbol motor-rotor del compresor Scroll, y conjunto espiral móvil-eje del motor [34].....	52
Figura 3-46. Volutas fija y móvil [34]	52
Figura 3-47. Etapas de funcionamiento del compresor Scroll [34]	53

Figura 3-48. Etapas de funcionamiento del compresor Roots de rotores [54] bilobulares	53
Figura 3-49. Componentes de un compresor centrífugo radial [55].....	54
Figura 3-50. Flujo de aire a través de un compresor centrífugo radial [55]	54
Figura 3-51. Compresor centrífugo axial [56]	55
Figura 3-52. Flujo de aire a través de un compresor centrífugo axial [52]	55
Figura 3-53. Instalación convencional de generación y tratamiento de aire comprimido [49].....	56
Figura 3-54. Sistema básico de un depósito de aire a presión [49]	57
Figura 3-55. Retención de partículas sólidas en elementos filtrantes [49].....	58
Figura 3-56. Flujo de aire a través de un filtro de aire estándar [49]	59
Figura 3-57. Elementos de un filtro de aire estándar [42]	59
Figura 3-58. Flujo de aire a través de un filtro submicrónico coalescente [49] .	60
Figura 3-59. Elementos de un filtro submicrónico coalescente [42].....	60
Figura 3-60. Elementos de un filtro submicrónico con carbón activo [42]	61
Figura 3-61. Instalación característica de filtros submicrónicos [42]	61
Figura 3-62. Comportamiento material absorbente frente a material adsorbente [45]	62
Figura 3-63. Filtro secador por absorción [45]	62
Figura 3-64. Secador por adsorción con aporte de calor [45].....	63
Figura 3-65. Secador por adsorción sin aporte de calor [45].....	63
Figura 3-66. Filtro secador frigorífico [45]	64
Figura 3-67. Flujo de entrada y salida del aire [65]	65
Figura 3-68. Filtro secador de membrana [49].....	65
Figura 3-69. Detalle B. Flujo a través de las membranas del aire desviado en la tobera [65]	65
Figura 3-70. Detalle A. Reflujo del aire de barrido a través de la tobera E [65] 65	
Figura 3-71. Selección del filtro secador en función de la calidad de aire requerida y el caudal de trabajo necesario [46].....	66
Figura 3-72. Componentes de un lubricador [42]	67
Figura 3-73. Efecto Venturi [49]	67
Figura 3-74. Representación neumática de una unidad de mantenimiento según DIN ISO 1219-1, 03/96	68
Figura 3-75. Unidad de mantenimiento [45]	68
Figura 3-77. Disposición habitual de una línea de distribución de aire [49]	69

Figura 3-78. Representación neumática conexasión de tubería en red abierta [45]	70
Figura 3-79. Conexasión de tubería en red abierta [45]	70
Figura 3-80. Representación neumática conexasión de tubería en red cerrada [45]	70
Figura 3-81. Conexasión de tubería en red cerrada [45]	70
Figura 3-82. Representación neumática de tuberías en red mixta [45].....	71
Figura 3-83. Conexasión de tubería en red mixta [45]	71
Figura 3-84. Componentes de un cilindro de simple efecto recuperado por resorte (izquierda) y simbología según DIN ISO 1219-1, 03/96 (derecha) [57].....	72
Figura 3-85. Cilindro de simple efecto sin muelle (izquierda) y simbología según DIN ISO 1219-1, 03/96 (derecha) [49].....	72
Figura 3-86. Componentes de un cilindro de doble efecto [58].....	73
Figura 3-87. Cilindro de doble efecto sin amortiguación, simbología según DIN ISO 1219-1, 03/96 [49]	73
Figura 3-88. Cilindro de doble efecto con amortiguación, simbología según DIN ISO 1219-1, 03/96 [49].....	74
Figura 3-89. Cilindro de doble efecto con amortiguación regulable, simbología según DIN ISO 1219-1, 03/96 [49]	74
Figura 3-90. Circulación del aire a la entrada y a la salida del cilindro	74
Figura 3-91. Cilindro de doble vástago (izquierda) y simbología según DIN ISO 1219-1, 03/96 (derecha)	75
Figura 3-92. Cilindro tándem y simbología según DIN ISO 1219-1, 03/96	75
Figura 3-93. Cilindro compacto de doble efecto, simbología según DIN ISO 1219-1, 03/96 [49]	76
Figura 3-94. Cilindro compacto de simple efecto, simbología según DIN ISO 1219-1, 03/96 [49]	76
Figura 3-95. Fases de movimiento de un cilindro de impacto [49]	76
Figura 3-96. Cilindro telescópico, simbología según DIN ISO 1219-1, 03/96 [49]	77
Figura 3-97. Posiciones intermedias cilindro multiposicional, simbología según DIN ISO 1219-1, 03/96 [45].....	77
Figura 3-98. Cilindro sin vástago de transmisión mecánica, simbología según DIN ISO 1219-1, 03/96 [49].....	78

