



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

SEDE LATACUNGA

CARRERA DE INGENIERÍA EN EJECUCIÓN DE ELECTROMECÁNICA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN
BANCO DE CALIBRACIÓN Y PRUEBAS
PARA REALIZAR LAS COMPROBACIONES
FUNCIONALES DE LAS VÁLVULAS
REGULADORAS DE LOS AVIONES KFIR DE
LA FAE**

**PROYECTO PREVIO LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO DE EJECUCIÓN EN
ELECTROMECÁNICA**

CAPT. TEC. AVC. NOVOA TRÁVEZ LUIS EDISON

Latacunga, agosto del 2006

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO
DE CALIBRACIÓN Y PRUEBAS PARA
REALIZAR LAS COMPROBACIONES
FUNCIONALES DE LAS VÁLVULAS
REGULADORAS DE LOS AVIONES KFIR DE
LA FAE

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por el Señor Capt. Téc. Avc. Novoa Trávez Luis Edison, bajo nuestra supervisión.

Ing. Oswaldo Mariño

DIRECTOR DE TESIS

Ing. Marco Singaña

CODIRECTOR DE TESIS

AGRADECIMIENTO

No quisiera especificar un agradecimiento en particular, ya que muchas personas apoyaron a la consecución de este Proyecto, sin embargo quiero expresar mis sentimientos de gratitud a todas y cada una de las personas que apoyaron permanentemente, recalcando la colaboración del personal docente de la ESPE-Latacunga, por esa virtuosa profesión de ser maestro y a todo el personal de la Escuadrilla Accesorios por el apoyo operativo, técnico y humano.

Un especial agradecimiento a mi esposa e hijas por la comprensión, aceptación y apoyo del tiempo invertido en el presente proyecto.

El mayor gracias a Dios, cuya voluntad ha permitido que así sea.

L. Edison Novoa T.
Capitán Técnico de Aviación.

DEDICATORIA

Este proyecto es dedicado a las personas que inculcaron en mi, el mayor de los tesoros: principios, valores, y responsabilidad, cualidades que no únicamente se pueden predicar, sino que han sido manifestadas a través de su ejemplo.....Mis Padres

A mi esposa e hijas, quienes son la razón principal de mi existencia.

L. Edison Novoa T.
Capitán Técnico de Aviación.

ÍNDICE GENERAL

	PAG
1. CAPITULO I GENERALIDADES	
1.1. Introducción.....	1
1.2. Justificación.....	6
1.3. Propósito.....	7
1.4. Objetivos generales.....	7
1.5. Objetivos específicos.....	7
2. CAPITULO II INSTALACIÓN DE AIRE COMPRIMIDO	
2.1. Introducción.....	9
2.2. Composición del aire.....	9
2.3. Ventajas del aire comprimido.....	10
2.4. Desventajas del aire comprimido.....	11
2.5. Propiedades.....	12
2.5.1. Propiedades físicas.....	12
2.5.2. Propiedades químicas.....	13
2.5.3. Impurezas del aire.....	13
2.6. Presión del aire.....	15
2.7. Leyes físicas relativas al aire comprimido.....	17
2.8. Humedad del aire.....	20
2.8.1. Punto de rocío.....	21
2.8.1.1.Procedimiento para determinar el punto de rocío	22
2.8.2. El punto de condensación bajo presión	24
2.8.3. Humedad que retiene el aire comprimido después de la compresión	24
2.9. Producción del aire comprimido	25
2.10. Filtrado del aire	27
2.11. Válvulas reguladoras de presión.....	30
2.12. Unidades de mantenimiento	31
2.13. Distribución del aire comprimido	35
2.14. Pérdida de presión en una red de aire comprimido	38

2.15. Dimensionamiento de las tuberías de la red	40
2.15.1. Cálculo del diámetro de una tubería	40
2.16. Tunerías y conexiones	44
2.17. Uniones	48
3. CAPITULO III DISEÑO DEL BANCO DE PRUEBA	
3.1. Requerimiento del sistema	61
3.2. Selección del filtro de aire	62
3.3. Análisis sobre la humedad del aire	63
3.4. Cálculo del punto de rocío	63
3.5. Producción del aire comprimido	64
3.6. Selección de la unidad de mantenimiento	65
3.7. Selección del diámetro de la tubería	66
3.8. Pérdida de presión en las líneas del banco de prueba	66
3.9. Criterios para la selección del material de la tubería	67
3.10. Esquema neumático	69
3.11. Esquema eléctrico	71
3.12. Diseño de construcción	72
4. CAPITULO IV MONITOREO DE VARIABLES	
4.1. Transductores.....	77
4.1.1. Definición.....	77
4.1.2. Clasificación de las señales.....	77
4.1.3. Características deseables de los transductores.....	78
4.1.4. Clasificación de los transductores según la variable física a medir.....	79
4.1.5. Parámetros de selección de transductores.....	85
4.2. Características de los transductores empleados.....	85
4.3. Interfase.....	88
4.3.1. Instrumentación virtual.....	88
4.3.2. Instrumentos Virtuales versus Instrumentos Tradicionales.....	88
4.3.3. El Software en la Instrumentación Virtual	90
4.4. Arquitectura de los sistemas de adquisición de datos	91
4.5. Selección del hardware	95
4.6. Tarjeta empleada DAQ NI USB-6008 para USB	97
4.7. Programación.....	98

4.7.1. Labview	98
4.7.2. Programa desarrollado.....	100
5. CAPITULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
5.1. Conclusiones.....	107
5.2. Recomendaciones	110

ANEXOS

Anexo “A”	Análisis de esfuerzos
Anexo “B”	Especificaciones de los transductores
Anexo “C”	Especificaciones de la tarjeta de adquisición de datos
Anexo “D”	Especificaciones de los ángulos estructurales.
Anexo “E”	Diagrama de vistas del Banco de Prueba
	Diagrama de vista Frontal del Banco de Prueba
	Esquema Neumático
	Diagrama eléctrico de DC
	Diagrama eléctrico de AC

ÍNDICE DE TABLAS

CAPITULO I

PAG

Tabla 1.1 Costos de reparaciones	5
--	---

CAPITULO II

Tabla 2.1 Componentes del aire	9
Tabla 2.2 Componentes del aire comprimido.....	10
Tabla 2.3 Ventajas de la neumática.....	11
Tabla 2.4 Desventajas del aire comprimido.....	11
Tabla 2.5 Características del aire.....	12
Tabla 2.6 Calidad para la aplicación del aire.....	15
Tabla 2.7 Presión del aire.....	16
Tabla 2.8 Tipos de flujo según el número Reynolds.....	19
Tabla 2.9 Humedad del aire.....	21
Tabla 2.10 Variación del punto de rocío.....	21
Tabla 2.11 Relación presión de saturación y temperatura.....	23
Tabla 2.12 Clasificación de los filtros.....	28
Tabla 2.13. Aplicación de las unidades de mantenimiento.....	34
Tabla 2.14 Pérdidas de presión.....	39
Tabla 2.14 Criterios para elección de tuberías	44

Tabla 2.15 Rugosidad de los materiales.....	45
Tabla 2.16 Características técnicas de tubos de metal y material sintético...	46
Tabla 2.17 Ventajas y desventajas de los diferentes tipos de tuberías.....	47
Tabla 2.18 Comparación de los materiales de tuberías.....	48
Tabla 2.19 Diferentes tipos de uniones de tuberías.....	49
Tabla 2.20 Conexiones de tuberías flexibles.....	54
Tabla 2.21 Aplicaciones de los racores.....	57
Tabla 2.22 Tipos de roscas.....	57
Tabla 2.23 Conversión de roscas Withworth.....	58
CAPITULO III	
Tabla 3.1 Valores de servicio de las válvulas.....	61
Tabla 3.2 Relación presión de saturación y temperatura.....	63
Tabla 3.3 Criterios para selección del material de la tubería.....	67
Tabla 3.4 Características técnicas.....	68
CAPITULO IV	
Tabla 4.1 Señales digitales.....	78
Tabla 4.2 Señales analógicas.....	78
Tabla 4.3 Sensores y métodos de detección ordinarios para la magnitudes mas frecuentes.....	84
Tabla 4.4 Valores de presiones y voltajes.....	102
Tabla 4.5 Valores de presiones y voltajes.....	103

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I	PAG
Figura 1.1.- Portada de ingreso al Ala No. 12.....	2
Figura 1.2.- Banco de Prueba de la Escuadrilla de Accesorios Ala No. 12	4
Figura 1.3.- Avión Kfir de la FAE.....	5
 CAPÍTULO II	
Figura 2.1.-Tipos y tamaño de impurezas más comunes contenidas en el aire.....	14
Figura 2.2.- Ubicación de las diferentes presiones.....	16
Figura 2.3.- Cambio de sección de la tubería.....	18
Figura 2.4.- Diagrama de Mollier.....	23
Figura 2.5.- Contenido de agua en aire comprimido en función de la temperatura y de la presión.....	25
Figura 2.6.- Tipos de Compresores.....	26
Figura 2.7.- Regulador con taladro de escape (a) y sin taladro escape (b)	30
Figura 2.8.- Bloque de una unidad de mantenimiento.....	31
Figura 2.9 Combinaciones de unidades de mantenimiento.....	32
Figura 2.10- Red abierta.....	36

Figura 2.11.- Red cerrada.....	37
Figura 2.12.- Red cerrada con interconexiones.....	38
Figura No. 2.13.- Nomograma para pérdida de presión en tuberías.....	39
Figura 2.14.- Nomograma para el cálculo de tuberías	41
Figura 2.15.- Nomograma longitudes supletorias.....	42
Figura 2.16.- Nomograma para el cálculo de tuberías por cada 10 m de tubería.....	43
Figura 2.17 a) Racor de anillo cortante, b) Racor de anillo cortante y regulado, c) Racor de manguito esférico, d) Racor de anillo opresor.....	49
Figura 2.18 Racores roscados y enchufables.....	56
Figura 2.19 Tramo de una rosca con recubrimiento de teflón.....	59
Figura 2.20.- Diversos métodos para hermetización de roscas.....	60
CAPÍTULO III	
Figura 3.1.- Diagrama de Mollier.....	64
Figura 3.2.- Presión de entrada al banco de prueba.....	66
Figura 3.3.- Presión de entrada al banco de prueba.....	67
Figura 3.4.- Diagrama del banco de prueba.....	69
Figura 3.5.- Diagrama de alimentación de 110 V de AC.....	71
Figura 3.6.- Diagrama de alimentación de voltaje DC.....	72
Figura 3.7.- Banco de prueba neumático.....	73
Figura 3.8.- Gráfico estructural del banco de prueba.....	74
Figura 3.9.- Restricciones aplicadas.....	74
Figura 3.10.- Gráfico del mallado de la estructura.....	75
Figura 3.11.- Gráfico de esfuerzos.....	75
Figura 3.12.- Gráfico de desplazamientos.....	76
CAPÍTULO IV	
Figura 4.1.- Transductores de Presión.....	86

Figura 4.2.- Esquema eléctrico del transductor.....	87
Figura 4.3.- Puente de Wheatstone.....	87
Figura 4.4.- Sistema típico de adquisición de datos.....	91
Figura 4.5.- Tarjeta DAQ.....	95
Figura 4.6.- Tarjeta PAC.....	96
Figura 4.7.- Vista frontal de un PXI.....	96
Figura 4.8.- Osciloscopio, Instrumento de medida.....	96
Figura 4.9.- Tarjeta DAQ NI USB 6008.....	98
Figura 4.10.- Panel frontal del Programa.....	101
Figura 4.11.- Diagrama de bloques del programa.....	101
Figura 4.12.- Panel frontal del SubVI.....	102
Figura 4.13.- Diagrama de bloques del SubVI.....	102
Figura 4.14.- Relación de la presión vs voltaje de salida.....	103
Figura 4.15.- Relación de la presión vs voltaje de salida.....	103
Figura 4.16.- Estructura de Formula.....	104
Figura 4.17.- Relación de la presión vs voltaje de salida.....	105

I GENERALIDADES

1.1.- INTRODUCCIÓN

La alta complejidad que significa el mantener y operar aeronaves, las mismas que han sido construidas aplicando las más altas tecnologías, requiere de la disponibilidad de grandes recursos económicos, materiales y humanos. Es así que la Fuerza Aérea Ecuatoriana al disponer en sus inventarios, aeronaves de combate consideradas de tercera generación; como es el avión “Kfir”; se encuentra empeñada en optimizar los recursos materiales, económicos y humanos que en la actualidad dispone, estos esfuerzos están siempre encaminados a cumplir con los altos estándares de calidad y seguridad, exigidos por las diferentes normas militares y civiles nacionales e internacionales, que regulan las actividades de operación y mantenimiento de las aeronaves y sus componentes.

Una situación importante que se denota en la misión de la FAE, es el de “apoyar al desarrollo socio-económico del país, principalmente en el ámbito aeroespacial”, de aquí la obligación que debe tener cada uno de los miembros de esta Institución y en especial los que laboran en los ámbitos

técnicos, de desarrollar sus capacidades y contribuir al cumplimiento en forma eficaz y eficiente la misión de la FAE.

La Visión de la FAE, orienta sus esfuerzos a lograr ser una Institución moderna, profesional y competitiva, respetada y aceptada por la sociedad y líder en el desarrollo aeroespacial, basado en sus principios y objetivos institucionales de tal forma de obtener un alto grado de alistamiento operativo, que le permita enfrentar con éxito las amenazas externas e internas, que eventualmente pudieran presentarse.¹

La crisis que en la actualidad le afecta al país, no es ajena al sistema logístico que tiene la Fuerza Aérea, pues se evidencia por el escaso presupuesto estatal, poca preparación técnico-militar, carencia de políticas de Estado, falta de infraestructura, reducido abastecimiento de partes y repuestos. En este escenario se desarrollan las actividades de la Fuerza Aérea con sus múltiples problemas.

El Ala de Investigación y Desarrollo No. 12 de la Fuerza Aérea Ecuatoriana; cuya portada de ingreso se muestra en la Fig. 1.1.-; acantonada en la ciudad de Latacunga, Provincia de Cotopaxi, inició su funcionamiento como tal, el 1 de enero de 1988, mediante decreto N° 5, publicado en el Registro Oficial reservado N° 323-S, del 3 de agosto de 1997, en el que se establece la nueva organización del Reparto.

¹ DOCTRINA BÁSICA DE LA FUERZA AÉREA



Figura 1.1.- Portada de ingreso al Ala No. 12

En esta antigua Base, cuya creación se remonta al 10 de mayo de 1929; en el año de 1981, el Comando de la FAE define los estudios para la creación de la Industria Aeronáutica en la Base Aérea Cotopaxi; en mayo de 1985, se crea la Industria Aeronáutica en Latacunga. Con ella se alcanza la autosuficiencia en los trabajos de mantenimiento de las aeronaves de la FAE, constituyéndose en la primera fase del Proyecto Esperanza.

El 15 de junio de 1992, para adquirir la personería jurídica, autonomía operativa y financiera, con patrimonio y fondos propios, se creó la DIAF (Dirección de la Industria Aeronáutica); mediante la Ley No. 154, publicada en el Registro Oficial No. 957, con decreto promulgado por el Presidente, Dr. Rodrigo Borja Cevallos.

El 30 de abril de 1994 se obtiene la calificación de la FAA (Federal Aviation Administration), QDJY013J, en la que se autoriza al CEMFA (Centro de Mantenimiento de la FAE) como estación reparadora internacional en las técnicas de aviones en general, motores y servicios especializados, el 30 de abril de 1995 se amplía la calificación de la FAA, en la que el CEMFA es

autorizado a realizar trabajos adicionales en accesorios y servicios especializados en ensayos no destructivos en todas las técnicas².

Como parte integrante del Ala de Investigación y Desarrollo se encuentra la Escuadrilla de Accesorios, que viene funcionando desde el mes de enero de 1992 y cuya misión es la de “Brindar mantenimiento a nivel de segundo y tercer escalón a las unidades de los sistemas: eléctrico, instrumentos, combustible, hidráulico, trenes de aterrizaje, comunicación y navegación de los aviones de la FAE”.

Esta Escuadrilla dispone de infraestructura, bancos de prueba de propósito general y específico, herramientas especiales y comunes, información técnica y personal debidamente capacitado para realizar actividades como: overhall, inspecciones, reparación, chequeos funcionales y calibraciones de accesorios, de los diferentes sistemas de las aeronaves, es pues en éstas instalaciones donde se pretende que funcione el banco de prueba objeto del presente proyecto. En la Fig. 1.2.- se muestra uno de sus bancos de prueba en uno de sus talleres.



² FUERZA AEREA, Historia Ilustrada de la Fuerza Aérea

Figura 1.2.- Banco de Prueba de la Escuadrilla de Accesorios Ala No. 12

El avión Kfir cuya silueta se muestra en la figura 1.3.- es de fabricación israelí, en su sistema de presurización de cabina y tanques de combustible tiene un total de siete válvulas reguladoras, las mismas que se encargan de regular y mantener constante la presión de la cabina del piloto, tanques de combustible de las alas, tanques ventrales, tanque de vuelo invertido y tanque de liquido hidráulico, las que por su constante uso y operación se reportan y requieren reparación.

La Fuerza Aérea al no disponer en sus inventarios de un banco de prueba neumático específico que permita verificar operacionalmente el funcionamiento de la válvulas reguladoras, luego de realizar trabajos de reparación u overhaul, tiene que necesariamente enviar a la Cía. IAI (Israel Aircraft Industries) para que sean recuperadas, lo que significa egresos de recursos económicos y demoras para obtener las unidades en condiciones de aceptabilidad.



Figura 1.3.- Avión Kfir de la FAE

A continuación en la tabla No 1.1. se muestra de manera rápida el detalle de algunas unidades y costos que la FAE ha cancelado a la Cía. IAI, por la reparación y/o calibración de las válvulas reguladoras en mención.³

TABLA 1.1 COSTOS DE REPARACIONES

P/N	FECHA DE ENVÍO	COSTO USD
B14GD2011	07/10/2001	4.495,00
B14GD2022	18/12/2001	4.495,00
B14GD2020	1999	4.431,00
B14GD2022	15/11/2002	8.360,00
B14GD1041	2000	3.890,00
B14GD1071	2000	3.890,00

1.2.- JUSTIFICACIÓN

- La elaboración y realización del presente proyecto se justifica si se considera que muchas unidades de los aviones de la FAE, tienen que ser enviadas al exterior para su recuperación, lo que lógicamente involucra egresos de recursos económicos para la Institución.
- De la misma forma la presencia de conocimientos científicos que tienen que ser comprendidos, analizados y aplicados, es también justificativo para la elaboración y ejecución del presente proyecto.
- El presente trabajo se constituye en la base para desarrollar nuevos proyectos que involucren la recuperación de otras unidades de aviones que no se los hace localmente.
- Se cuenta con los recursos humanos adecuadamente capacitados para llevar a cabo este proyecto.
- Se continua consolidando la autonomía tecnológica que pretende alcanzar la Fuerza Aérea, reduciendo de esta forma la dependencia de tecnología extranjera a la que nos vemos obligados a mantener. Así

³ FUERZA AEREA, Dpto. Abastecimientos

como se fortalece las capacidades de mantenimiento que brinda la Industria aeronáutica de la FAE.

- A más de emplearse este banco de prueba para realizar los chequeos funcionales de las válvulas reguladoras de presión, eventualmente éste equipo podría emplearse para chequear otras unidades neumáticas, como son: actuadores neumáticos, diferentes tipos de válvulas, motores neumáticos, etc.
- Para el desarrollo de este Proyecto se aplicarán conceptos, principios y conocimientos científicos recibidos en la ESPE y de la misma forma será necesario la investigación y profundización en las áreas específicas.
- Para liberar las unidades y garantizar las condiciones de disponibilidad se considerarán parámetros de control de calidad, previstos en los manuales de reparación de fabricante y mantenimiento de aeronaves.
- El costo de la adquisición de un banco de pruebas neumático al fabricante o al exterior es elevado, en comparación con los costos que demandan de la ejecución de este proyecto.

1.3.- PROPÓSITO

Con el diseño, implementación y operación de este banco de prueba, se pretende contribuir al ahorro de recursos económicos de la FAE, así como a explotar los recursos materiales y humanos disponibles en la Institución, con el fin de contribuir a la operatividad del Escuadrón Logístico Kfir.

1.4.- OBJETIVOS GENERALES

- Diseñar y construir un banco de calibración y pruebas neumático que emule las condiciones de operación en vuelo de las válvulas reguladoras del avión Kfir.
- Determinar la funcionalidad, operatividad y diseño de las válvulas reguladoras de presión del avión Kfir.

- Efectuar los chequeos funcionales de las válvulas reguladoras de presión en un banco de prueba, de acuerdo a los manuales de mantenimiento que dispone la FAE.

1.5.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar localmente las reparaciones, calibraciones y overhall de las válvulas reguladoras que controlan la presurización de los tanques de combustible, líquido hidráulico y de la cabina de los aviones Kfir de la FAE.
- Aplicar conceptos, principios y conocimientos teóricos - científicos recibidos en la Facultad de Electromecánica de la ESPE.
- Fomentar la investigación y profundización en las áreas que sean necesarias, para cumplir los objetivos previstos en el desarrollo de este proyecto.
- Monitorear los parámetros de medición por instrumentación virtual, utilizando un programa computacional y una interfase de transmisión de datos.
- Fortalecer la Industria Aeronáutica de la FAE, al efectuar trabajos que anteriormente no se realizaban en el país y reduciendo la dependencia de tecnología extranjera.

II INSTALACIÓN DE AIRE COMPRIMIDO

2.1.- INTRODUCCIÓN

El aire comprimido es una de las formas de energía más antiguas que conoce el hombre y con el pasar de los tiempos lo ha venido aprovechando en los diferentes procesos industriales y mecánicos.

De los antiguos griegos procede la expresión "Pneuma", que designa la respiración, el viento y en filosofía, también el alma.

Como derivación de la palabra "Pneuma" se obtuvo, entre otras cosas el concepto de Neumática, definida como: "La ciencia que trata de los movimientos y procesos del aire".

2.2.- COMPOSICIÓN DEL AIRE

El aire que respiramos está compuesto principalmente por los elementos que se detallan en la tabla No. 2.1

TABLA 2.1 COMPONENTES DEL AIRE

COMPONENTE		CONCENTRACIÓN APROXIMADA
Nitrógeno	(N)	78.03% en volumen
Oxígeno	(O)	20.99% en volumen
Dióxido de Carbono	(CO ₂)	0.03% en volumen
Argón	(Ar)	0.94% en volumen
Neón	(Ne)	0.00123% en volumen
Helio	(He)	0.0004% en volumen
Criptón	(Kr)	0.00005% en volumen
Xenón	(Xe)	0.000006% en volumen
Hidrógeno	(H)	0.01% en volumen
Metano	(CH ₄)	0.0002% en volumen
Óxido nitroso	(N ₂ O)	0.00005% en volumen
Vapor de Agua	(H ₂ O)	Variable
Ozono	(O ₃)	Variable
Partículas		Variable

El aire atmosférico cuando se comprime se compone de la siguiente concentración de gases:

TABLA 2.2 COMPONENTES DEL AIRE COMPRIMIDO

<i>Componente</i>	MOLAR %
Nitrógeno	78,09
Oxígeno	20,94
Argón	0,93
Dióxido de Carbono	0,033*
Neón	$18,18 \times 10^{-4}$
Helio	$5,239 \times 10^{-4}$
Kriptón	$1,139 \times 10^{-4}$
Hidrógeno	$0,5 \times 10^{-4}$
Xenón	$0,086 \times 10^{-4}$
Radón	6×10^{-18}
Vapor de agua	Varía la concentración

* La concentración puede tener ligeras variaciones

2.3.- VENTAJAS DEL AIRE COMPRIMIDO

Sus ventajas son múltiples y algunas de ellas se indican en la tabla 2.3

TABLA 2.3 VENTAJAS DE LA NEUMÁTICA

Abundante	Disponibles para su uso prácticamente en todo el mundo y en cantidades ilimitadas
Transporte	Fácilmente transportado por tuberías, incluso a grandes distancias. No es necesario disponer tuberías de retorno

Constitución	La concepción de los elementos de trabajo es simple, por tanto su precio es económico
Velocidad	Medio de trabajo muy rápido y por eso permite obtener velocidades de trabajo muy elevadas
Temperatura	Insensible a las variaciones de temperatura, garantiza un trabajo seguro incluso a temperaturas extremas.
Almacenable	Puede almacenarse en depósitos y tomarse de éstos. Además, se puede transportar en recipientes.
Antideflagrante	No existe ningún riesgo de explosión ni incendio
Limpio	No produce ninguna contaminación. Muy importante por ejemplo, en las industrias alimenticias, madera, textiles y del cuero
Regulación	Posibilidad de utilizar varios niveles de presión en función del margen admitido

2.4.- DESVENTAJAS DEL AIRE COMPRIMIDO

Algunas de las desventajas se indican en la tabla 2.4

TABLA 2.4 DESVENTAJAS DEL AIRE COMPRIMIDO

Preparación	Debe ser preparado, antes de su utilización. Es preciso eliminar impurezas y humedad
Compresible	No es posible obtener para los émbolos velocidades uniformes y constantes
Fuerza	Es económico sólo hasta cierta fuerza. Condicionado por la presión de servicio normalmente usual de 700 kPa (7 bar).
Escape	El escape de aire produce ruido. No obstante, este problema ya se ha resuelto en gran parte gracias al desarrollo de materiales insonorizantes

2.5.- PROPIEDADES

2.5.1- PROPIEDADES FÍSICAS

Las características del aire en calidad de materia prima son las indicadas en la tabla 2.5

TABLA 2.5 CARACTERÍSTICAS DEL AIRE

MAGNITUD FÍSICA	VALOR	UNID
Densidad ρ a 0 °C	1,293	kg/m ³
a 15 °C	1,223	kg/m ³
a 20 °C	1,199	kg/m ³
Constante R de los gases perfectos	287	J/kg · K
Capacidad térmica		
a 0 °C; $p = \text{constante}$	$c_p = 1,005$	kJ/kg.K
a 0 °C; $V = \text{constante}$	$c_v = 0,716$	kJ/kg.K
Exponente adiabático	1,4	
Viscosidad dinámica (presión normalizada) a 20 °C	$18,13 \times 10^{-6}$	Pa.s
Viscosidad cinemática (presión normalizada) a 20 °C (= relación viscosidad/densidad)	15,55	mm ² /s

Según la norma ISO 6358, la densidad normal del aire es de 1,185 Kg/m³

A continuación se enuncian los datos físicos del aire comprimido:

Punto de ebullición -194,3°C

Presión de Vapor 21,1°C

Densidad al punto de ebullición 874 Kg/m³

Gravedad específica (aire=1) 21,1°C = 1,0

2.5.2. PROPIEDADES QUÍMICAS

- Reacciona con la temperatura, condensándose en hielo a bajas temperaturas y produce corrientes de aire.

- Es bien conocido el efecto de expansión de líquidos y gases por aumento de la temperatura. La relación entre la temperatura, volumen y presión de un gas se puede calcular por la ley de Charles.

2.5.3. IMPUREZAS DEL AIRE

El aire al comprimirse, también se comprimen todas las impurezas que contiene, tales como polvo, hollín, suciedad, hidrocarburos, gérmenes y vapor de agua. A estas impurezas se suman las partículas que provienen del propio compresor, tales como polvo de abrasión por desgaste, aceites coquizados y aerosoles.

Ello significa que al comprimir el aire atmosférico aumenta la concentración de las impurezas aumentando multiplicándose por el número de veces que se comprime su volumen. Pero ese no es el único problema. Además, la red de tuberías también contiene residuos y depósitos, tales como óxido, cascarilla, residuos de soldadura y de sustancias hermetizantes que pueden producirse durante el montaje de la valvulería. En la figura 2.1.-se enuncian los tipos y tamaños de impurezas más comunes que contiene el aire.

Tamaño de las partículas

En las grandes ciudades, el aire contiene aproximadamente 140 millones de partículas de polvo por 1 m³. De esas partículas, el 80 por ciento tiene un tamaño inferior a 5 µm. Para que el aire que respiramos pueda considerarse limpio, no debe contener partículas de tamaño superior a 0,01 µm.

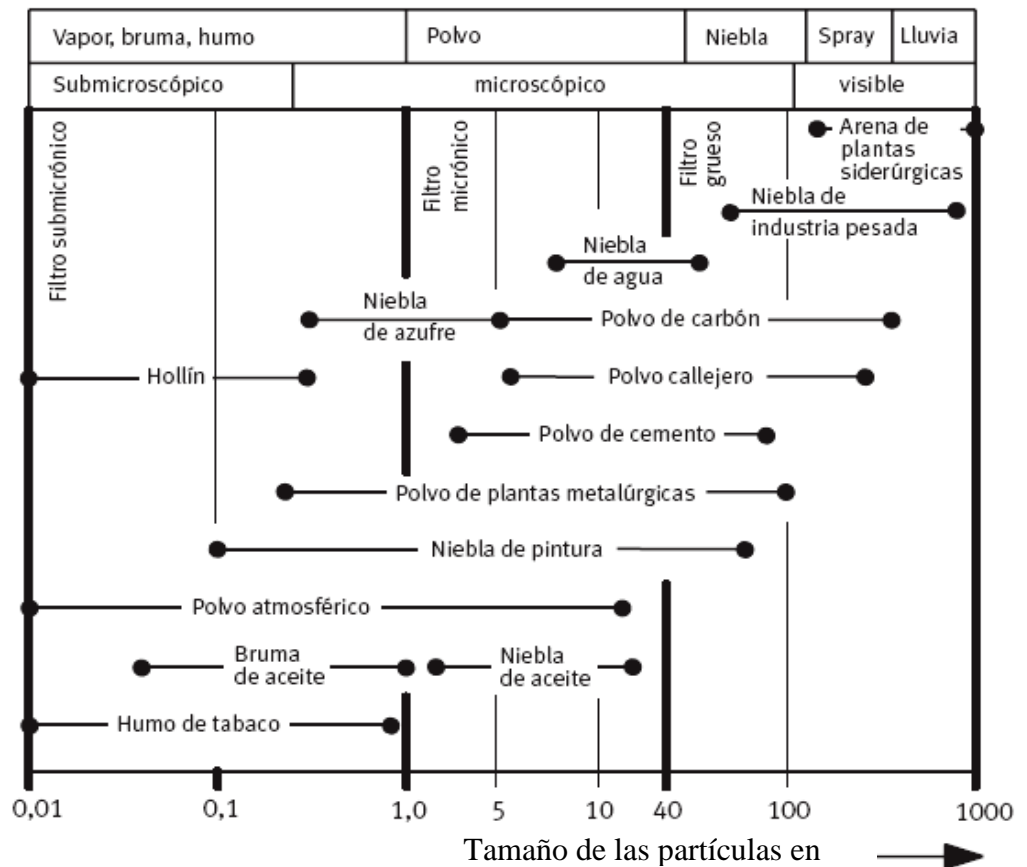


Figura No. 2.1.-Tipos y tamaño de impurezas más comunes contenidas en el aire

Ello significa que, en estado natural, el aire no es limpio. Las impurezas pueden ocasionar fallos en las unidades consumidoras y dañar la red neumática. Las impurezas incluso pueden tener una influencia recíproca negativa. Las partículas de polvo, por ejemplo, crean partículas más grandes si entran en contacto con agua o aceite. El aceite, por su parte, crea una emulsión si entra en contacto con agua.

Existen clases de calidad recomendadas para cada aplicación neumática. Estas clases corresponden a la calidad del aire que, como mínimo, necesita la unidad consumidora correspondiente.

En la siguiente tabla No. 2.6 consta la calidad del aire comprimido en función de los tipos de impurezas.

TABLA No. 2.6 CALIDAD PARA LA APLICACIÓN DEL AIRE

Aplicaciones	Cuerpos Sólidos (μm)	Punto de condensación del agua (0°C)	Contenido máx de aceite (mg/m^3)	Clase de filtración recomendada
Minería	40	-	25	40 μm
Lavandería	40	+10	5	40 μm
Máquinas soldadoras	40	+10	25	40 μm
Máquinas herramientas	40	+3	25	40 μm
Cilindros neumáticos	40	+3	25	40 μm
Válvulas neumáticas	40 o bien 50	+3	25	40 o bien 50 μm
Máquinas de embalaje	40	+3	1	5 μm – 1 μm
Reguladores finos de presión	5	+3	1	5 μm – 1 μm
Aire de medición	1	+3	1	5 μm – 1 μm
Aire de almacenaje	1	-20	1	5 μm – 1 μm
Aire para aplicación de pintura	1	+3	0,1	5 μm – 1 μm
Técnica de detectores	1	-20 o bien -40	0,1	5 μm – 1 μm
Aire puro para respirar	0,01	-	-	- 0,01 μm

2.6.- PRESIÓN DEL AIRE

La presión se mide en valores absolutos o diferenciales. En la tabla 2.7 y figura 2.2.- se ubican las diferentes presiones existentes.

TABLA 2.7 PRESIÓN DEL AIRE

PRESIÓN	DESCRIPCIÓN	VALOR
Presión atmosférica	La barométrica del aire	Bajo condiciones estándar es igual a 101,325 Pa
Presión absoluta	Presión comparada con vacío absoluto en calidad de valor cero	La marcada por un instrumento de medición
Presión diferencial	Expresa la diferencia existente entre dos presiones absolutas	Por ejemplo la diferencia entre sobre presión o vacío con la atmosférica
Sobre presión	Superior a la atmosférica	Presión de valores superior a 101,325 Pa
Vacío	Inferior a la atmosférica	Presión de valores inferior a 101,325 Pa
Presión de flujo	La de la unidad consumidora en el momento de la toma de aire comprimido	La presión de trabajo de la unidad consumidora
Dinámica	Existente en la red mientras no se consume aire comprimido	Puede ser de vacío o sobre presión.

Al aprobarse el sistema internacional de unidades en 1978, el Pascal (Pa) se aceptó como unidad oficial de presión, siendo:

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$$

$$10^5 \text{ Pa} = 0,1 \text{ Mpa} = 1 \text{ Bar}$$

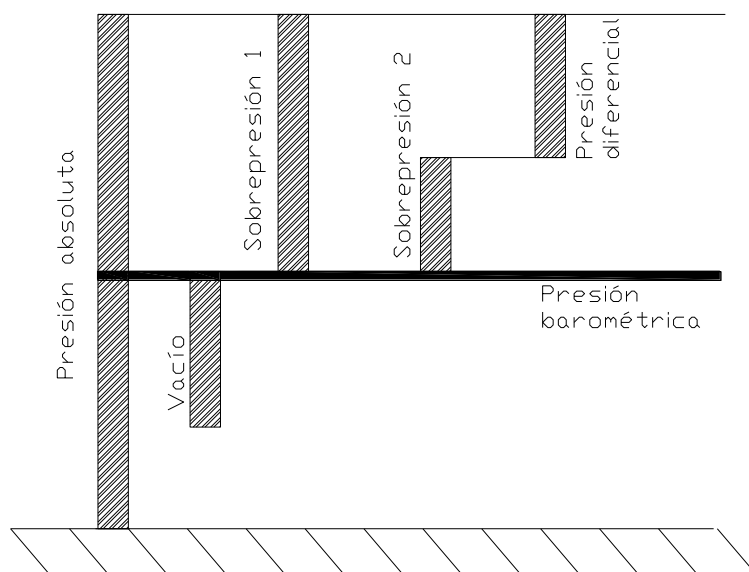


Figura 2.2.- Ubicación de las diferentes presiones

2.7.- LEYES FÍSICAS RELATIVAS AL AIRE COMPRIMIDO

El aire comprimido es aire atmosférico sometido a presión. La presión del aire atmosférico depende de la altura geográfica.

El movimiento de los líquidos y de los gases se llama flujo. Estos dos fluidos se diferencian entre sí en la medida en que los líquidos casi no se pueden comprimir, mientras que el volumen de los gases depende en buena parte de la presión. No obstante, los cambios de volumen tienen poca importancia si los gases fluyen a una velocidad inferior que la velocidad del sonido de 340 m/s. Hasta esa velocidad se puede afirmar que el aire tiene un volumen constante. Además, el aire se comporta casi como un gas ideal a temperaturas entre 0 °C y 200 °C y con presiones de hasta 3'000.000 Pa (30 bar), sin considerar la fricción interna. Partiendo de estas consideraciones, se pueden aplicar diversas ecuaciones básicas relacionadas con la mecánica de los fluidos.

La presión (p), la temperatura (t) y el volumen específico (V_{esp}) son magnitudes que están proporcionalmente relacionadas entre sí. Por lo tanto, tiene validez la siguiente ecuación general:

$$\frac{p \cdot V_{esp}}{T} = const. \quad (\text{Ecuación 2.1})$$

Cuando fluye el aire comprimido a través de una tubería se expresa en el caudal Q en unidades de volumen por unidad de tiempo.

$$Q = A \cdot L \text{ en m}^3/\text{s} \quad (\text{Ecuación 2.2})$$

A: Diámetro interior en m^2 ; $A = (D^2 \cdot \pi) / 4$

L: Longitud del segmento de volumen que fluye en un segundo en m/s

ECUACIÓN DE LA CONTINUIDAD

Como se visualiza en la figura 2.3.- el fluido sufre que tiene que pasar por cambios de sección en la tubería, en ese caso se aplica la ecuación de la continuidad.

$$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2 = Q \text{ (Ecuación 2.3)}$$

V_1, V_2 = Velocidad

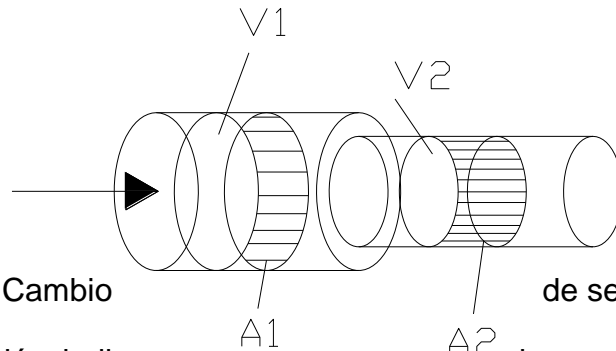


Figura 2.3.- Cambio de sección de la tubería

Esta ecuación indica que las velocidades son inversamente proporcionales a los diámetros de la tubería, siempre y cuando no varíe la cantidad de caudal.

Si el caudal se expresa en metros cúbicos normalizados por hora (Nm^3/h), siempre está relacionado con una presión $p = 101300 \text{ Pa}$ (1,013 bar) y una temperatura $t = 0 \text{ }^\circ\text{C}$.

FLUJO A TRAVÉS DE LA TUBERÍA

Se presentan dos tipos de flujo; el laminar y el turbulento; ver tabla 2.8, el índice de Reynolds indica el límite entre el caudal laminar y caudal turbulento. Este índice expresa la influencia que tienen las fuerzas de fricción ocasionadas por los elementos perturbadores de flujo.