Figura 3-99. Cilindro sin vástago con arrastre magnético, simbología según DIN ISO 1219-1, 03/96 [49].....	78
Figura 3-100. Componentes de un actuador DRQ [45]	79
Figura 3-101. Actuador DRQ [62].....	79
Figura 3-103. Componentes de un actuador DSM [45].....	79
Figura 3-104. Actuador DSM [45]	79
Figura 3-102. Actuador giratorio, simbología según DIN ISO 1219-1, 03/96 [49]	79
Figura 3-105. Motor neumático de aletas [66]	80
Figura 3-106. Motor neumático, simbología según DIN ISO 1219-1, 03/96 [49]	80
Figura 3-107. Motor neumático de pistones [32].....	80
Figura 3-108. Numeración de las vías de una válvula [49].....	81
Figura 3-109. Accionamientos manuales [49]	81
Figura 3-110. Accionamientos eléctricos [49]	81
Figura 3-111. Accionamientos mecánicos [49].....	81
Figura 3-112. Válvula pilotada de asiento [49].....	82
Figura 3-113. Válvula mecánica de asiento [49].....	82
Figura 3-114. Válvula mecánica de corredera con juntas dinámicas [49].....	83
Figura 3-115. Válvula mecánica de corredera con juntas estáticas [49].....	83
Figura 3-116. Componentes de un regulador de presión [42]	84
Figura 3-117. Aumento de la presión de suministro al apretar el botón de ajuste [49]	84
Figura 3-118. Regulador de caudal uni-direccional [49]	85
Figura 3-119. Regulador de caudal bi-direccional [49]	85
Figura 3-120. Válvula de sobrepresión, simbología según DIN ISO 1219-1, 03/96 [49]	86
Figura 3-121. Esquema válvula de secuencia [32].....	86
Figura 3-122. Válvula de secuencia [62]	86
Figura 3-123. Circuito para el accionamiento temporizado de cilindros [49].....	87
Figura 3-124. Circuito para el accionamiento de cilindros en modo secuencial [49]	87
Figura 3-125. Válvula antirretorno, simbología según DIN ISO 1219-1, 03/96 [49]	88
Figura 3-126. Válvula de escape rápido [49]	89