TABLA 2.8 TIPOS DE FLUJO SEGÚN EL NÚMERO REYNOLDS

Caudal Laminar	Cuando los tubos no tienen elementos perturbadores	Re es inferior a 2320.
Laminar o turbulento		Re es superior a 2320 e inferior a 3000 puede ser laminar o turbulento

Caudal turbulento	Cuando los tubos tienen elementos perturbadores	Re es superior a 3000
--------------------------	--	------------------------------

Tratándose de redes neumáticas, la velocidad media del flujo oscila entre 6 y 40 m/s, con lo que por lo general es turbulento. Las turbulencias oponen una resistencia al flujo, con lo que se produce una pérdida de presión en la red. Las turbulencias son aproximadamente proporcionales al cuadrado de la velocidad del flujo. Ello significa que la meta consiste en disponer de tubos con paredes interiores lo más lisas posible y en configurar la red de tal modo que oponga la mínima resistencia posible al flujo.

Para calcular la velocidad media del flujo, debe aplicarse:

$$v_m = \frac{\dot{m}}{A} \cdot V_{esp} \quad (\text{Ecuación 2.4})$$

\dot{m} **Flujo de la masa (Kg/s)**

A Sección del tubo (m²)

V_{esp} Volumen específico (m³/Kg)

Esta velocidad media sirve para el cálculo del índice Reynolds:

$$Re = \frac{v_m \cdot d}{\nu} \quad (\text{Ecuación 2.5})$$

d diámetro del tubo en m

ν Viscosidad cinemática en m²/s

ECUACIÓN GENERAL PARA EL ESTADO DE LOS GASES

La interdependencia existente entre el volumen V (l/kg), la presión p (Pa) y la temperatura T (°C) se expresa mediante la ecuación general para el estado de los gases. Esta ecuación se obtiene combinando las leyes de Boyle, de Mariotte y de Gay-Lussac. Suponiendo que p, V y T cambian al mismo tiempo, son válidas las siguientes ecuaciones:

- Modificación de la presión, sin cambiar la temperatura T1, según Boyle y Mariotte.

$$\frac{V_1}{V_x} = \frac{p_2}{p_1} \quad \text{o} \quad V_x = \frac{V_1 \cdot p_1}{p_2} \quad (\text{Ecuación 2.6})$$

- Modificación de la temperatura T1 a T2, sin cambiar la presión, según Gay-Lussac.

$$\frac{V_x}{V_2} = \frac{T_1}{T_{21}} \quad \text{o} \quad V_2 = \frac{V_x \cdot T_2}{T_1} = \frac{V_1 \cdot p_1 \cdot T_2}{p_2 \cdot T_1} \quad (\text{Ecuación 2.7})$$

Combinando estas ecuaciones, se obtiene el cambio general del estado:

$$\frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} = \frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \text{const.} = R_i \quad (\text{Ecuación 2.8})$$

La constante del aire es $R_i = 287 \text{ J/kgK}$, siendo $1 \text{ J (Joule)} = 1 \text{ Nm}$.

2.8.- HUMEDAD DEL AIRE.

El aire húmedo es una mezcla entre aire seco y vapor de agua. El aire sólo puede contener vapor de agua en cantidades limitadas. En la tabla 2.9 se detalla las definiciones de humedad del aire.

La cantidad de vapor de agua depende de la presión atmosférica local y la temperatura. Si el aire se enfría, el vapor de agua se condensa. Los límites de la condensación están determinados por el punto de rocío y por el punto de condensación bajo presión.

TABLA 2.9 HUMEDAD DEL AIRE

	Uni.	Definición
Humedad relativa del aire (W_{rel})	%	Relación entre el contenido real de vapor de agua y el contenido máximo de posible de vapor de agua en el aire (estado de saturación).
Humedad máxima del aire ($F_{m\acute{a}x}$)	g/m^3	Cantidad máxima de vapor de agua que contiene un metro cúbico de aire a una determinada temperatura.

Humedad absoluta del aire (F)	g/m^3	Cantidad de vapor de agua real contenida en un metro cúbico
-------------------------------	----------------	---

2.8.1.- PUNTO DE ROCÍO

El punto de rocío o punto de condensación, es la temperatura en la que el aire está saturado de vapor de agua. Esta saturación completa corresponde a una humedad de 100 por ciento. En el instante en que la temperatura del aire es inferior a este punto, empieza la condensación del aire húmedo. Si la temperatura es inferior a los cero grados centígrados, se forma hielo. Este fenómeno puede causar dificultades en el caudal y funcionamiento de los componentes del sistema neumático.

TABLA 2.10 VARIACIÓN DEL PUNTO DE ROCÍO

$\uparrow T^\circ \rightarrow \uparrow$ vapor de agua	Si la temperatura es más alta, más vapor de agua es capaz de retener el aire.
$\uparrow Pr \text{ aire} \rightarrow \downarrow H^\circ$ del aire	Si la presión es más alta, el aire contiene menos humedad

El punto de rocío depende de la humedad relativa del aire, de la temperatura y de la presión, aplicándose la relación indicada en la tabla 2.10.

2.8.1.1.- PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR EL PUNTO DE ROCÍO

Para ilustrar este procedimiento se va a emplear un ejemplo: Suponiendo que la humedad relativa del aire W_{rel} es de 0,5 (50%) la presión p es de 3 bar y la temperatura T es de 24°C , ¿Cuál es la temperatura del punto de condensación?

- Se determina la presión de saturación p_s (24°C) a 24°C, usando la tabla 2.11, resultando que p_s (24°C) es igual a 29,82 mbar.
- Se calcula el contenido de agua x (g/kg), empleando la siguiente fórmula:

$$x = 0,622 \cdot \frac{\varphi_{rel} \cdot P_s}{p - \varphi_{rel} \cdot P_s} \cdot 10^3 \quad (\text{Ecuación 2.8})$$

Donde: p Presión absoluta (bar)

φ_{rel} Humedad relativa ($\varphi=0$ hasta 1,0)

p_s Presión de saturación con vapor (bar)

$$x = 0,622 \cdot \frac{0,5 \cdot 0,02982}{3 - (0,5 \cdot 0,02982)} \cdot 10^3 = 3,11 \text{ g / Kg}$$

TABLA 2.11 RELACIÓN PRESIÓN DE SATURACIÓN Y TEMPERATURA⁴

T en °C	P _s en mbar	T en °C	P _s en mbar	T en °C	P _s en mbar
-20	1,029	+2	7,055	+24	29,82
-18	1,247	+4	8,129	+26	33,60
-16	1,504	+6	9,345	+28	37,78
-14	1,809	+8	10,70	+30	42,41
-12	2,169	+10	12,70	+32	47,53
-10	2,594	+12	14,01	+34	53,18
-8	3,094	+14	15,97	+36	59,40
-6	4,681	+16	18,17	+38	66,24
-4	4,368	+18	20,62		
-2	5,172	+20	23,37		
0	6,108	+22	26,42		

⁴ Manual de neumática de la FESTO AG & Co.

- En el diagrama de Mollier de la figura 2.4.- se lee la temperatura del punto de condensación, uniendo las líneas correspondientes a $p=3$ bares y contenido de agua $X=3,11$, donde se cruzan y es de 13°C .

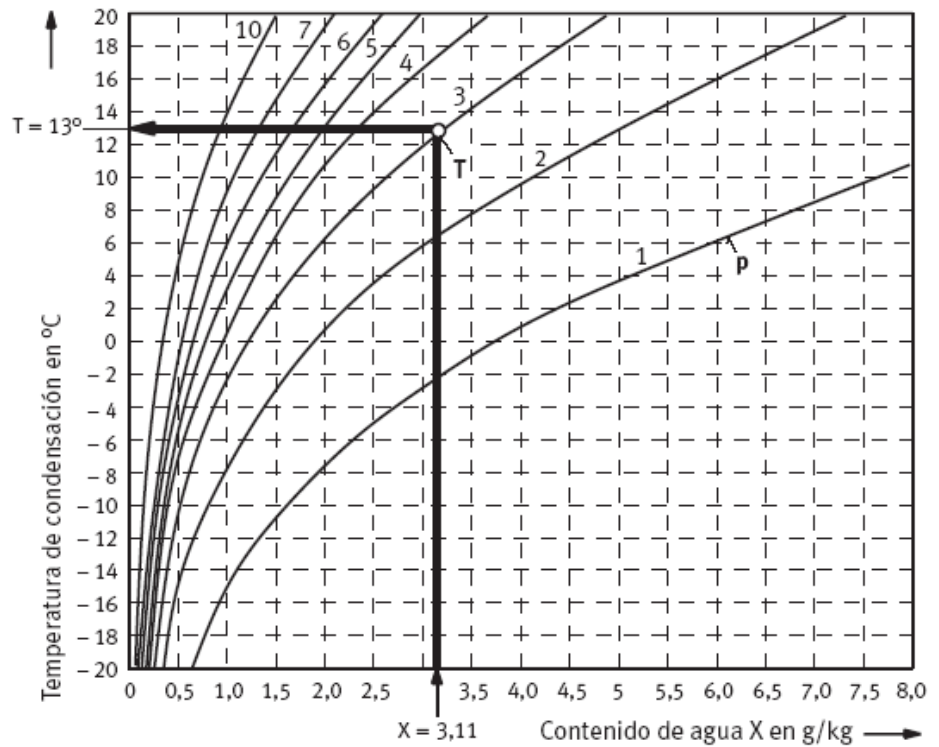


Figura 2.4.- Diagrama de Mollier

2.8.2- EL PUNTO DE CONDENSACIÓN BAJO PRESIÓN

El punto de condensación bajo presión corresponde a la temperatura que se aplica para obtener una determinada presión de funcionamiento. Si se reduce la presión del aire comprimido hasta alcanzar la presión atmosférica, el aire aumenta de volumen. Por ello, el punto de rocío del aire a presión atmosférica es inferior al punto de condensación bajo presión, considerando que la temperatura se mantiene constante. Si, el aire tiene un punto de condensación bajo presión de $+3^{\circ}\text{C}$, no puede condensar agua mientras que la temperatura ambiente sea superior a $+3^{\circ}\text{C}$. En el momento en

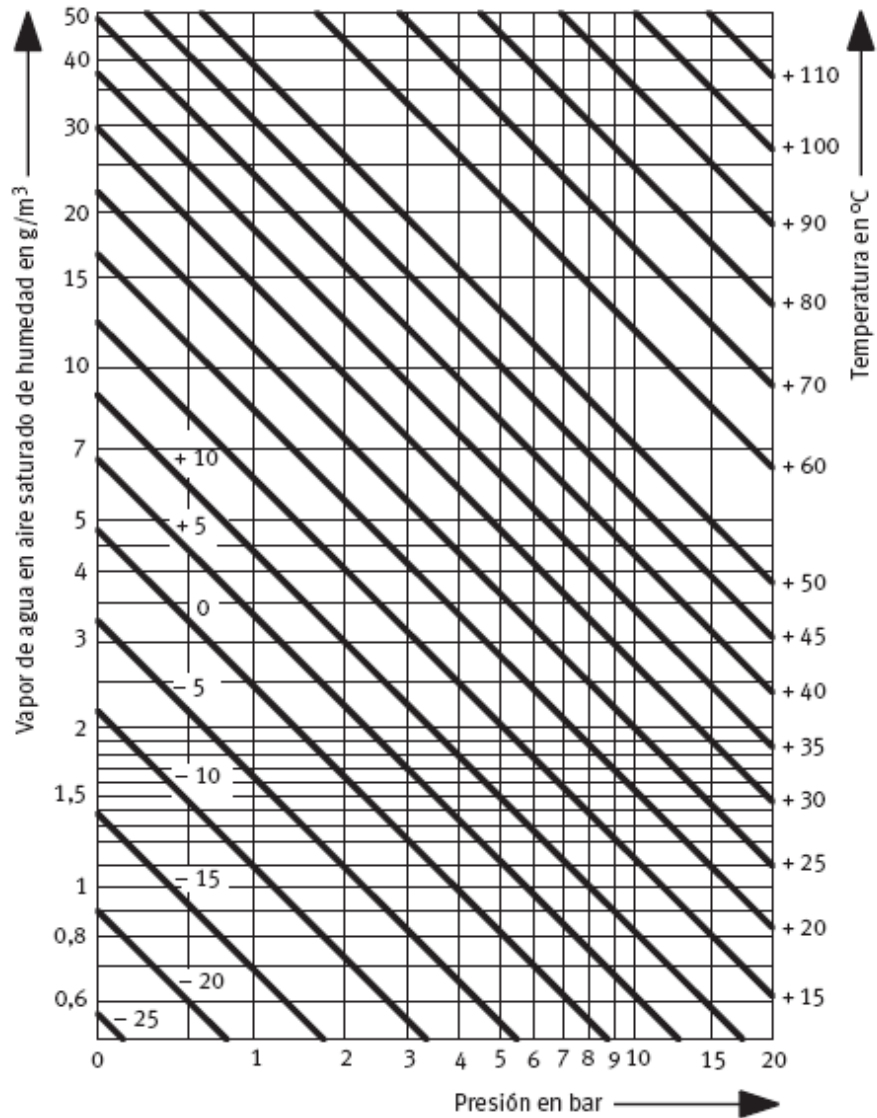
que el aire comprimido tiene una temperatura inferior a esos +3 °C, se produce condensado.

2.8.3- HUMEDAD QUE RETIENE EL AIRE COMPRIMIDO DESPUÉS DE LA COMPRESIÓN

Considerando que la temperatura del aire aspirado y del aire comprimido son iguales, sucede que si se aspiran 6 m³ de aire atmosférico para comprimirlo y obtener 1 m³ de aire comprimido, se obtiene un excedente de cinco partes de agua que forman condensado.

La cantidad de humedad que realmente contiene el aire comprimido depende de la temperatura del aire y la presión, en la figura 2.5.- se puede leer la cantidad máxima de humedad, si el aire se enfría al comprimirlo su capacidad de retención de agua es menor, en consecuencia se produce condensado.

Si un metro cúbico de agua contiene 7 gramos de agua siendo la presión 6 bares y la temperatura de 40°C, si la



temperatura baja a 10°C, el agua contiene únicamente 1,3 gramos de agua, ello significa que se ha eliminado 5,7 gramos de agua.

Figura 2.5.- Contenido de agua en aire comprimido en función de la temperatura y de la presión

2.9.- PRODUCCIÓN DEL AIRE COMPRIMIDO

Para producir aire comprimido se utilizan compresores que elevan la presión del aire al valor de trabajo deseado. Los mecanismos y mandos neumáticos se alimentan desde una estación central.

TIPOS DE COMPRESORES

En la figura No. 2.6.- se detallan los tres tipos básicos de compresores existentes.

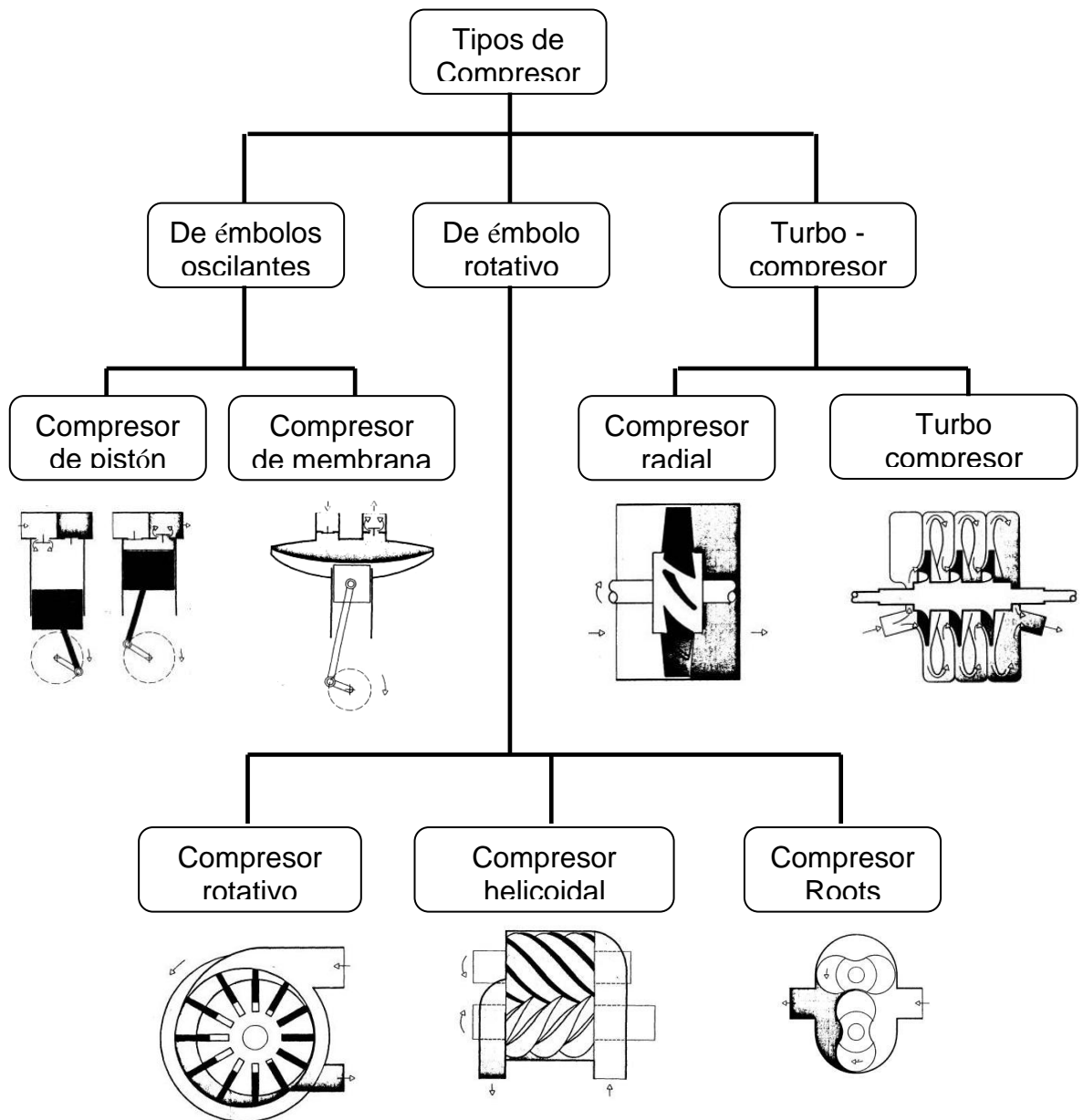


Figura No. 2.6.- Tipos de Compresores

El primero trabaja según el principio de desplazamiento. La compresión se obtiene por la admisión del aire en un recinto hermético, donde se reduce luego el volumen. Se utiliza en el compresor de émbolo (oscilante o rotativo).

El segundo trabaja según el principio de la dinámica de los fluidos. El aire es aspirado por un lado y comprimido como consecuencia de la aceleración de la masa (turbina).

El otro trabaja por el principio de acción y reacción. El aire ingresa y se aumenta la presión debido a la desviación por aletas ubicadas a diferentes ángulos específicos, una turbina hace girar estas aletas.

2.10.- FILTRADO DEL AIRE

La elección del filtro apropiado es fundamental para la calidad del aire, para obtener aire comprimido de alta calidad, es necesario prever varias fases de filtración. Un solo filtro “fino” no es suficiente para obtener aire de calidad satisfactoria.

CLASIFICACIÓN DE LOS FILTROS:

Los filtros se clasifican de la siguiente manera:

<i>Filtro</i>	Los filtros comunes son capaces de retener partículas de tamaños superiores a 40 μm o a 5 μm , según su grado de filtración y el tipo de cartucho filtrante.
<i>Microfiltro</i>	Estos filtros retienen partículas de tamaños superiores a 0,1 μm .
<i>Filtro submicrónico</i>	Estos filtros pueden retener partículas de tamaños superiores a 0,01 μm . Sin embargo, antes de pasar por estos filtros, el aire tiene que haber pasado previamente por otro, capaz de retener partículas de hasta 5 μm
<i>Filtros de carbón activo</i>	Estos filtros son capaces de retener partículas

a partir de 0,003 μm , lo que significa que pueden retener sustancias aromatizantes u odoríferas. Los filtros de carbón activo también se llaman filtros submicrónicos.

Para conseguir aire de clases de mayor calidad, la filtración de las sustancias sólidas siempre deberá hacerse por fases, para lo que puede montarse, por ejemplo, un filtro submicrónico detrás de un filtro micrónico.

Para determinar el grado de pureza que debe tener el aire comprimido, puede recurrirse a la tabla 2.12

TABLA 2.12 CLASIFICACIÓN DE LOS FILTROS

	Tipo de filtro	Campo de aplicación	Función principal
A	Se aceptan ligeras impurezas, humedad y aceite	Accionamiento de mandos de máquinas, sistema de sujeción, martillos percutores, chorros de aire, aire para taller	Eliminación de impurezas, partículas de polvo superiores a 5 μm , aceite líquido superior a 99%, humedad sobresaturada inferior a 99%
B	Eliminación prioritaria de polvo y aceite, admitiéndose una pequeña cantidad de humedad (que se explica por la diferencia de temperaturas)	Equipos industriales, actuadores neumáticos, juntas metálicas, herramientas, motores.	Eliminación de impurezas, partículas de polvo superiores a 0,3 μm , niebla de aceite superior a 99%, punto de condensación atmosférico de -17°C
C	Tiene prioridad la eliminación de la humedad aceptando pequeñas cantidades de aceite y polvo.	Aplicaciones similares a las de A, aunque situación más difícil debido a una mayor diferencia de temperaturas en la red o en las unidades consumidoras, cabinas de pintura, aplicaciones con spray.	Eliminación de la humedad y de partículas de polvo superiores a 5 μm , aceite superior a 99%, punto de condensación atmosférico de -17°C
D	Eliminación necesaria de humedad, polvo y aceite.	Técnicas de procesos, instrumentos de medición, sistemas sofisticados de aplicación de pintura, refrigeración de material fundido, máquinas de inyección de plásticos.	Eliminación de impurezas y humedad, partículas de polvo superiores a 0,3 μm , niebla de aceite superior a 99,9%, punto de condensación atmosférico de -17°C
E	Necesidad disponer de aire limpio. Eliminación casi total de humedad, polvo y aceite.	Instrumentos de medición neumáticos, técnica de fluidos, pintura aplicación electrostática, secado y limpieza de componentes electrónicos.	Eliminación de impurezas y humedad, partículas de polvo superiores a 0,01 μm , niebla de aceite superior a 99,9999%, punto de condensación atmosférico de -17°C

F	Necesidad de disponer de aire extremadamente limpio. Eliminación casi completa de humedad, polvo, aceite y olor.	Industria farmacéutica y alimentaria (embalaje, secado transporte, preparación de alimentos), aplicaciones de técnica médica, trabajos de sellado y emplomado.	Eliminación de todas las impurezas y sustancias odoríferas, partículas de polvo superiores a $0,01 \mu\text{m}$, niebla de aceite superior a 99,9999%, punto de condensación atmosférico de -17°C
G	Necesidad prioritaria de un bajo punto de condensación y aire prácticamente exento de polvo y aceite	Proceso de secado en electrónica almacenamiento de productos farmacéuticos, instrumentos de medición de la marina, transporte de material en polvo	Eliminación de todas las impurezas, humedad y vapores, partículas de polvo superiores a $0,01 \mu\text{m}$, niebla de aceite superior a 99,9999%, punto de condensación atmosférico inferior a -30°C

Se realizan las siguientes preguntas para elegir un filtro y se procede en concordancia con las respuestas:

- ¿Qué grado de pureza debe tener el aire?
- ¿Qué tamaño tienen las conexiones, en función del caudal y la presión?
- ¿Qué tipo de purga; manual o automática; es recomendable?

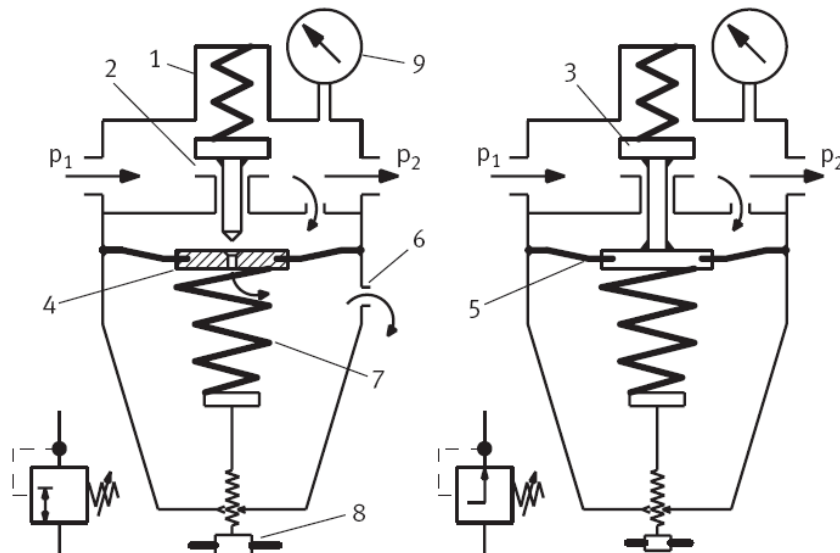
El condensado es una mezcla de partículas sólidas, agua y aceite. El condensado tiene propiedades agresivas. Por ello es importante eliminarlo. Los equipos químicos-térmicos de preparación del aire comprimido son capaces de transformar el condensado en agua potable y el aire filtrado en aire puro, apropiado para la respiración. Estos sistemas de filtros son respetuosos con el medio ambiente y no exigen un vertido especial al desecharlos.

2.11.- VÁLVULAS REGULADORAS DE PRESIÓN

1 Cuerpo

4 Membrana con taladro

7 Muelle de compresión



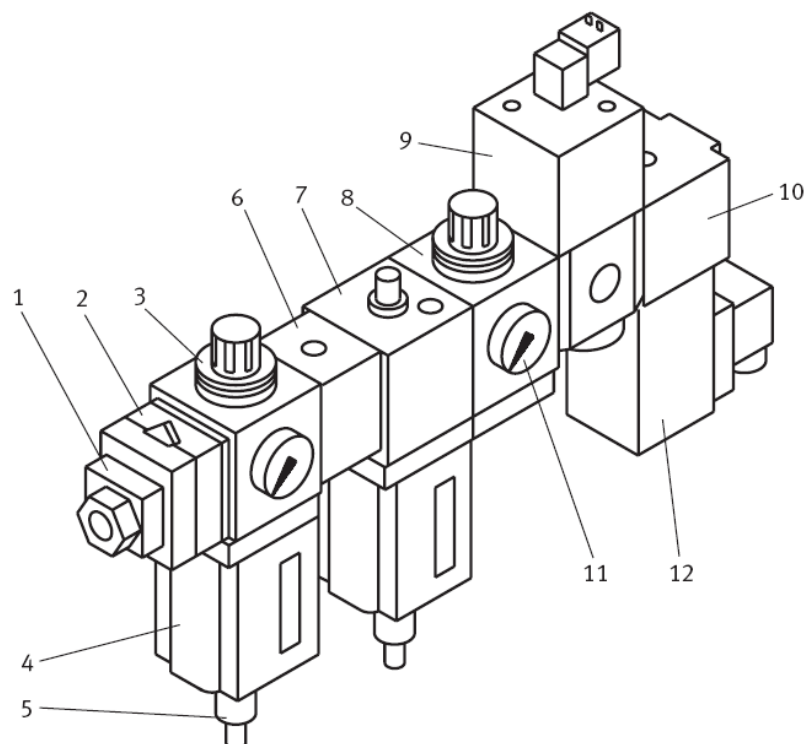
- | | | |
|--------------------|--|--|
| 2 Asiento | 5 Membrana unida fijamente al émbolo de la válvula | 8 Pomo roscado para ajustar la fuerza del muelle |
| 3 Plato de válvula | 6 Taladro de escape | 9 Manómetro |
| | (a) | (b) |

Figura 2.7.- Regulador con taladro de escape (a) y sin taladro escape (b)

Los reguladores de presión tienen la función de mantener constante el nivel de la presión secundaria; la que lleva hacia las unidades consumidoras; independientemente de las oscilaciones que se producen en el circuito principal. Si varía la presión secundaria, el funcionamiento de los elementos de mando y de los actuadores varia de modo inaceptable. Si la presión de funcionamiento es demasiado alta, aumenta el desgaste y el consumo de energía es menos eficiente. Si la presión de funcionamiento es demasiado baja, el rendimiento disminuye y, con frecuencia, las unidades consumidoras no funcionan correctamente. En términos generales, la parte de trabajo de la red debe tener una presión de 6×10^5 Pa, mientras que la parte de los mandos necesita 4×10^5 Pa.

En la figura 2.7.- se muestra la construcción de dos tipos de reguladores de presión de aire comprimido.

2.12.- UNIDADES DE MANTENIMIENTO



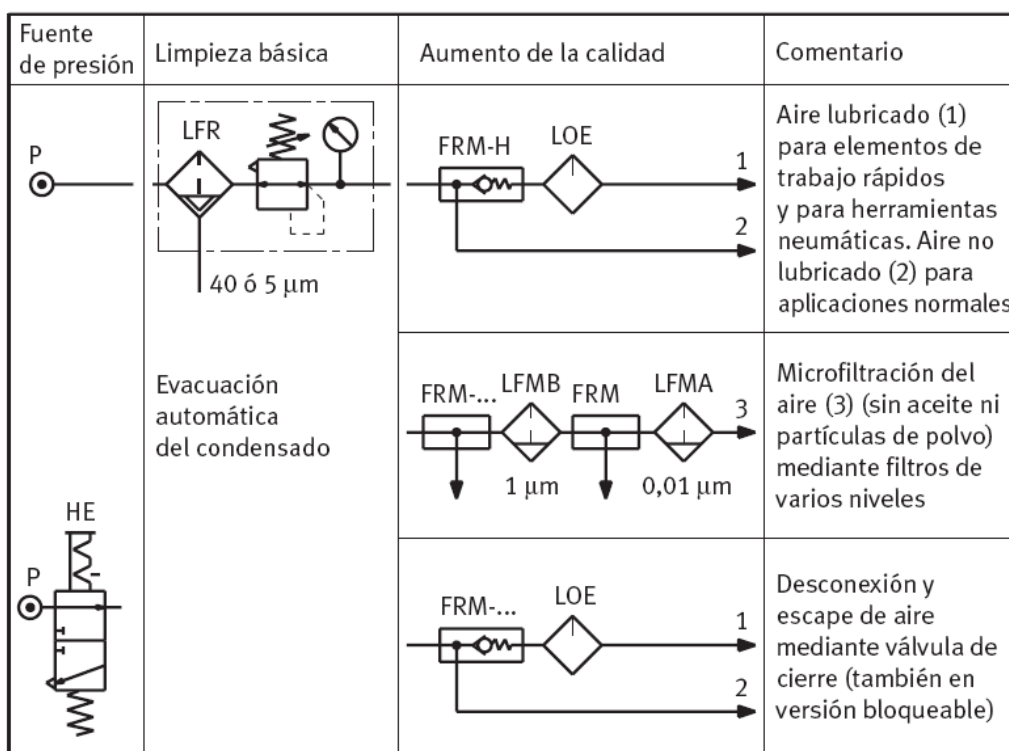
- | | | |
|-------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| 1 Empalme para el tubo | 5 Purga de condensado | 9 Válvula de arranque progresivo |
| 2 Válvula de cierre manual | 6 Bloque distribuidor | 10 Bloque distribuidor |
| 3 Filtro y válvula reguladora | 7 Lubricador de aire comprimido | 11 Manómetro |
| 4. Filtro | 8 Válvula reguladora de presión | 12 Presostato |

Figura 2.8.- Bloque de una unidad de mantenimiento

Las unidades de mantenimiento son combinaciones compactas, por lo general compuestas de una válvula de cierre, filtro, válvula reguladora de presión y lubricador, montados en ese orden. Estas unidades se montan cerca de las unidades consumidoras y tienen la finalidad de preparar el aire comprimido.

Al montar los componentes de una unidad de mantenimiento se deberá tenerse en cuenta la dirección del flujo, tal como consta en cada uno de ellos mediante una flecha indicadora. Además, las unidades de mantenimiento también pueden incluir componentes de seguridad y de control.

Los reguladores de presión tienen la finalidad de mantener un nivel de presión constante, incluso si varía el consumo de aire comprimido, y además, deben garantizar la disposición de la presión de trabajo necesaria. La presión de funcionamiento se regula mediante la válvula reguladora. En la figura 2.8.- se aprecia la estructura modular de una unidad de mantenimiento.



P Fuente de aire comprimido	LFMA Filtro micrónico, submicrónico	LFR Unidad de filtro y regulador
LOE Lubricador	HE válvula de cierre manual	
LFMB Filtro submicrónico	LFR Bloque distribuidor	

Figura 2.9 Combinaciones de unidades de mantenimiento

Las unidades de mantenimiento permiten obtener aire comprimido preparado de modo óptimo y, además, consiguen absorber las oscilaciones que puede experimentar la presión debido a la conexión y desconexión del compresor. Ello significa que tanto el lado secundario como el lado primario están acoplados a la unidad de mantenimiento.

En la figura 2.9 se muestra las combinaciones usuales de unidades de mantenimiento

SELECCIÓN DE UNA UNIDAD DE MANTENIMIENTO

Para elegir la unidad de mantenimiento mas apropiada, debe considerarse los siguientes criterios: presión, caudal, humedad, contenido de aceite y cantidad y tamaño de las partículas. Adicionalmente es recomendable tener en cuenta las sugerencias que se explican a continuación:

- La unidad de mantenimiento debe tener conexiones de un tamaño por una unidad superior que el tamaño que seria teóricamente suficiente para el caudal máximo previsible. Si las conexiones son demasiado pequeñas, se producen oscilaciones de presión en los reguladores y disminuye la duración de los filtros.
- Las unidades de mantenimiento deben montarse en el lugar de menor temperatura de todo el sistema.
- La unidad de mantenimiento debe montarse a máximo 5 metros de distancia de la última unidad consumidora. De lo contrario, es posible que la niebla de aceite se deposite antes de llegar a la unidad consumidora que la necesita, suponiendo que se trabaje con aire lubricado.
- El separador de agua se encarga de eliminar las gotas de agua acumuladas en la red de tuberías. Pero, aunque el recipiente sea grande, termina llenándose. Por ello, es absolutamente necesario

efectuar los trabajos de mantenimiento con regularidad y en concordancia con las recomendaciones oficiales. Si se tienen dudas, es preferible prever desde un principio el uso de un separador automático.

- Los depósitos de los filtros deberían limpiarse únicamente con agua, no con detergentes. En caso de aplicaciones en condiciones industriales rudas, es preferible utilizar una funda protectora metálica.
- Es recomendable que los filtros para la retención de sustancias sólidas no sean más grandes que lo absolutamente necesario. Al montarlos, debe tenerse en cuenta la dirección del flujo. Los cartuchos filtrantes no se limpian y deben desecharse.
- Para evitar el uso no autorizado de la válvula de regulación, esta puede estar provista de cabezales con llave.
- Únicamente deberán utilizarse los aceites minerales de poca viscosidad recomendados por el fabricante de los lubricadores de aire comprimido.
- También las unidades de mantenimiento mismas tienen que someterse a un servicio de mantenimiento regular, ya que de lo contrario pueden averiarse o funcionar de modo deficiente.

En la tabla 2.13 se detallan las aplicaciones de las unidades de mantenimiento

TABLA 2.13. APLICACIÓN DE LAS UNIDADES DE MANTENIMIENTO

	Características de las aplicaciones	Ejemplos de aplicaciones	Función principal
A	Aplicaciones con poca dependencia de la presión primaria, con caudales variados y con descarga de la presión secundaria	Sistemas de control neumático; chorros con arena; pintura a pistola; motores neumáticos	Aplicaciones del caudal con poca dependencia de la presión primaria, regulación de la presión entre 0,5 y 16 bar; caudal hasta 15 000 l/min.; histéresis inferior a 0,05 bar; precisión de repetición de 0,2 bar; descarga de la presión en el circuito secundario; compensación de presión y de caudal
B	Para ahorrar aire comprimido utilizando cilindros de doble efecto; sin	Optimización del consumo al usar cilindros de doble	Regulación de la presión mediante válvula antirretorno: regulación entre 0,5 y 16 bar; caudal hasta 15 000

	mayor precisión de regulación, aunque con ciclos de alta frecuencia	efecto; doble efecto; cilindros sujeción; motores neumáticos	l/min.; histéresis inferior a 0,05 bar; caudal hasta 250 l/min.
C	Si habiendo un caudal pequeño variable se necesita una presión constante; gran precisión de regulación; oscilación casi imperceptible de la presión primaria	Instrumentos de medición neumáticos, técnica de medición y regulación, técnica de fluidos	Gran precisión de regulación; con pequeño caudal; regulación de la presión entre 0,05 y 5,5 bar. Precisión de repetición de 0,005 bar; valor umbral 0,005 bar; caudal hasta 250 l/min.

2.13.- DISTRIBUCIÓN DEL AIRE COMPRIMIDO

Cada máquina y mecanismo necesita una determinada cantidad de aire, siendo abastecido por un compresor, a través de una red de tuberías, tanto principales como de servicio.

El diámetro de las tuberías debe elegirse de manera que si el consumo aumenta, la pérdida de presión entre el depósito y el consumidor **no sobrepase del 2%** de la presión de trabajo o también es recomendable que este valor **no sobrepase de 0.1 bar**. Si la caída de presión excede de este valor, la rentabilidad del sistema estará amenazada y el rendimiento disminuirá considerablemente. En la planificación de instalaciones nuevas debe preverse una futura ampliación de la demanda de aire, por cuyo motivo deberán dimensionarse generosamente las tuberías. El montaje posterior de una red más importante supone costos dignos de mención.

COMPONENTES PRINCIPALES DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO

Tubería principal	Transporta aire comprimido desde el compresor hasta el taller.
Tubería de distribución	Se encarga de llevar el aire comprimido desde la tubería principal hasta los diversos puestos de trabajo
Tubería de unión	Une la tubería de distribución con cada uno de los puestos de trabajo, con frecuencia son flexibles

Derivación	Lleva desde la tubería de distribución hasta un determinado lugar del taller, esta tubería no es circular y termina en un punto muerto.
Tubería circular	Los tubos forman un anillo de distribución, la ventaja es que permite bloquear determinados tramos y aún así disponer de aire comprimido en otros puntos.

REDES DE DISTRIBUCIÓN

Es importante el tendido de las mismas, las tuberías requieren un mantenimiento y vigilancia regulares, por cuyo motivo no deben instalarse dentro de obras, ni en emplazamientos demasiado estrechos. En estos casos, la detección de posibles fugas se hace difícil. Pequeñas faltas de estanqueidad ocasionan considerables pérdidas de presión.

Red abierta

En el tendido de las tuberías debe cuidarse, sobre todo, de que la tubería tenga un descenso en el sentido de la corriente del 1 al 2%.

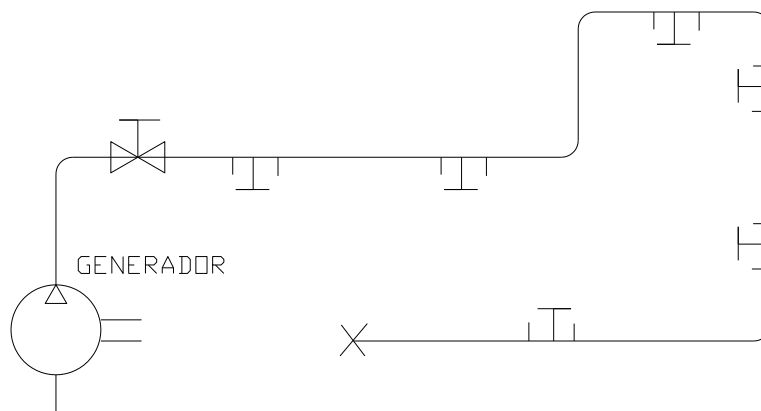


Figura 2.10- Red abierta

En consideración a la presencia de condensado, las derivaciones para las tomas de aire, en el caso de que las tuberías estén tendidas horizontalmente, se dispondrán siempre en la parte superior del tubo. En la figura 2.10.- se representa una red abierta.