Figura 3-127. Funcionamiento de una válvula de simultaneidad, simbología según DIN ISO 1219-1, 03/96 [49]	89
Figura 3-128. Funcionamiento de una válvula selectora, simbología según DIN ISO 1219-1, 03/96 [49].....	89
Figura 3-129. Presostato. A: aire a presión. B: membrana. C: pulsador eléctrico [48]	90
Figura 3-130. Captadores de umbral de presión, función lógica NO [49]	91
Figura 3-131. Captadores de umbral de presión, función lógica SI [49].....	91
Figura 3-132. Finales de carrera accionados por rodillo (A) y rodillo abatible (B), simbología según DIN ISO 1219-1, 03/96 [49]	91
Figura 3-133. Fococélula de barrera [47].....	92
Figura 3-134. Fococélula autorreflexiva [47].....	92
Figura 3-135. Fococélula reflexiva con reflector [47].....	92
Figura 3-136. Esquema funcionamiento detectores magnéticos [49].....	93
Figura 3-137. Detectores magnéticos [63]	93
Figura 3-138. Funcionamiento de un captador de fuga [49].....	93
Figura 3-139. Tipologías típicas de captadores de fuga [49]	93
Figura 3-140. Funcionamiento captador de paso, simbología según DIN ISO 1219-1, 03/96 [49]	94
Figura 3-141. Sensor de proximidad óptico (izquierda) frente a Sensor de proximidad inductivo (derecha), simbología según DIN ISO 1219-1, 03/96 [62]	94
Figura 3-143. Amplificador de dos etapas, simbología según DIN ISO 1219-1, 03/96 [49]	95
Figura 3-142. Amplificador de una etapa, simbología según DIN ISO 1219-1, 03/96 [49]	95
Figura 3-144. Contador neumático, simbología según DIN ISO 1219-1 [48]	95
Figura 3-145. Funcionamiento de un temporizador neumático, simbología según DIN ISO 1219-1, 03/96 [32]	96
Figura 3-146. Temporizador con retardo a la conexión-desconexión N.C. Simbología según DIN ISO 1219-1, 03/96 [45].....	97
Figura 3-147. Temporizador con retardo a la desconexión N.C. Simbología según DIN ISO 1219-1, 03/96 [32]	97
Figura 3-148. Temporizador con retardo a la conexión N.A. Simbología según DIN ISO 1219-1, 03/96 [32].....	97

Figura 3-149. Temporizador con retardo a la conexión N.C. Simbología según DIN ISO 1219-1, 03/96 [32].....	97
Figura 3-150. Tubería de sección variable [64]	99
Figura 3-151. Gráfico que relaciona la humedad absoluta del aire a diferentes temperaturas y humedades relativas	100
Figura 3-152. Caso 1: Obtención de la humedad absoluta máxima del aire a las temperaturas de 20 °C y 0 °C	101
Figura 3-153. Cálculo del volumen de acumulación, gráfico de selección rápida [49]	104
Figura 3-154. Diagrama de Moody [49]	106
Figura 3-155. Gráfico para el cálculo de la red de distribución de un circuito neumático [49].....	107
Figura 3-156. Gráfico para el cálculo de la red de distribución de un circuito neumático [49].....	108
Figura 3-157. Distribución de caudales en los ramales finales e intermedios [67]	109
Figura 3-158. Longitudes de pandeo en función del tipo de apoyo [68]	115
Figura 3-159. Componentes principales de un microcontrolador [70]	117
Figura 3-160. Diagrama de pines de Arduino UNO [72].....	118
Figura 3-161. Tipologías de placas Arduino [71].....	119
Figura 3-162. Principio de funcionamiento de un PLC [74]	120
Figura 3-163. PLC Siemens Logo V8 [73]	120
Figura 3-164. Unidad eléctrica e hidráulica del sistema Servotwin [75]	122
Figura 3-165. Situación de la tapa a ensayar en el conjunto [75]	122
Figura 3-166. Componentes del sistema Servotwin [75]	122
Figura 3-167. Circuito hidráulico del sistema Servotwin [75]	123
Figura 3-168. Situación del sistema Servotwin en el sistema de dirección de un camión [75]	124
Figura 4-1. Modelo CAD de la tapa	125
Figura 4-2. Situación de la tapa a ensayar en el conjunto [75].....	125
Figura 4-3. Prueba de control sin referencia	126
Figura 4-4. Prueba de control con referencia	126
Figura 4-5. Ciclo de medición (fases).....	126
Figura 4-6. Montaje básico de un fugómetro.....	128
Figura 4-7. Modelo CAD de la tapa	128