Así se evita que el agua condensada que posiblemente encuentre en la tubería principal llegue a través de las tomas. Para recoger y vaciar el agua

condensada se disponen tuberías especiales en la parte inferior de la principal.

Red cerrada

En la mayoría de los casos, la red principal se monta en circuito cerrado. Desde la tubería principal se instalan las uniones de derivación.

Con este tipo de montaje de la red de aire comprimido se obtiene una alimentación uniforme cuando el consumo de aire es alto. El aire puede pasar en dos direcciones.

En la figura 2.11.- se representa una red cerrada.

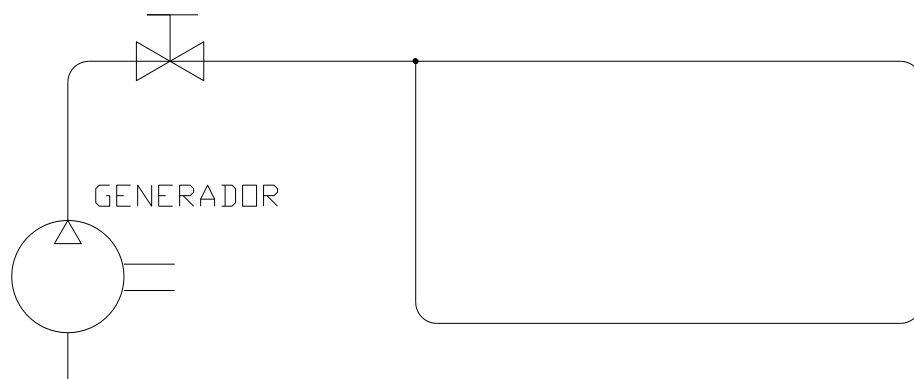


Figura 2.11.- Red cerrada

Red cerrada con interconexiones

En la red cerrada con interconexiones hay un circuito cerrado, tal como se indica en la figura No. 2.12.-, que permite trabajar en cualquier sitio con aire, mediante las conexiones longitudinales y transversales de la tubería de aire comprimido,

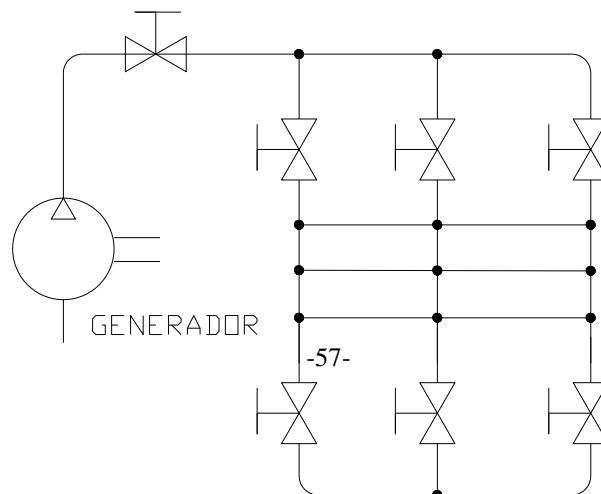


Figura 2.12.- Red cerrada con interconexiones

Ciertas tuberías de aire comprimido pueden ser bloqueadas mediante válvulas de cierre si no se necesitan o si hay que separarlas para efectuar reparaciones y trabajos de mantenimiento. También existe la posibilidad de comprobar faltas de estanqueidad.

2.14.- PÉRDIDA DE PRESIÓN EN UNA RED DEL AIRE COMPRIMIDO

Cuanto más largos son los tubos, tanto mayor es la pérdida de presión en el punto de toma para las unidades consumidoras. Esto se explica por la rugosidad de la pared interior de los tubos y por la velocidad del caudal. En el nomograma de la figura 2.13 se puede leer la pérdida de presión en función del diámetro y de la longitud de los tubos.

Las tuberías de unión suelen tener un diámetro de 25 mm. En ese caso se puede contar con las pérdidas de presión que constan en la tabla 2.14, en función del caudal y suponiendo una longitud nominal de 10 metros

TABLA No. 2.14 PÉRDIDAS DE PRESIÓN

Caudal (l/s)	Pr diferencial (bar)
10	0,005
20	0,02
30	0,04

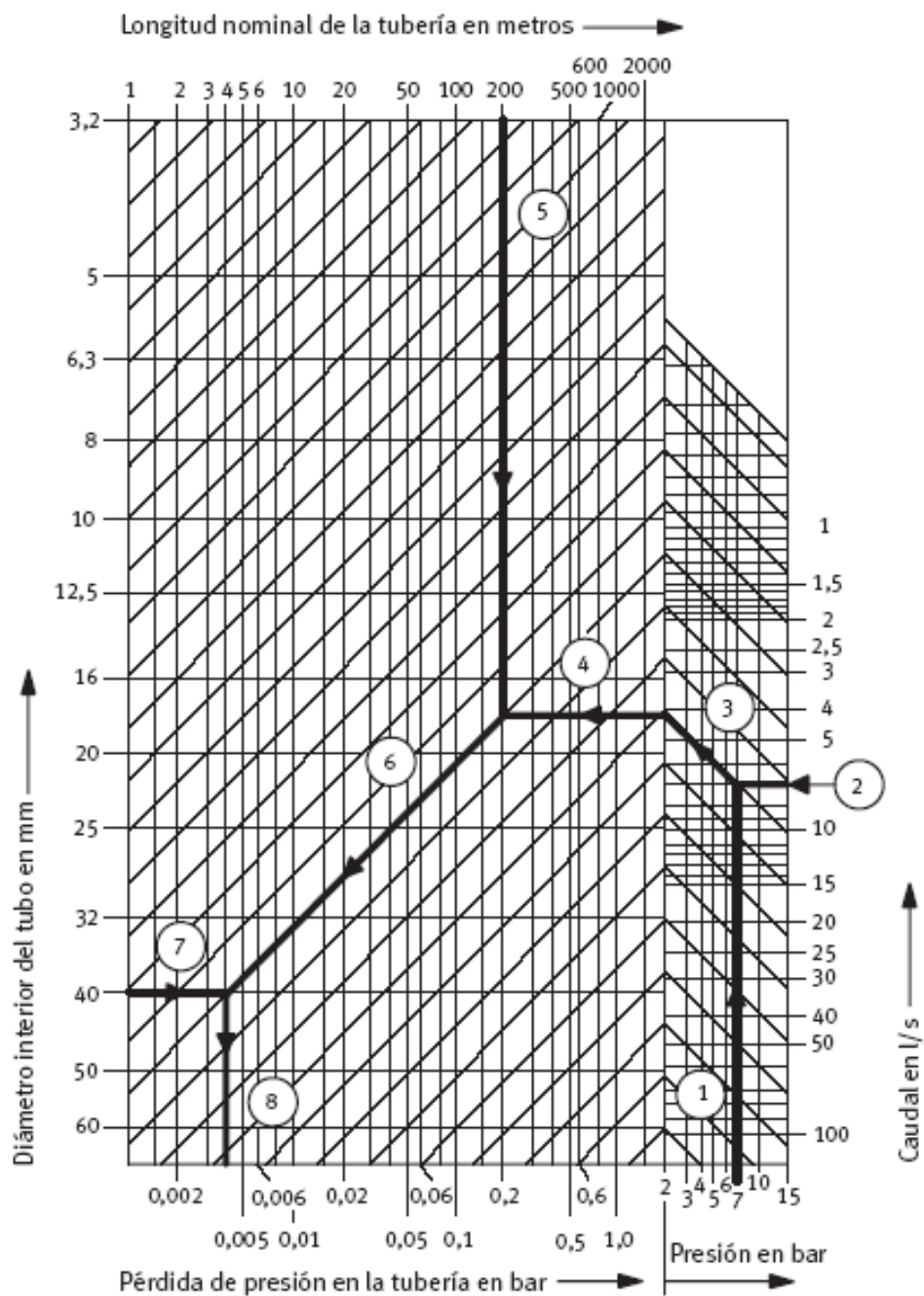


Figura No. 2.13.- Nomograma para determinar pérdida de presión en tuberías

2.15.- DIMENSIONAMIENTO DE LAS TUBERÍAS DE LA RED

El diámetro de las tuberías se elige en conformidad con los siguientes parámetros:

- El caudal
- La longitud de las tuberías

- La pérdida de presión (admisible)
- La presión de servicio
- La cantidad de estrangulamientos en la red

En la práctica se utilizan los valores reunidos con la experiencia.

2.15.1.- CÁLCULO DEL DIÁMETRO DE UNA TUBERÍA

USANDO EL NOMOGRAMA

El nomograma de la figura 2.14.- ayuda a encontrar el diámetro de la tubería de una forma rápida y sencilla. Con los datos dados, se puede determinar el diámetro provisional de las tuberías, aplicando el siguiente procedimiento:

En el nomograma, unir la línea A (longitud M tubo) con la B (cantidad de aire aspirado) y prolongar el trazo hasta C (eje 1). Unir la línea E, (presión) con la línea G (pérdida de presión). En la línea F (eje 2) se obtiene una intersección. Unir los puntos de intersección de los ejes 1 y 2. Esta línea corta la D (diámetro nominal de la tubería) en un punto que proporciona el diámetro provisional deseado.

Las resistencias de los elementos estranguladores (válvula de cierre, accesorios en T, compuerta, codo normal) se indican en longitudes supletorias. Se entiende por longitud supletoria la longitud de una tubería recta que ofrece la misma resistencia al flujo que el elemento estrangulador o el punto de estrangulación. La sección de paso de la "tubería de longitud supletoria" es la misma que la tubería.

Un segundo nomograma, el de la figura 2.16.- permite averiguar rápidamente las longitudes supletorias

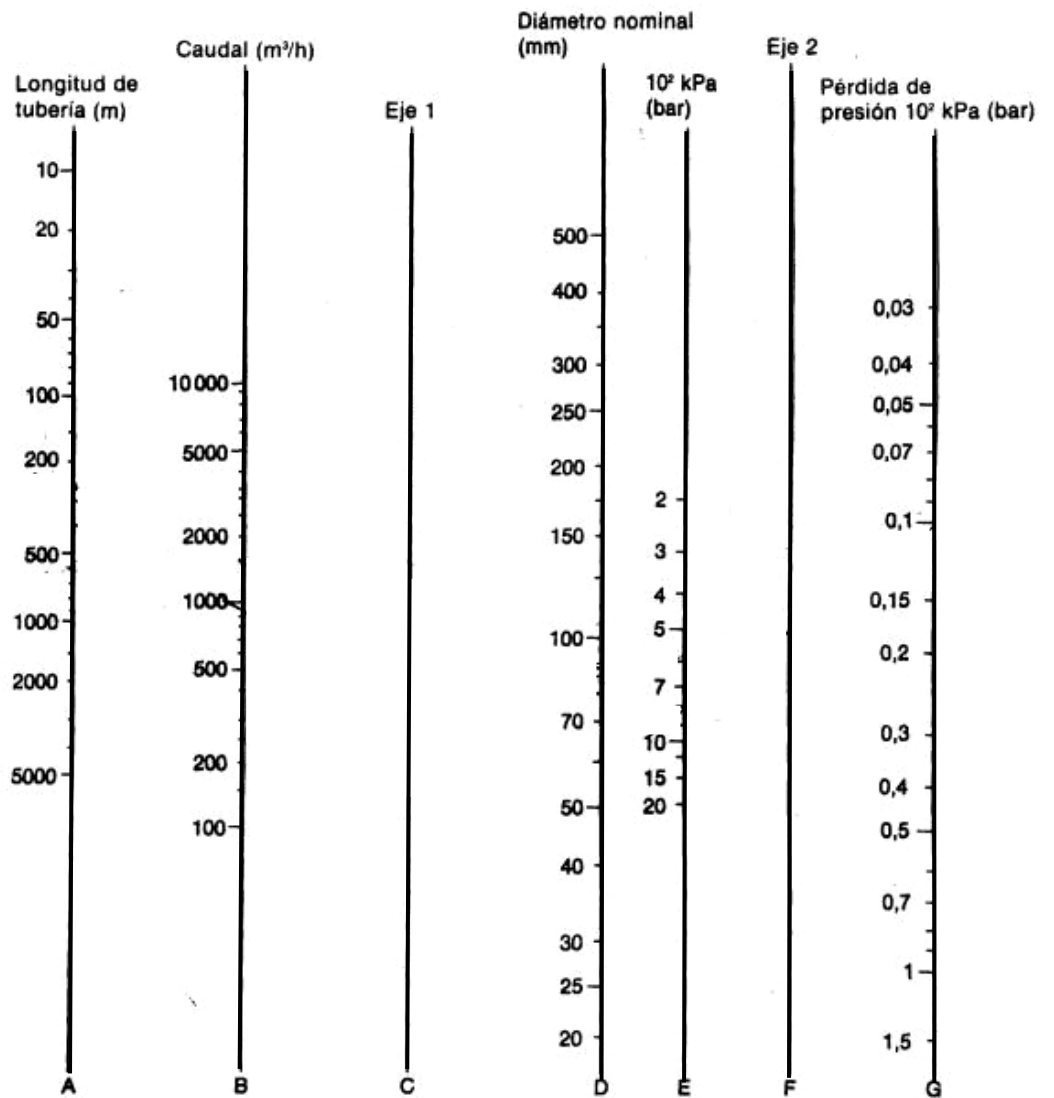


Figura 2.14.- Nomograma para el cálculo de tuberías⁵

Con los valores de longitud provisional y supletoria tenemos un valor de longitud total de tubería, con este dato, el consumo de aire, la pérdida de presión y la presión de servicio se puede determinar, como en el caso anterior, con ayuda del nomograma de la figura 2.11.- el diámetro definitivo de las tuberías.

⁵ Tomado del manual de neumática de FMA Pokorny, Francfort

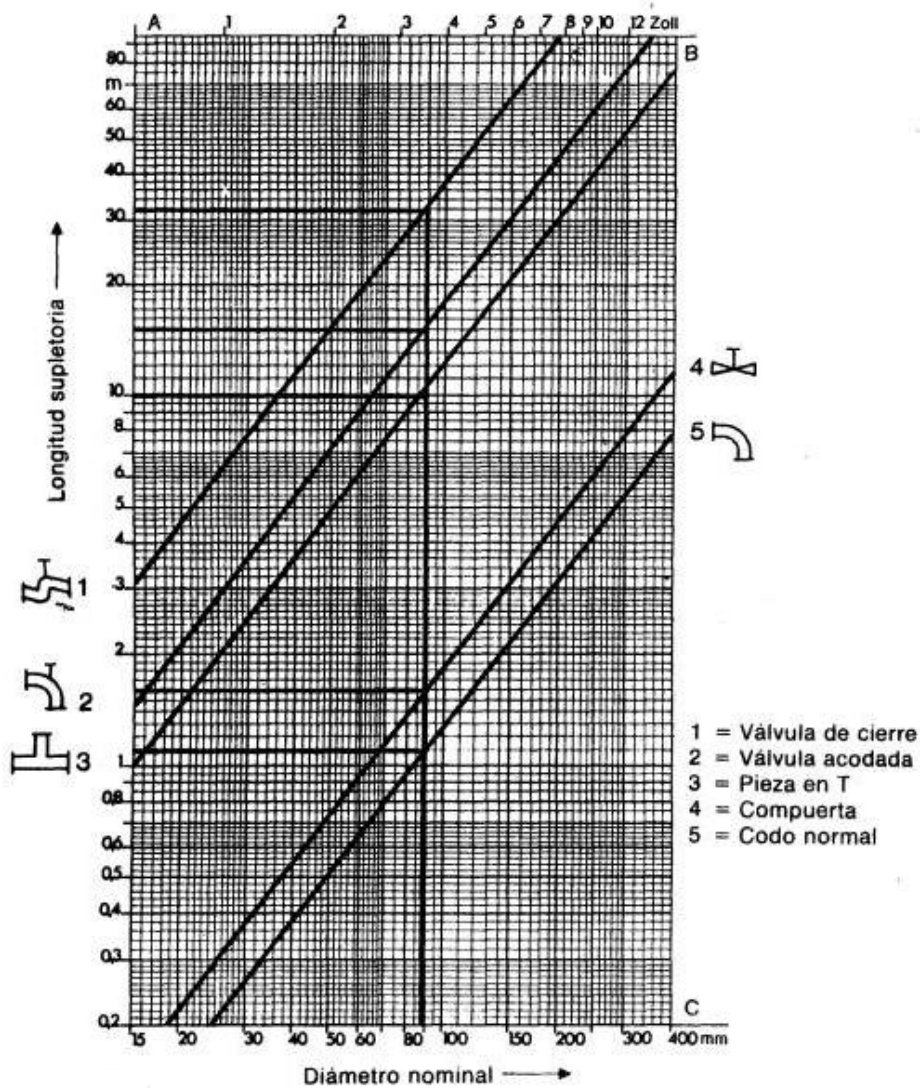


Figura 2.15.- Nomograma longitudes supletorias

USANDO LA FORMULA

Se puede también calcular el diámetro interior de la tubería empleando la siguiente ecuación:

$$d = \sqrt[5]{1,6 \cdot 10^3 \cdot V^{1,85} \cdot \frac{L_{total}}{\Delta p \cdot p_1}} \quad \text{(Ecuación 2.9)}$$

- d** diámetro interior del tubo en metros
- p1** presión de funcionamiento en Pa
- Δp Perdida de presión en Pa (no debe ser superior a 0,1 bar)
- L_{total} Longitud nominal de tubería en metros (valor corregido)
- V** Caudal en m³/s

CÁLCULO PARA TUBERÍAS DE INTERCONEXIÓN

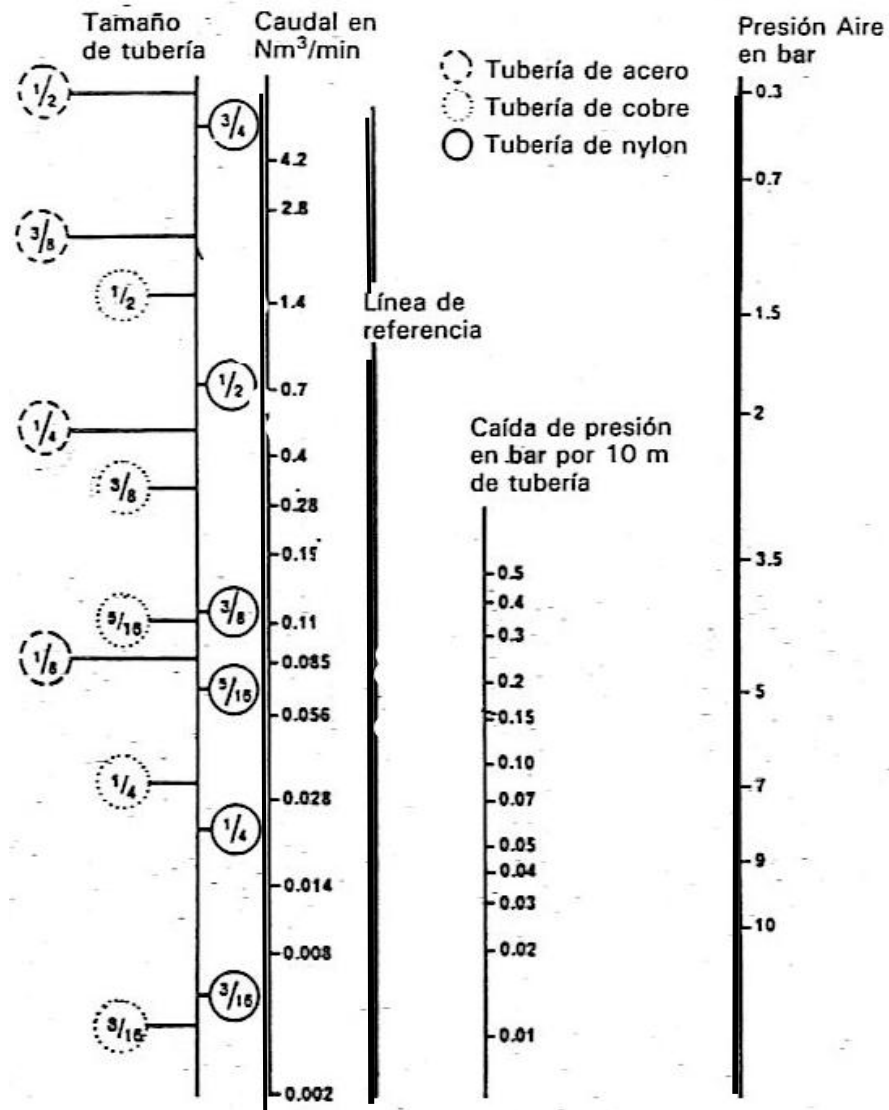


Figura 2.16.- Nomograma para el cálculo de tuberías por cada 10 m de tubería

Las tuberías de interconexión son el último eslabón en la conducción del aire comprimido hacia su conversión de trabajo.