Figura 4-8. Referencias a las partes de la tapa.....	128
Figura 4-9. Sujeción de la tapa mediante los útiles superior y lateral (CAD 3D)	131
Figura 4-10. Útil de sujeción lateral (representación CAD 3D).....	131
Figura 4-11. Útil de sujeción superior (representación CAD 3D)	131
Figura 4-12. Tapón de sellado (CAD 3D)	132
Figura 4-13. Poka Yoke (CAD 3D)	132
Figura 4-14. Vista en explosión útil de sujeción superior	132
Figura 4-15. Esquema de fuerzas en el conjunto Tapa-Tapón de sellado	133
Figura 4-16. Esquema del circuito neumático del fugómetro	137
Figura 4-17. Esquema del circuito electro neumático del fugómetro.....	138
Figura 4-18. Placa Arduino Mega 2560 R3	139
Figura 4-19. Sensor de presión MPS20N0040D-S	140
Figura 4-20. Sensor magnético Red Switch.....	141
Figura 4-21. Geometría de la tapa.....	141
Figura 4-22. Estructura de la máquina y situación de elementos, representación CAD 3D	149
Figura 4-23. Estructura de la máquina y situación de elementos, vista en perfil	150
Figura 4-24. Estructura de la máquina y situación de elementos, vista en alzado	150

BIBLIOGRAFÍA

3.1 ESTUDIO DEL ESTADO DEL ARTE

3.1 ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

- [1] Beneficios de la visión artificial en la automatización de procesos. <http://www.bcnvision.es/blog-vision-artificial/>
- [2] S9 Series – Product: Leica Microsystems. www.leica-microsystems.com/products/
- [3] Videoscopio GE Mentor iQ. www.panatec-industria.com/videoscopio-mentor.php
- [4] Direct Industry. www.directindustry.es/
- [5] Ensayos no Destructivos. Mantenimiento y Controles Industriales. www.mantenimientoycontrolesindustriales.es/tl/End.htm
- [6] Ensayos no Destructivos – Inspección Industrial. www.tuv-nord.com/es/es/inspeccion-industrial/ensayos-no-destructivos/
- [7] Pruebas no destructivas para conocer la discontinuidad en los materiales. www.gestiopolis.com/pruebas-no-destructivas-para-conocer-la-discontinuidad-en-los-materiales/
- [8] PANATEC-INDUSTRIA. Videoscopio GE Mentor iQ. www.panatec-industria.com/videoscopio-mentor.php
- [9] Ensayos no Destructivos |Applus+. www.applus.com/es/
- [10] Ensayos no destructivos: Líquidos penetrantes. www.raquelserrano.com/wpcontent/files/ciencias_t8.3_liq_penetrantes.pdf
- [11] Ensayos no Destructivos y Laboratorio Metalúrgico. Ensayos por partículas magnéticas |SCI. www.scisa.es/
- [12] Ensayos no Destructivos. Termografía Infrarroja. www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/11149-Termografia-infrarroja-ensayo-no-destructivo-deteccion-defectos-componentes-aerospaciales.html
- [13] Ensayos no Destructivos en uniones soldadas. www.feandalucia.ccoo.es/andalucia/docu/p5sd8259.pdf
- [14] FRANCISCO J. CARRIÓN VIRAMONTES, MARÍA GUADALUPE LOMELÍ GONZÁLEZ, JUAN ANTONIO QUINTANA RODRÍGUEZ, MIGUEL MARTÍNEZ MADRID. Evaluación no Destructiva de Materiales Estructurales y Puentes. Publicación técnica N° 231 (2003). www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt231.pdf#page=42
- [15] RIMOLDI CLAUDIO, MARIANO MUNDO LUIS. Ensayo no Destructivo por Método de Ultrasonidos. Departamento de aeronáutica. www.aero.ing.unlp.edu.ar/catedras/archivos/Apunte%20Ultrasonido%202012.pdf
- [16] Ultrasonidos. www.endicsa.com.ar
- [17] JUAN. A. LARA MAGALLANES., MARTÍN. SÁNCHEZ MTZ. Cooperación Mexicana de Investigación en Materiales S.A. de C.V. Emisión Acústica: Método de Inspección no Destructivo para la Evaluación de Componentes Soldados. www.geocities.ws/pndmx/articulos/AE_soldadura_2001.pdf
- [18] Efecto Barkhausen. www.wikipedia.org