El nomograma de la figura 2.16.- permite obtener cualquiera de las cuatro incógnitas que se presentan en el cálculo de tuberías, sabiendo las tres restantes. Para lo cual se emplea el siguiente procedimiento.

Se toma el valor de la presión en la escala de presiones y el valor de caída de presión en la escala de caída de presión por 10m de tubería,

uniendo estos dos puntos llegamos a la recta “R” sobre la línea de referencia. Desde R trazamos una recta por el valor de caudal indicado (línea de caudal). La misma que al prolongarla a la línea del diámetro de la tubería nos indica el valor de la tubería requerida.

2.16.- TUBERÍAS Y CONEXIONES

Para elegir el material de los tubos utilizados en redes de aire comprimido, hay que tener en cuenta los factores que se indican en la tabla 2.14

TABLA No. 2.14 CRITERIOS PARA ELECCIÓN DE TUBERÍAS

Calidad del aire comprimido	Tuberías resistentes a la corrosión, empalmes. que no provoquen la acumulación de depósitos
Dimensiones de los tubos	Instalaciones cortas o largas
Presión	Poca pérdida de presión; máximo 0,1 bar; fugas mínimas
Condiciones del entorno	Estabilidad a la incidencia de luz solar, resistencia a bacterias y a temperaturas tropicales
Trabajo de montaje	Tendido sencillo de los tubos y montaje de los empalmes, utilización de herramientas y materiales especiales, necesidad de disponer de conocimientos especiales.
Costos del material	Válvulas y accesorios de alta calidad y robustos a precios económicos
Rigidez de los materiales	Utilización de componentes auxiliares para el montaje, por ejemplo escuadras de montaje
Coefficiente de dilatación térmica del material	Temperaturas de servicio extremas.

En una misma red pueden utilizarse diversos materiales. Además, también hay que tener en cuenta siempre los costos de instalación. Los tubos de metal suelen ser mas baratos, pero hay que soldarlos o unirlos con conexiones roscadas, por lo que es posible que el interior de los tubos contenga residuos. La pérdida de presión también depende de la rugosidad de la pared interior de los tubos. En la tabla 2.15 se encuentran datos resumidos sobre la rugosidad de diversos tipos de tubos.

TABLA 2.15 RUGOSIDAD DE LOS MATERIALES

Material	Rugosidad en μm
Tubo de cobre	Menos 1,5
Tubo de material sintético	Menos de 1,5
Tubo de acero estirado	10 hasta 50
Tubo de acero soldado	50 hasta 100
Tubo de hierro zincado	120 hasta 150

Las redes pueden estar construidas de tubos de metal y/o material sintético. En la tabla 2.16 se hace una comparación de las características técnicas de tubos de metal y material sintético.

En la tabla 2.17 se enuncian las ventajas y desventajas de cada uno de los tipos de tuberías.

TABLA 2.16 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE TUBOS DE METAL Y MATERIAL SINTÉTICO

	Tubo de acero sin costura	Tubo roscados	Tubo de acero inoxidable	Tubo de cobre	Tubo de aluminio	Tubo de material sintético
Ejecución	Negro o zincado	Semipesado hasta pesado negro o zincado	Sin costura o soldado	Suave en tuberías circulares, duro en tubos rectos	Recubierto o pintado	Material blando enrollable hasta 100 metros. Material duro en unidades de hasta 3 metros.
Material	Por ejemplo, St 35	Sin costura St 100 Soldado St 33	p. ej. W.S.T. 4301,4541, 4571	Cobre	Aluminio, p. ej. resistente al agua salada	Poliamida (PA, PUR, PE)
Dimensiones	10,2 hasta 558,8 mm	1/8 hasta 6 pulgadas	6 hasta 273 mm	6 hasta 22 mm suave 6 hasta 54 mm duro 54 hasta 131 mm duro	12 hasta 40 mm	12 hasta 63 mm
Presiones	12,5 hasta 25 bar	10 hasta 80 bar	Hasta 80 bar y en parte presión superior	Según ejecución 16 hasta 140 bar	14 bar (a -30 °C hasta +30 °C)	14 bar (a -25 °C hasta +30 °C)
Extremo del tubo	Liso	Cónico, liso o rosca	Liso	Liso	Liso	Liso
Uniones	Soldadura	Racores, soldadura	Soldadura(con	Roscas,	Racores	Racores

			gas protector)	soldadura , racores	enchufables reutilizables	enchufables reutilizables
--	--	--	----------------	------------------------	------------------------------	------------------------------

TABLA 2.17 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS DIFERENTES TIPOS DE TUBERÍAS

	Tubo de acero sin costura	Tubo roscados	Tubo de acero inoxidable	Tubo de cobre	Tubo de aluminio	Tubo de material sintético
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Uniones estancas ▪ Posibilidad de doblar 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Disponibilidad de numerosos racores y accesorios ▪ Posibilidad de doblar 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Uniones estancas ▪ Ausencia de corrosión, ▪ Posibilidad de doblar para máximas calidades de aire (p. ej. en aplicaciones de técnica medica) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ausencia de corrosión ▪ Paredes interiores lisas ▪ Posibilidad de doblar 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Resistente a roturas, ▪ Ausencia de corrosión, ▪ Pared interior lisa ▪ Ligero 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ausencia de corrosión, ▪ Flexible, ▪ Ligero, ▪ Resistente a golpes, ▪ Exento de mantenimiento, ▪ Instalación sencilla, ▪ Conexiones sencillas entre tubos flexibles
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Corrosión (tubos negros) ▪ Montaje por operarios experimentados. ▪ Gran masa en comparación con tubos de plástico o de 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Corrosión, en parte también en tubos cincados, ▪ Grandes resistencias al flujo y resistencias por fricción; ▪ Fugas después de uso prolongado; ▪ Montaje difícil debido a la necesidad de cortar roscas y de soldar; 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Montaje únicamente por operarios experimentados; ▪ Oferta limitada de racores y accesorios; ▪ Piezas costosas 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Montaje por operarios experimentados y especializados. ▪ Posibilidad de formación de calcantita 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Menor distancia entre apoyos en comparación con tubos de acero 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Poca longitud, ▪ Menor distancia entre apoyos en comparación con tubos de acero. ▪ Al aumentar la temperatura disminuye la resistencia a la presión. ▪ Posibilidad de cargas

	aluminio	▪ Montaje por operarios experimentados				electrostáticas. ▪ Gran coeficiente de dilatación térmica (0,2 mm/ °C)
--	----------	--	--	--	--	---

En la tabla 2.18 se compara esquemáticamente los tipos de tubos, parámetros que sirven para seleccionar según las exigencias específicas que plantea cada aplicación.

TABLA 2.18 COMPARACIÓN DE LOS MATERIALES DE TUBERÍAS

Círculo completo = muy adecuado
Semicírculo = suficiente

Material del tubo	Acero	Cobre	Acero inox.	Plástico
Presión superior a 12 bar	●	●	●	◐
Corrosión, calidad del aire	◑	◐	●	●
Temperatura hasta 20 °C	●	●	●	●
Temperatura hasta 50 °C	●	●	●	◐
Características de flujo	◐	●	●	●
Trabajo de montaje	◑	◐	◐	●
Masa por unidad de longitud	◑	◑	◑	●
Trabajo de mantenimiento	◑	●	●	●
Diámetro en 100 metros	◐	◐	●	●
Disponibilidad de válvulas y racores	●	◐	◑	●

Cuarto de círculo = con limitaciones

2.17.- UNIONES

RACORES

Por lo general suelen utilizarse racores. En la figura 2.17 se muestran algunos ejemplos. Estos racores son apropiados para tubos de acero normal o de precisión sin costura. Es recomendable evitar que los racores estén expuestos a grandes fuerzas de tracción, ya que de lo contrario se

produce una fatiga prematura del material. Las formas básicas de los racores son las siguientes:

- Racores rectos
- Racores angulares
- Racores en T

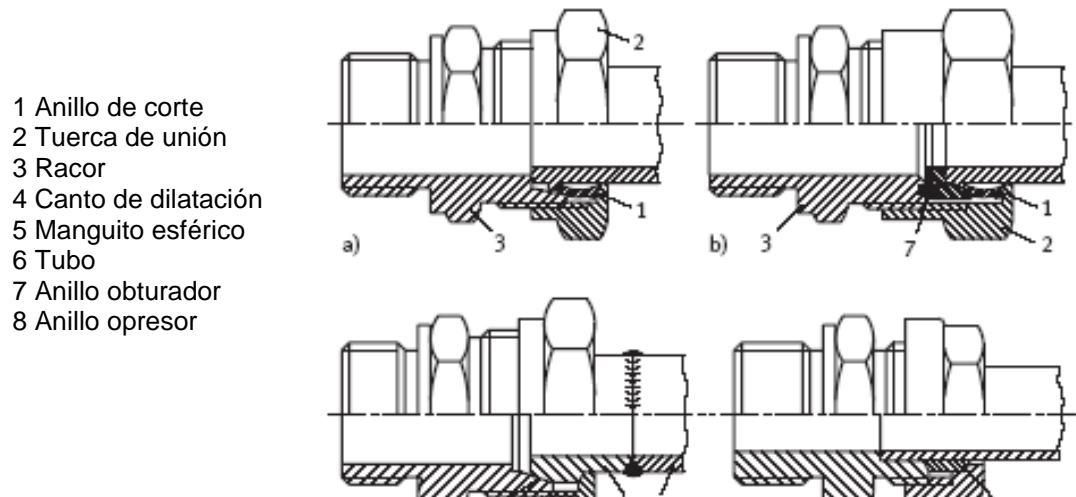
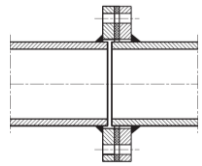
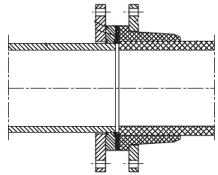
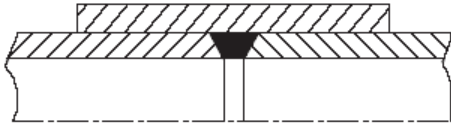


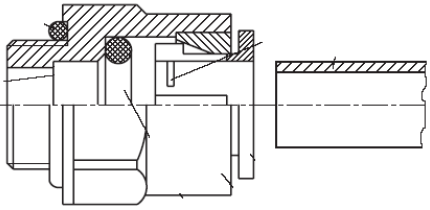
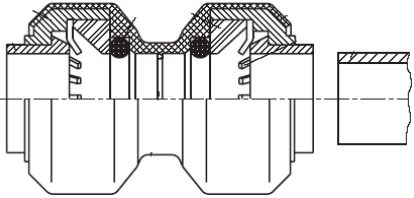
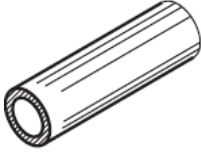

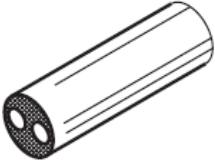
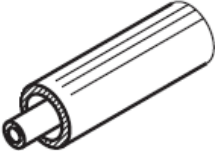
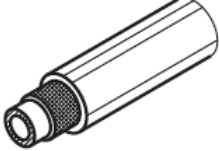
Figura 2.17 a) Racor de anillo cortante, b) Racor de anillo cortante y regulado, c) Racor de manguito esférico, d) Racor de anillo opresor

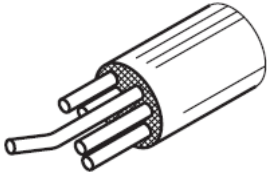
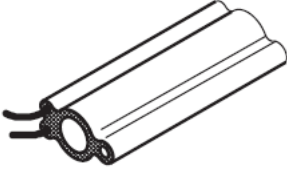
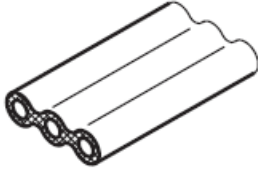
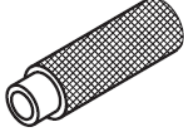
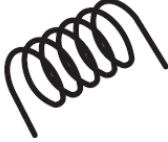
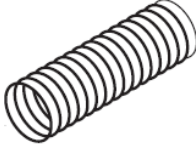

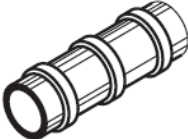
A continuación en la siguiente tabla se enuncia diferentes tipos de bridas y uniones de la tuberías:

TABLA 2.19 DIFERENTES TIPOS DE UNIONES DE TUBERÍAS

Bridas	Unión de tubos metálicos por bridas de centraje	
	Unión por brida de un tubo y material sintético	
Por soldadura	Soldadura a tope con manguito contráctil	

	Soldadura a tope con costura en V	
	Unión mediante pegamento	
Unión de tubos de material sintético mediante racores	Atornillable con anillo de refuerzo	
	Enchufable con tuerca de unión prolongada	
	Con manguito de apriete	
	Con reborde hermetizante para tubos de poliamida	
	Con casquillo de sujeción	
	Para tubos flexibles	

Racores enchufables para tubos	Racor rápido roscado	
	Racor enchufable	
Tubos flexibles y conexiones	Tubo flexible normal	
	Tubo flexible doble soldado	
	Tubo flexible doble incorporado	
	Tubo flexible coaxial	
	Tubo flexible con capa intermedia de refuerzo	

Tubos flexibles y conexiones	Tubo flexible múltiple	
	Tubo flexible híbrido	
	Tubo flexible triple extrudado	
	Tubo flexible recubierto	
	Tubo flexible espiral	
	Tubo flexible ondulado de protección	
	Tubo flexible de vacío con espiral de alambre de acero	
	Tubo flexible con anillos protectores de metal	

CRITERIOS PARA SELECCIÓN DE TUBOS FLEXIBLES

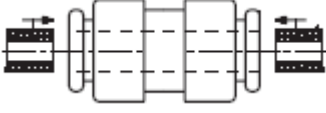
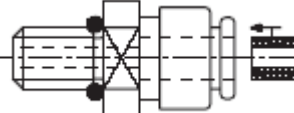
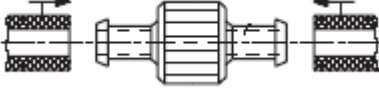
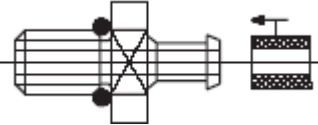
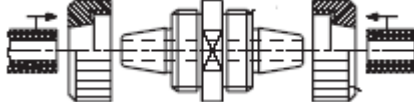
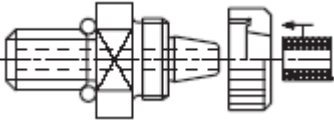
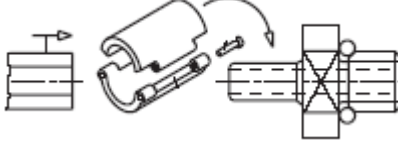
- Flexibilidad, radio de curvatura mínimo
- Resistencia mecánica, resistencia a los golpes y a la fricción
- Resistencia a la fatiga por envejecimiento del material, a rayos ultravioleta, a las condiciones meteorológicas
- Propiedades dieléctricas y electrostáticas
- Inflamabilidad, combustibilidad
- Resistencia a la temperatura
- Resistencia a sustancias químicas, resistencia a aceites minerales.
- Tolerancia de los diámetros interiores y/o exteriores.
- Rugosidad de la pared interior.
- Permeabilidad de gases.
- Posibilidad de soldar o pegar.
- Resistencia a la fatiga por envejecimiento a raíz de vibraciones y tensiones continuas.
- Recuperación duradera, en caso de tubos flexibles en espiral.
- Estabilidad de la forma y de la sección
- Apropiado para uso de cadenas de arrastre
- Apropiado para la industria alimentaria y farmacéutica
- Identificación mediante colores diferentes
- Resistencia a hidrólisis y microbios

TIPO DE CONEXIONES DE TUBOS FLEXIBLES

Existen diversas formas de unir tubos flexibles entre si o de unirlos con válvulas, ya sea de modo permanente o desconectable. En la tabla 2.20 se muestran diversas soluciones técnicas para establecer conexiones de modo sencillo. Cada uno de estos tipos de conexiones tiene muchas

variantes y también hay numerosas posibilidades de combinar elementos funcionales.

TABLA 2.20 CONEXIONES DE TUBERÍAS FLEXIBLES

	<p>Racor rápido enchufable.- Autobloqueante después de enchufar; estanco en el diámetro exterior del tubo</p>
	<p>Racor rápido roscado.- Racor con combinación de rosca y conexión enchufable al extremo del tubo</p>
	<p>Boquilla enchufable.- Las boquillas se introducen en los tubos; estancan en el diámetro interior del tubo; asegurar la unión con abrazaderas</p>
	<p>Racor con boquilla enchufable.- combinación de boquilla y racor roscado; estanco en la rosca y en el diámetro interior del tubo</p>
	<p>Unión rápida.- Montaje por deslizamiento exterior del tubo flexible y aseguramiento mediante tuerca de unión; estanco en el cono y en el interior del tubo</p>
	<p>Racor rápido.- Válvula con rosca y junta cónica para tubos para montaje por deslizamiento exterior</p>
	<p>Abrazadera tubular.- Después de montar el tubo se coloca la abrazadera que se fija mediante un perno. Apropriada para tubos flexibles conductores</p>

En la figura 2.18 se muestra la gran variedad de componentes comerciales utilizados para el transporte y la distribución de aire comprimido. Además, los componentes pueden ser de diversos materiales y tamaños. En la tabla 2.19 se incluyen diversos materiales en función de las aplicaciones, recurriendo a ejemplos que se utilizan actualmente en diversas ramas industriales.