-
- [19] Resonancia Acústica | Afensis. www.afensis.com.ar/tecnica-ndt/
 - [20] Resonancia Acústica. Instrumentación y Ensayos. Sistemas para Ensayos. Ensayos de Materiales no Destructivos. www.grupoalava.com/ingenieros/
 - [21] Funciones Matemáticas (Ventana). Función Hann. [www.wikiwand.com/es/Ventana_\(funci%C3%B3n\)#/Hann](http://www.wikiwand.com/es/Ventana_(funci%C3%B3n)#/Hann)
 - [22] Termografía Activa. www.camarastermograficas.es/
 - [23] END Wiki de Rayos X. www.vidisco.com/

3.1.4 Técnicas de Inspección de la Hermeticidad

- [24] Pruebas no Destructivas de Hermeticidad. Blog Universidad Tecnológica de Pereira. www.blog.utp.edu.co/metalografia/
- [25] OSINERGMIN. ORGANISMO SUPERVISOR DE LA INVERSIÓN EN ENERGÍA Y MINERÍA. Mejores Prácticas aplicables a pruebas hidrostáticas en red de tuberías principales de acero, del sistema contra incendio en Plantas Envasadoras de GLP. www.osinergmin.gob.pe/
- [26] ECOGÁS. Pruebas neumáticas de resistencia y hermeticidad en Líneas de Transmisión y Distribución. E.T. N°: 05/00 Rev. N° 0 (Noviembre 2004). www.ecogas.com.ar/
- [27] ARISTEGUI MAQUINARIA. Pruebas Hidrostáticas y de Hermeticidad en la Puesta en Servicio de Tuberías de PVC. www.aristegui.info/
- [28] MUSEO NACIONAL DE CIENCIAS NATURALES. Espectrometría de Masas. www.mncn.csic.es/
- [29] Mensaje para el Personal de Operaciones y Mantenimiento. ACUTECH. www.sache.org/beacon/files/2013/09/es/read/2013-09-Beacon-Spanish-s.pdf
- [30] Prueba Hidrostática. IMA Ingeniería. www.imaingenieria.com
- [31] Magnetismo. Fundamentos Físicos de la Espectrometría de Masas. www2.montes.upm.es/dptos/digfa/cfisica/magnet/espectrometro.html

3.2 NEUMÁTICA INDUSTRIAL

- [32] Automaticación: Neumática. www.industrial-automatica.blogspot.com/
- [33] Introducción a la Neumática. Curso 021. AUTOMACIÓN MICROMECAÁNICA. www.microautomacion.com/
- [34] FERNÁNDEZ DÍEZ, PEDRO. Compresores. Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética. Universidad de Cantabria.
- [35] Compresores de pistón. www.monografias.com
- [36] CORONEL TORO, JUAN F. Tipologías y Clasificación de Compresores- Departamento de Ingeniería Energética. Universidad de Sevilla. www.campusvirtual.edu.uy/web/
- [37] SMC International Training. Pneumate – 200. www.isa.uniovi.es/docencia/IngdeAutom/transparencias/SMC-Curso%20Autoaprendizaje.pdf
- [38] Diferentes Tipos de Compresores. www.mundocompresor.com

-
- [39] Advantages and Disadvantages of Each Compressor Type. Energy Unibversity by Schneider Electric. www.schneideruniversities.com/energy-university/
- [40] Compresores Neumáticos. www.berenicepotrero.blogspot.com/
- [41] Soluciones para la Filtración de Aire Comprimido. Parker. www.parker.com
- [42] Tratamiento Completo de Aire Comprimido. WILKINSON CORPORATION. www.elion.es/descargar/catalogos/catalogos-representadas/catalogos-pdf/wilkersonG.pdf
- [43] Norma ISO 8573-1: 2010
- [44] Guía sobre la Calidad del Aire. www.irastur.com/
- [45] Curso de Neumática – Manuales y Diagramas. www.calameo.download/
- [46] Secadores de membranas Serie KMM. www.kaeser.es/
- [47] ¿Qué tipos de sensores fotoeléctricos existen? www.contaval.es/
- [48] Automatización Neumática. 7. Detectores neumáticos. www.blinklearning.com/home
- [49] RENEDO, CARLOS J., FERNÁNDEZ DIEGO, INMACULADA, CARCEDO HAYA, JUAN, ORTIZ FERNÁNDEZ, FÉLIX. Sistemas y Máquinas Fluido Mecánicas. Apuntes. Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética. Universidad de Cantabria
- [50] Amplificadores de Presión de Aire. www.haskel-es.com
- [51] Propiedades del Aire. Psau_neu. www.cmfp-llodio.com/
- [52] Tema 2. Producción y Almacenamiento del Aire Comprimido. ETI Tudela. www.eti-paginaweb.blogspot.com/
- [53] El compresor. www.reielectro.wordpress.com/2013/05/06/el-compresor
- [54] Positive Displacement Blowers Ontario Canada. www.comprevac.com/
- [55] MAHLE Aftermarket Europe. Turbocompresores de gases. www.mahle-aftermarket.com/eu/es/products/turbocompresores-de-gases.
- [56] 3D animation of axial flow compressor working principle. www.youtube.com
- [57] Cilindros Neumáticos. www.wikifab.dimf.etsii.upm.es
- [58] Fabricación Asistida por Ordenador. Tema 13. Actuadores de los Sistemas Neumáticos. Universidad del País Vasco. www.ehu.eus
- [59] Automatización. Norma UNE-101 149 86 (ISO 1219 1 e ISO 1219 2). www.slideshare.net
- [60] 00007es. TECNOLOGÍA ELECTROVÁLVULAS Y VÁLVULAS Símbolos normalizados conforme a la norma ISO 1219. www.asco.com/en-gb
- [61] Simbología Neumática. Apéndice. www.renatosarce.files.wordpress.com/2011/11/apendices.pdf
- [62] Festo. Actuadores Neumáticos. www.festo.com
- [63] Di-Soric. Sensores para cilindros. www.di-soric.com
- [64] Ecuación de Continuidad. www.fisicados103.wixsite.com/fisica/blank-fryoq
- [65] DRYPOINT M PLUS - secador de membrana. www.youtube.com
- [66] GORRINDO OSÉS, JAVIER. Adaptación de un Motor Neumático a un Coche de Golf (24 de junio de 2010)
- [67] Norma Tecnológica de la Edificación NTE-IGA: «Instalaciones de gas. Aire comprimido» (26 de septiembre de 1986)
-

[68] Proyectos de estructuras de acero y madera.
www.proyectoseam.blogspot.com

[69] SANTO DOMINGO SANTILLANA, JAIME. Tema 10- Pandeo. Universidad de Salamanca. www.ocw.usal.es

3.3 CONTROL AUTOMATIZADO DE CIRCUITOS

[70] Aprendiendo Arduino. www.aprendiendoarduino.wordpress.com

[71] ¿Qué es Arduino? www.xataka.com

[72] Conociendo la placa Arduino Uno Rev. 3. Blog de programación de Arduino. www.miarduinounotieneunblog.blogspot.com/

[73] Que es un PLC siemens logo. www.codigoelectronica.com

[74] MONOGRÁFICO: Lenguajes de programación – Principios básicos de PLC
www.rekursostic.educacion.es

3.4 SISTEMA SERVOTWIN

[75] ZF Servotwin The Electro-hydraulic Steering System for Commercial Vehicles. www.docplayer.net

[76] Electro-hydraulic Steering System Servotwin- Boch Media Service.
www.bosch-presse.de

[77] Un Sistema que mantendrá el camión en el carril. Bosch viene con una solución para los camioneros. www.trans.info

4. REQUISITOS DE DISEÑO

4.1 SELECCIÓN DE LA TÉCNICA END

[78] Manual de utilización ATEQ F520. Version 1.16

4.2 DISEÑO NEUMÁTICO

[79] Hobby Componenets www.hobbycomponents.com

PLIEGO DE CONDICIONES

[80] LÓPEZ GUINEA, ASIER. Proyecto de Diseño y Cálculo del Brazo Articulado de una Pala Excavadora.

PRESUPUESTO

- [81]Rs Componentes www.es.rs-online.com
- [82]Microlog: Tecnología, programación y robótica www.micro-log.com
- [83]Sensores www.didacticaselectronicas.com
- [84]Manufacturers, Suppliers, Exporters & from the world's largest online B2B marketplace. www.spanish.alibaba.com