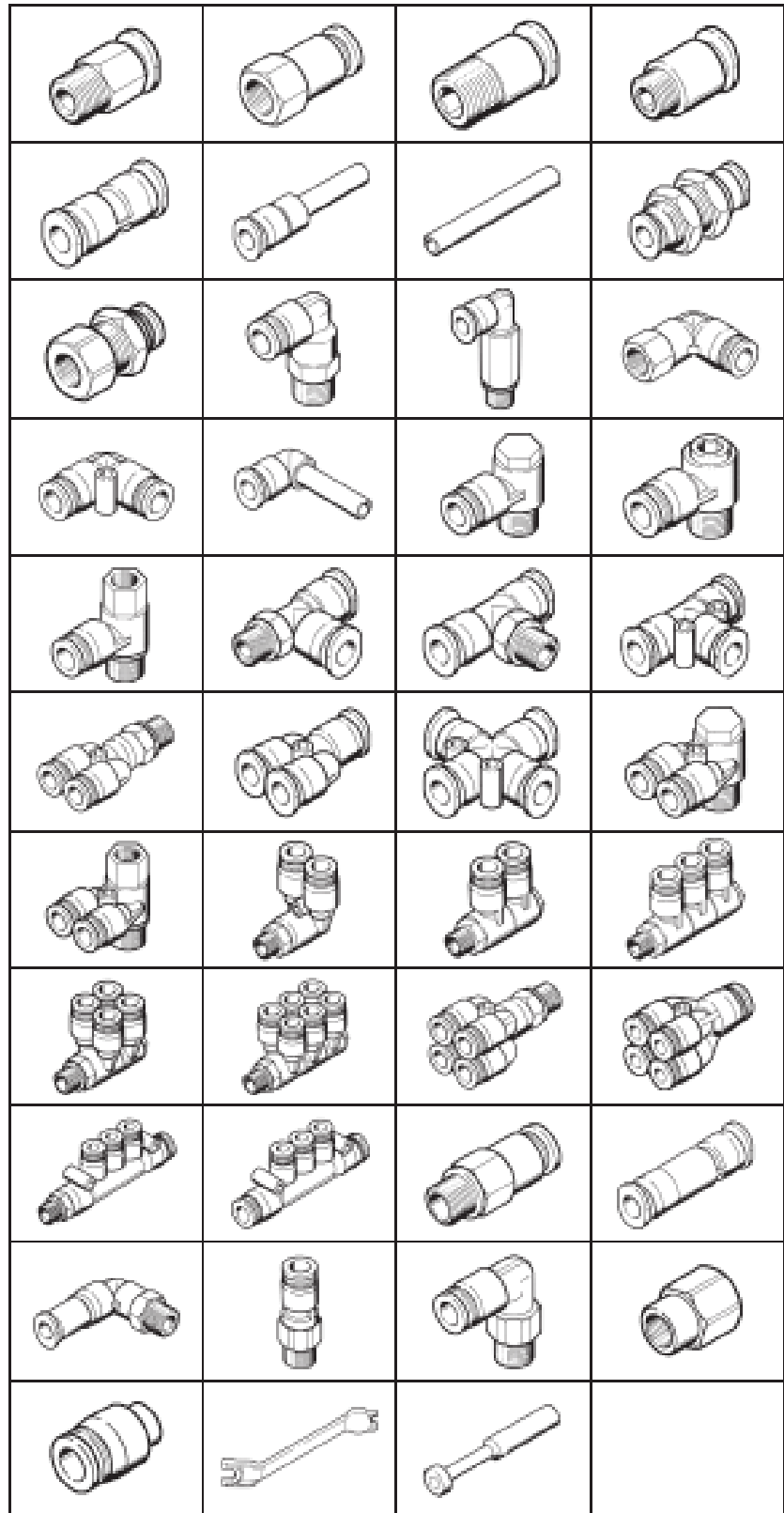


Figura 2.18 Racores roscados y enchufables

TABLA 2.21 APLICACIONES DE LOS RACORES

Componentes de racores rápidos roscados	Versiones mini y estándar	Versiones de metal	Versiones ignífugas	Versiones resistentes a la corrosión y a ácidos	Versiones antiestáticas
Anillo de extracción	Policarbonato	Latón niquelado, cromado	NBR	Vitón	NBR
Manguito elástico	NBR	Vitón	NBR	Vitón	NBR
Cuerpo	Acero, PBT, latón niquelado, aluminio anodizado	Latón niquelado, cromado	PBT (ignífugo)	Acero inoxidable	PBT conductor
Mecanismo de bloqueo	Latón / acero inoxidable	Latón / acero inoxidable	Latón / acero inoxidable	Acero inoxidable	Latón / acero inoxidable
Pieza roscada	Latón / niquelado, masa hermetizante de teflón	Latón / niquelado, cromado	Latón / niquelado, masa hermetizante de teflón	Acero inoxidable	Latón / niquelado masa hermetizante de teflón
Tubos normalizados con tolerancia exterior	PAN, PUN, PUN-H, PLN	PAN, PFAN, PUN, PUN-H, PLN	PAN, VO, PUN-VO, PFAN	PFAN, PUN-H, PLN	PUN-CM

ROSCAS

En la neumática se utilizan roscas hermetizantes especialmente en los puntos de alimentación y de toma de aire. Las roscas se definen por su perfil, el paso, la cantidad de vueltas y el sentido de las espiras. Los tipos de rosca más difundidos se indican en la tabla 2.22

TABLA 2.22 TIPOS DE ROSCAS

Denominación	Abrev.	Ejemplo	Norma
Rosca métrica estándar según ISO	M	M10	DIN 13, ISO 1502
Rosca métrica fina según ISO	M	M16x1, 5	DIN 13

Rosca Withworth de tubos (G)	G	G 1/8	DIN ISO 228
Rosca Withworth de tubos (R)	R	R1/4	DIN 2999
Rosca NPT	NPT	NPT 1/2"	Norma americana
Rosca de tubos blindados	PG	PG21	EN 50626, DIN 40431

Rosca métrica según ISO: Este tipo de rosca se utiliza en tornillos y tuercas de todo tipo. También se llama rosca estándar porque se utiliza para los mas diversos fines. El Angulo de ataque de la rosca es de 60°.

Rosca métrica fina ISO: Este tipo de rosca se utiliza en elementos de sujeción y hermetizantes. El paso de rosca es menor que en el caso de las roscas tipo estándar, por lo que la cantidad de espiras es mayor.

Rosca Whitworth fina ISO: El ángulo de ataque en estas roscas es de 55°. Estas roscas no se utilizan con fines hermetizantes. La rosca es cilíndrica y su identificación esta determinada por el diámetro nominal; diámetro interior del tubo; sobre el que se monta la rosca.

Rosca Whitworth fina (R): Se trata de una rosca cónica hermetizante; cono de relación 1:16;. Esta rosca se utiliza para uniones de tubos y para racores. En la siguiente tabla se incluye la conversión de las indicaciones del diámetro:

TABLA 2.23 CONVERSIÓN DE ROSCAS WITHWORTH

Tamaño de la rosca en pulgadas, diámetro exterior del tubo	R1/8	R1/4	R3/8	R1/2	R3/4	R1	R1 1/4	R1 1/2	R 2
Diámetro nominal del tubo según DIN 2440 en mm	6	8	10	15	20	25	32	30	50
Diámetro exterior de la rosca en mm	9,7	13,2	16,7	21,0	26,4	33,3	41,9	47,8	59,6
Long. útil de la rosca mm	6,5	9,7	10,1	13,2	14,5	16,8	19,1	19,1	23,4

Rosca NPT (national pipe thread): Se trata de una rosca americana cónica que se utiliza en fábricas de máquinas y de automóviles.

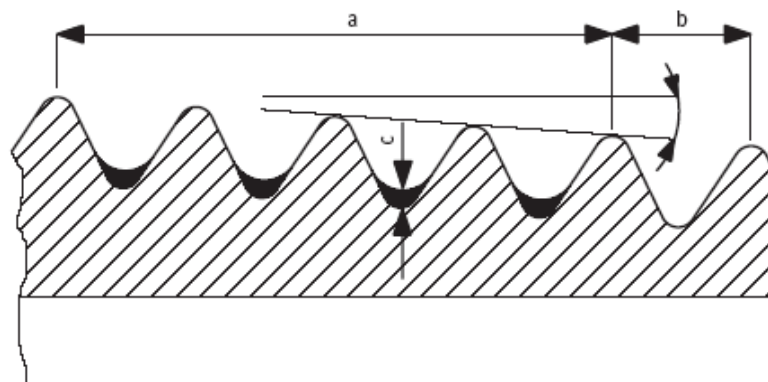
Rosca de tubos blindados: Esta rosca se utiliza en tubos de pared delgada con tubo de protección de acero, especialmente en la electrotecnia.

Para conseguir que las roscas sean estancas, se puede recurrir a uno de los siguientes métodos:

- Utilización de retenes o cinta de teflón
- Aplicación de pegamento o de agentes hermetizantes especiales
- Utilización de roscas con recubrimiento de teflón

Tal como se aprecia en la figura 2.19.-, la rosca solo tiene un recubrimiento parcial. De esta manera se evita un excedente de material hermetizante que podría ensuciar el interior del tubo al ajustarse la rosca. Por esta misma razón también es importante respetar los momentos de apriete indicados. Si una rosca pierde sus propiedades hermetizantes por haberse utilizado varias veces; mas de 5 veces; deberá emplearse una cinta de teflón.

a) Zona recubierta



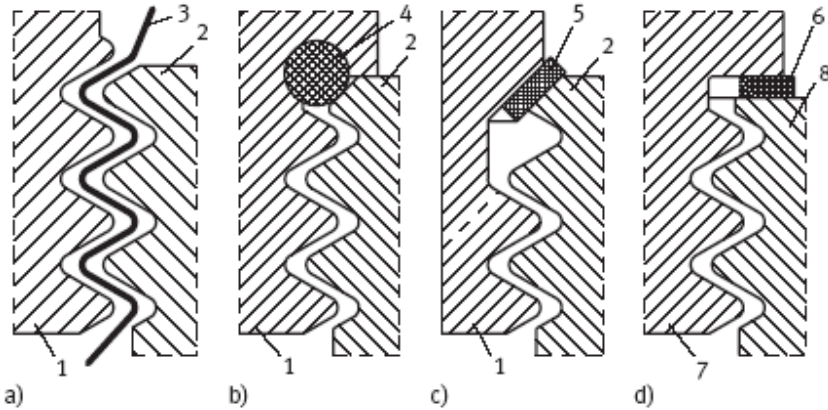
b) Zona sin recubrimiento

c) Grosor del material sin recubrimiento

Figura 2.19 Tramo de una rosca con recubrimiento de teflón

En la figura 2.20.- se muestran otras posibilidades para conseguir que las roscas sean estancas. Entre estas posibilidades se incluye el uso de juntas de material sintético o de metal, para lo que las roscas correspondientes deben tener los rebajes, superficies o acanaladuras necesarias.

- | | | |
|--------------------------------|------------------|-------------------------|
| a) Cinta obturadora | 1 Rosca exterior | 5 Junta metálica de 45° |
| b) Junta tórica en acanaladura | 2 Rosca interior | 6 Junta plana |



- | | | |
|--------------------------------------|-------------------|-------------------------------|
| c) Hermetización de un rebaje de 45° | 3 Cinta de teflón | 7 Rosca R cónica exterior |
| d) Junta plana | 4 Junta tórica | 8 Rosca interior G cilíndrica |

Figura 2.20.- Diversos métodos para hermetización de roscas

III DISEÑO DEL BANCO DE PRUEBA

3.1.- REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA

En la tabla 3.1 se detalla los valores de servicio de las diferentes válvulas reguladoras de presión.

La válvula de control de presión de prueba entrega un flujo de aire de hasta 76,20 m³/h (1270 l/min), este flujo está en función de la presión de aire de entrada y de la reducción de presión deseada. El flujo de aire puede ser regulado por el ajuste de un tornillo de regulación en la entrada de la válvula.

La presión de aire puede variar de 1.5x10⁵ a 10x10⁵ Pa (21,77 a 145,03 PSI). La reducción de presión esta entre 10000 y 150000 Pa (1,45 a-21,75 PSI), dependiendo del tipo de compartimiento a presurizar. El ajuste de la presión reducida es definido por el usuario y se lo hace durante las pruebas.

TABLA 3.1 VALORES DE SERVICIO DE LAS VÁLVULAS

VÁLVULA	B14GD2011	B14GD2031	B14GD2051	B14GD2021
Presión de entrada Pa	1,5x10 ⁵ Pa a 20x10 ⁵ Pa			
Presión de salida (KPa)	11±3,5	61,5±4,5	69,7±4,2	51,7±4,2
Máx flujo (l/min)	735	700	700	365
Temp. aire de entrada (°C)	≤240			
Válvula de alivio incorporada				
Activación (KPa)	34,5≥Δp≥24,5	83,5≥Δp≥73,5	93≥Δp≥83	72,5≥Δp≥65,5
Presión relativa de reducción(KPa)	≤34,5	≤83,5	≤93,0	≤72,5
VÁLVULA	B14GD2041	B14GD2071	4207-1	B14GD2101
Presión de entrada (Pa)	1,5x10 ⁵ a 20x10 ⁵ Pa			
Presión de salida (KPa)	61,5±4,5	78±4	91,2±4,2	116,7±3,7
Máx flujo (l/min)	700	665	735	135
Temp. aire de entr (°C)	≤240			
Válvula de alivio incorporada				
Activación (KPa)	83,5≥Δp≥73,5	127,5≥Δp≥107,5	115≥Δp≥105	140≥Δp≥130
Presión relativa de reducción(KPa)	≤83,5	≤127,5	≤115	≤520

3.2.- SELECCIÓN DEL FILTRO PARA AIRE

Al igual que en todo lugar, el aire atmosférico encontrado en la ciudad de Latacunga no es totalmente puro, a estas impurezas propias se suman las impurezas encontradas en la red de tuberías, como también los residuos en el depósito, tales como óxido, cascarilla, residuos de soldadura y restos de teflón empleado en el montaje de la valvulería, uniones y tubería.

Es así que de acuerdo a la tabla 2.6, se ha determinado el empleo de un filtro con una clase de filtración 40 μm , considerando que el banco de prueba contiene válvulas y llaves de paso, además las calibraciones efectuadas con la válvula de regulación no son finas.

Aplicaciones	Cuerpos Sólidos (μm)	Punto de condensación del agua (0°C)	Contenido máx de aceite (mg/m^3)	Clase de filtración recomendada
Máquinas herramientas	40	+3	25	40 μm

Se ha seleccionado un filtro del Tipo A de acuerdo a la tabla 2.12, que es el más común con capacidad de retener partículas de tamaños superiores a 40 μm y es de tipo cartucho.

	Tipo de filtro	Campo de aplicación	Función principal
A	Se aceptan ligeras impurezas, humedad y aceite	Accionamiento de mandos de máquinas, sistema de sujeción, martillos percutores, chorros de aire, aire para taller	Eliminación de impurezas, partículas de polvo superiores a 5 μm , aceite líquido superior a 99%, humedad sobresaturada inferior a 99%

Los condensados son eliminados manualmente mediante trampas ubicadas en varios puntos de la tubería principal

3.3.- ANÁLISIS SOBRE LA HUMEDAD DEL AIRE

Estadísticamente y empleando un medidor de humedad que se dispone en el Ala No. 12, se ha podido determinar un valor promedio de humedad del

aire del 80%., de la misma forma la presión barométrica es de 1,033 bares
 Como sabemos que la cantidad de agua depende de la presión atmosférica local y la temperatura, si el aire se enfría el vapor de agua se condensa, los límites de la condensación están determinados por el punto de rocío.

3.4.- CALCULO DEL PUNTO DE ROCÍO

La temperatura a la cual el aire se satura de vapor de agua, lo vamos a calcular a continuación:

DATOS

Humedad relativa del aire $W_{rel}=0,80\%$

Presión del aire $Pr= 10 \text{ bar}$

Temperatura $T^\circ= 20^\circ\text{C}$

De acuerdo a la tabla 3.2. la presión de saturación a 20°C es 23,37

TABLA 3.2 RELACIÓN PRESIÓN DE SATURACIÓN Y TEMPERATURA⁶

T en °C	P _s en mbar	T en °C	P _s en mbar	T en °C	P _s en mbar
-20	1,029	+2	7,055	+24	29,82
-18	1,247	+4	8,129	+26	33,60
-16	1,504	+6	9,345	+28	37,78
-14	1,809	+8	10,70	+30	42,41
-12	2,169	+10	12,70	+32	47,53
-10	2,594	+12	14,01	+34	53,18
-8	3,094	+14	15,97	+36	59,40
-6	4,681	+16	18,17	+38	66,24
-4	4,368	+18	20,62		
-2	5,172	+20	23,37		
0	6,108	+22	26,42		

- Se calcula en contenido de agua x (g/kg)

$$x = 0,622 \cdot \frac{\varphi_{rel} \cdot P_s}{p - \varphi_{rel} \cdot P_s} \cdot 10^3 \quad (\text{Ecuación 3.1})$$

$$x = 0,622 \cdot \frac{0,80 \times 0,02337}{10 - (0,80 \times 0,02337)} \cdot 10^3 = 1,1650 \text{ g / Kg}$$

⁶ Manual de neumática de la FESTO AG & Co.

Con este valor en el diagrama de Mollier de la figura 3.1.- se lee la temperatura de condensación de 14,2°C, que es el valor de temperatura a la cual el aire se satura de vapor de agua

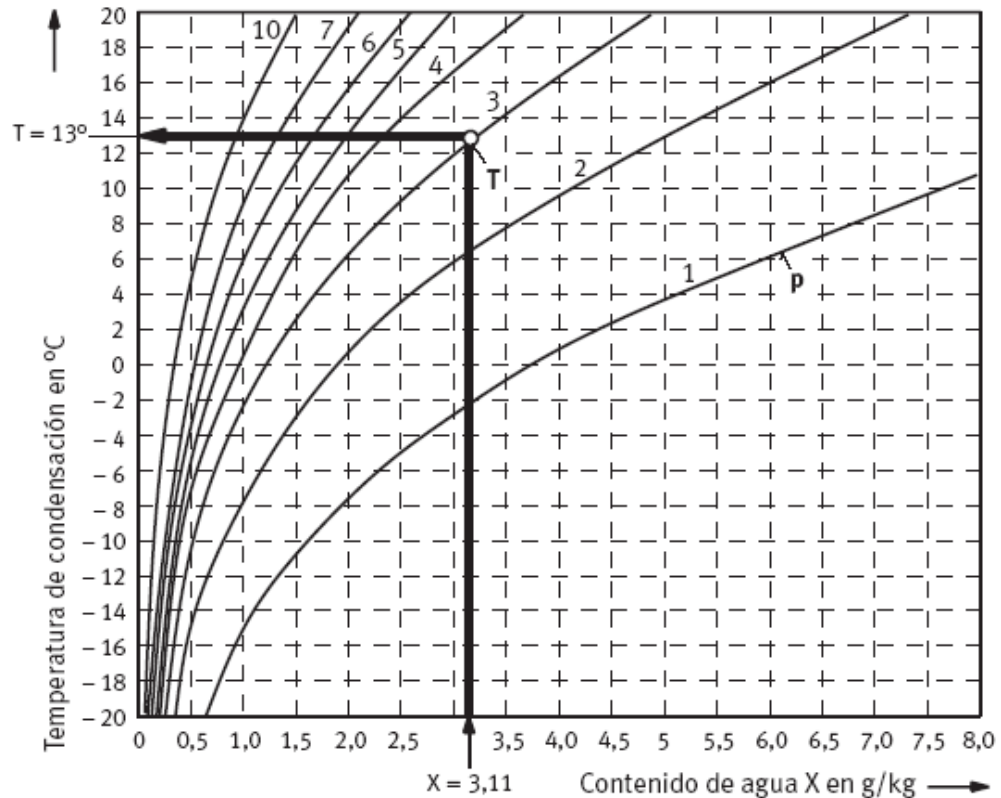


Figura 3.1.- Diagrama de Mollier

3.5.- PRODUCCIÓN DEL AIRE COMPRIMIDO

Se ha empleado la red de aire comprimido que se dispone en el taller de Accesorios del Ala No. 12, cuya red tiene instalado un compresor de tipo pistón de dos cabezales en V cuya presión máxima es de $10 \times 10^5 \text{ Pa}$ (10bar), una potencia de 2 HP.

3.6.- SELECCIÓN DE LA UNIDAD DE MANTENIMIENTO

Para seleccionar la unidad de mantenimiento se ha considerado los siguientes criterios:

- El diámetro de la conexión de entrada al banco de prueba, es decir, un diámetro igual a $\frac{1}{2}$ pulg.

- Se ha instalado en la parte posterior del banco de prueba donde se considera que la temperatura no va aumentar.
- Posee una válvula de cebado manual de condensados.
- Razón por la cual se ha seleccionado una del tipo de A de acuerdo a la tabla 2.13.

	Características de las aplicaciones	Ejemplos de aplicaciones	Función principal
A	Aplicaciones con poca dependencia de la presión primaria, con caudales variados y con descarga de la presión secundaria	Sistemas de control neumático; chorros con arena; pintura a pistola; motores neumáticos	Aplicaciones del caudal con poca dependencia de la presión primaria, regulación de la presión entre 0,5 y 16 bar; caudal hasta 15.000 l/min.; histéresis inferior a 0,05 bar; precisión de repetición de 0,2 bar; descarga de la presión en el circuito secundario; compensación de presión y de caudal

3.7.- SELECCIÓN DEL DIÁMETRO DE LA TUBERÍA

La red empleada es la que ya está instalada en el taller y es una del tipo red abierta. Pero debemos determinar el diámetro de la tubería de las líneas del banco de prueba, para lo cual se va a emplear el método de la ecuación (Ecuación 3.2) para este cálculo:

DATOS

Caudal: 735 lt/min = 0,01225 m³/s

Longitud de la tubería: 4 m.

Pérdida de presión admisible: 0,1 bar

Presión de servicio: 10 bar

$$d = \sqrt[5]{1,6 \cdot 10^3 \cdot \dot{V}^{1,85} \cdot \frac{L_{total}}{\Delta p \cdot p_1}} \quad (\text{Ecuación 3.2})$$

$$d = \sqrt[5]{1,6 \cdot 10^3 \cdot 0,01225^{1,85} \cdot \frac{4m}{0,1 \cdot 10^5 \cdot 10 \cdot 10^5}}$$

$d = 11,32 \text{ mm}$, por lo cual se escoge la tubería de $\frac{1}{2} \text{ pul} = 12,7 \text{ mm}$

3.8.- PERDIDA DE PRESIÓN EN LAS LÍNEAS DEL BANCO DE PRUEBA

Para determinar la pérdida de presión en las líneas del banco de prueba y debido a que la distancia total que tiene la tubería que es relativamente corta, se ha empleado el método experimental, es decir, se ha colocado un manómetro (Figura 3.2.-) a la entrada y a la salida del banco de prueba (Figura 3.3.-), lo que ha dado una diferencia de presiones de 0,07 bares, que quiere decir que es la presión que se ha perdido en la tubería, lo que definitivamente es aceptable de acuerdo a las parámetros recomendados.



Figura 3.2.- Presión de entrada al banco de prueba, con un valor de 104 PSI



Figura 3.3.- Presión de entrada al banco de prueba, con un valor de 105 PSI

3.9.- MATERIAL DE LAS TUBERÍAS

CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DEL

De acuerdo a los criterios indicados en la tabla 3.3 se determina que el material de la tubería escogido es tubo de hierro galvanizado.

TABLA 3.3 CRITERIOS PARA SELECCIÓN DEL MATERIAL DE LA TUBERÍA

Calidad del aire comprimido	Tuberías resistentes a la corrosión, empalmes. que no provoquen la acumulación de depósitos
Dimensiones de los tubos	Instalaciones cortas
Presión	Presión máxima de 15 bares, Poca pérdida de presión; máximo 0,1 bar; fugas mínimas
Condiciones del entorno	Estabilidad a la incidencia de luz solar, resistencia a bacterias
Trabajo de montaje	Tendido sencillo de los tubos y montaje de los empalmes, utilización de herramientas de roscado común.
Costos del material	Accesorios de calidad y robustos a precios económicos
Rigidez de los materiales	Utilización de componentes auxiliares para el montaje, por ejemplo abrazaderas y soportes
Coefficiente de dilatación térmica del material	Temperaturas de servicio ambientales

Además se ha considerado las características técnicas descritas en la tabla 3.4 de este material de tubería

TABLA 3.4 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

	Tubo roscados
Ejecución	Semipesado hasta pesado negro o zincado
Material	Sin costura St 100 Soldado St 33
Dimensiones	1/8 hasta 6 pulgadas
Presiones	10 hasta 80 bar
Extremo del tubo	Cónico, liso o rosca

Uniones	Racores, soldadura
----------------	--------------------

Este material presenta las siguientes ventajas y desventajas

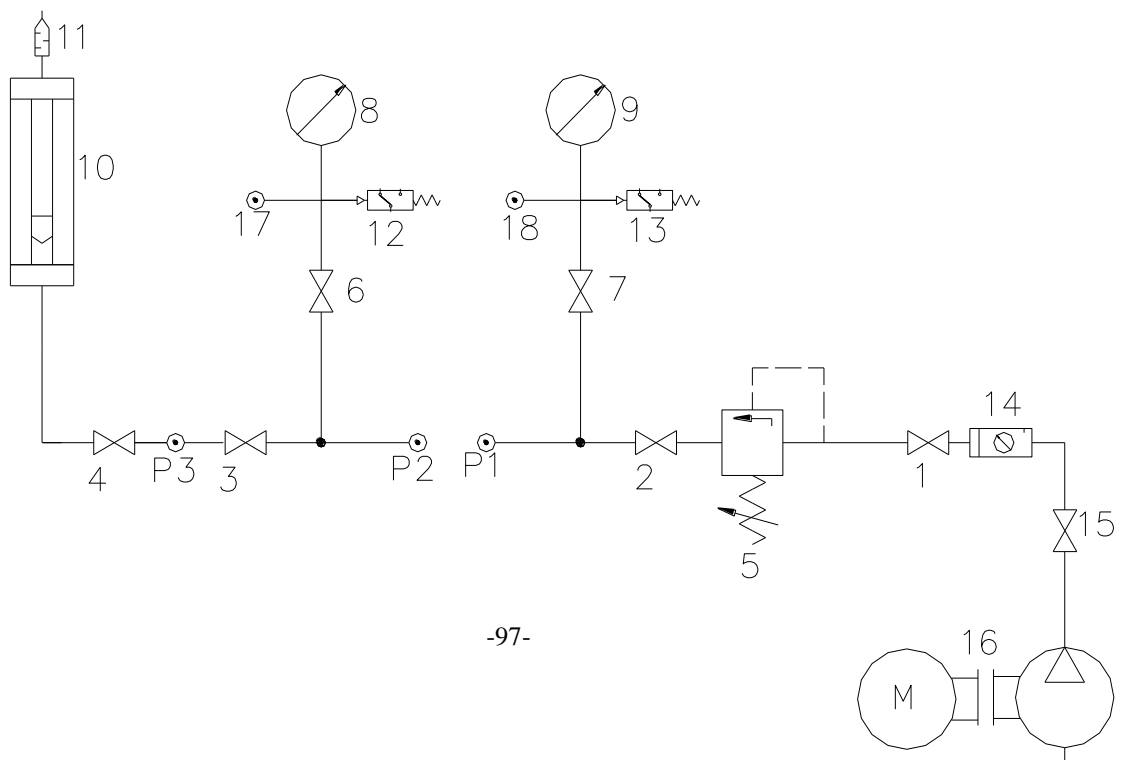
- | | | |
|--------------------|---|---|
| Ventajas | } | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Disponibilidad de numerosos racores y accesorios ▪ Posibilidad de soldar. ▪ Costo económico ▪ Disponibilidad mercado |
| Desventajas | | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Corrosión, en parte también en tubos cincados, ▪ Resistencias al flujo y resistencias por fricción; ▪ Fugas después de uso prolongado; ▪ Montaje difícil debido a la necesidad de cortar roscas y de soldar; ▪ Montaje por operarios experimentados |

Además se ha analizado las exigencias específicas que presentan cada material de las tuberías, que son las que se detallan en la tabla 2.18

Las uniones y codos han sido roscados con una rosca estándar ISO M12, además para estas uniones se ha empleado un pegamento hermetizante denominado “Permatex” así como cinta de teflón para cada unión.

3.10. - ESQUEMA NEUMÁTICO

El diagrama de la figura 3.4.- representa esquemáticamente el sistema neumático diseñado y construido.



- | | |
|--|---|
| 1. Válvula de cierre | 11. Silenciador |
| 2. Válvula de cierre | 12. Convertidor de señales neumát/eléct |
| 3. Válvula de cierre | 13. Convertidor de señales neumát/eléct |
| 4. Válvula de cierre | 14. Unidad de mantenimiento |
| 5. Regulador de presión | 15. Válvula de cierre |
| 6. Válvula de cierre | 16. Compresor |
| 7. Válvula de cierre | 17. Punto de conexión para calibración |
| 8. Manómetro 0-15 PSI | 18. Punto de conexión para calibración |
| 9. Manómetro 0-250 PSI | P1, P2, P3 puntos conexión de presión |
| 10. Flujómetro 0-120 m ³ /hr. | |

Figura 3.4.- Diagrama del banco de prueba

El circuito neumático del banco de prueba construido, contiene los siguientes elementos:

1. **Válvula de cierre.-** controla la abertura y cierre general de aire hacia el banco de prueba.
2. **Válvula de cierre.-** controla el paso y cierre de aire hacia el sistema de alta presión.
3. **Válvula de cierre.-** controla el paso y cierre de aire hacia el sistema de baja presión.
4. **Válvula de cierre.-** controla el paso y cierre de aire hacia el flujómetro.
5. **Regulador de presión.-** permite colocar los valores de presión deseados, para las diferentes pruebas.

6. **Válvula de cierre.-** controla el paso de presión para el manómetro de baja presión, además aísla al manómetro para realizar su calibración con un patrón de prueba.
7. **Válvula de cierre.-** controla el paso de presión para el manómetro de alta presión, además aísla al manómetro para realizar su calibración con un patrón de prueba.
8. **Manómetro 0-15 PSI.-** indicador de los valores de presión en PSI del lado de baja presión.
9. **Manómetro 0-250 PSI.-** indicador de los valores de presión en PSI del lado de alta presión.
10. **Flujómetro 0-120 m³/hr.-** indicador de cantidad de flujo de aire en lt/min.
11. **Silenciador.-** unidad que sirve para reducir el ruido que generan el aire de salida.
12. **Convertidor de señales neumático/eléctrico.-** transforma las magnitudes de presión del lado de baja a señales eléctricas.
13. **Convertidor de señales neumático/eléctrico.-** transforma las magnitudes de presión del lado de alta a señales eléctricas.
14. **Unidad de mantenimiento.-** compuesta por un filtro, un regulador de presión y un lubricador.
15. **Válvula de cierre.-** controla el paso principal de fluido.
16. **Compresor.-** unidad generadora de presión y flujo de aire.
17. **Punto de conexión para calibración.-** empleado para conectar un patrón de verificación y calibración.
18. **Punto de conexión para calibración.-** empleado para conectar un patrón de verificación y calibración.
- P1, P2,P3 puntos de conexión de presión.-** para conectar con la unidad que está bajo prueba.

3.11.- ESQUEMA ELÉCTRICO

Diagrama de alimentación de 110 V de AC.

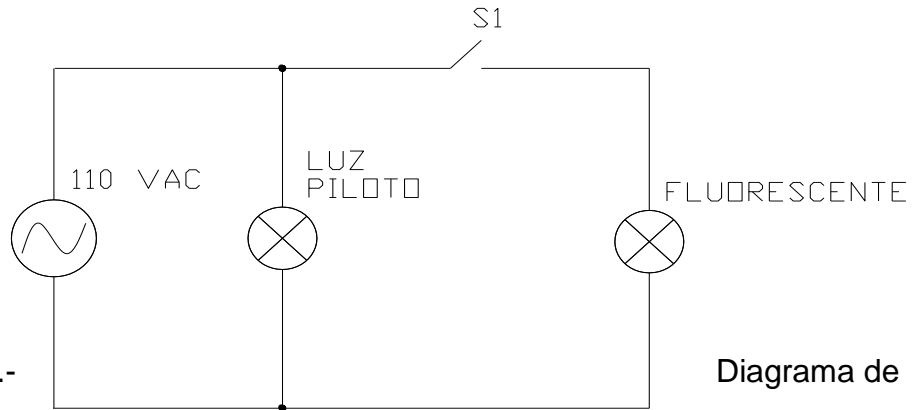


Figura 3.5.-
alimentación

Diagrama de
de 110 V de AC

El circuito eléctrico que se detalla en la figura 3.5.-, básicamente consiste en alimentar a una luz piloto que indica al operador la presencia de energía y a su vez esta energía alimenta a la luz fluorescente que alumbr a la mesa de trabajo.

Diagrama de alimentación de 28 V de DC

El circuito eléctrico de corriente continua que es el que se indica en la figura 3.6.-, alimenta a los transductores de presión, a su vez el voltaje generado por los transductores se toma a través de un divisor de voltaje para conectarse con la tarjeta de adquisición de datos. Este circuito tiene conectado una luz piloto para indicar al operador la presencia de corriente continua. También tiene un fusible para proteger a los transductores de presión. Una fuente de voltaje variable de DC ubicada en el taller alimenta al sistema.

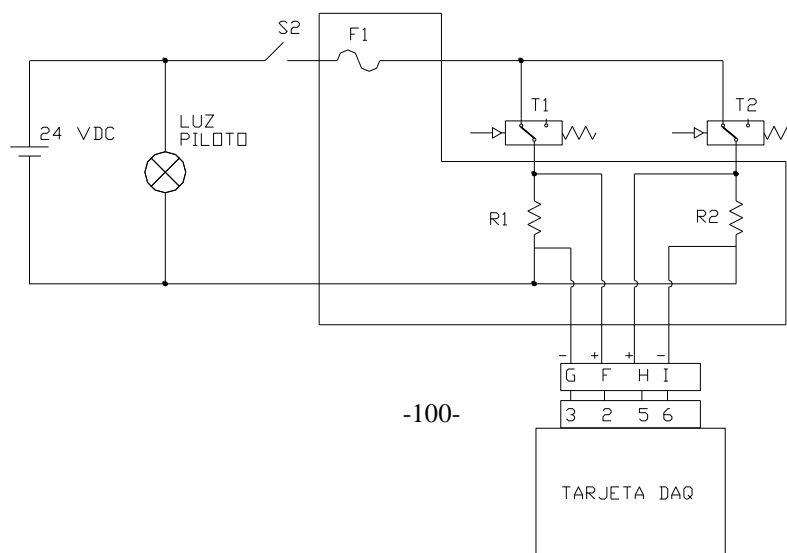


Figura 3.6.- Diagrama de alimentación de voltaje DC

3.12.- DISEÑO DE CONSTRUCCIÓN

El banco de prueba, cuyas fotografías son las de la figura 3.7.-. está construido con una estructura de perfil de ángulo de $\frac{1}{2}$ " revestido por toll de $\frac{1}{32}$ ". Para lo cual se ha empleado máquinas como suelda eléctrica, remachadora, dobladora y cortadora de toll.

Es robustamente fabricado con el fin de alojar a las tuberías, instrumentos, accesorios neumáticos y eléctricos que son parte de los sistemas empleados para comprobar funcionalmente las válvulas reguladoras de presión.

Además contiene una mesa de trabajo donde se asegura la válvula de prueba para realizar las conexiones de las tuberías, así como los ajustes de los elementos de calibración cuando se requiere ajustar los parámetros de la válvula.

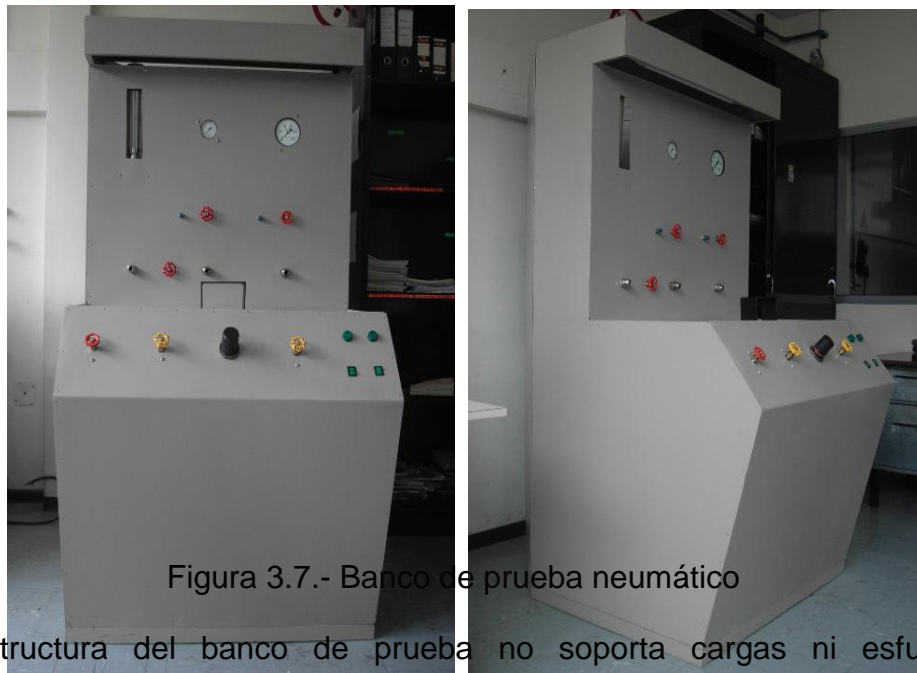


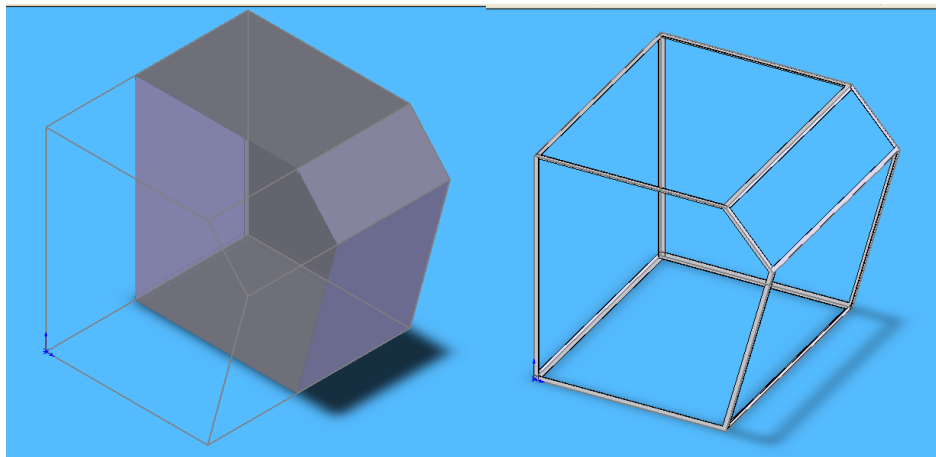
Figura 3.7.- Banco de prueba neumático

La estructura del banco de prueba no soporta cargas ni esfuerzos considerables, sin embargo se ha procedido a analizar el diseño y materiales seleccionados con el Software de Diseño Mecánico "COSMOS" cuyo procedimiento y resultados son los siguientes:

- De acuerdo a los resultados del análisis de diseño, los cuales están basados en un análisis estático lineal y asumiendo que el material es

isotrópico. Se deduce que el diseño la construcción del banco empleando los elementos seleccionados, es totalmente adecuado para soportar las cargas y esfuerzos a los que se somete

- Como se indica en la figura 3.8.- se procede a graficar la estructura del banco de prueba, en el Anexo “B” se indican las especificaciones del ángulo estructural empleado.



- Considerando que la presión ejercida sobre el banco es de 30 N/m^2 se procede a realizar las simulaciones, obteniéndose la hoja de resultados adjuntada en el Anexo “A”. Sin embargo a continuación se resume analítica y gráficamente los resultados alcanzados.

En la figura 3.9.- se define como restricción sin desplazamiento a la base del banco de prueba en todos los sentidos de dirección.

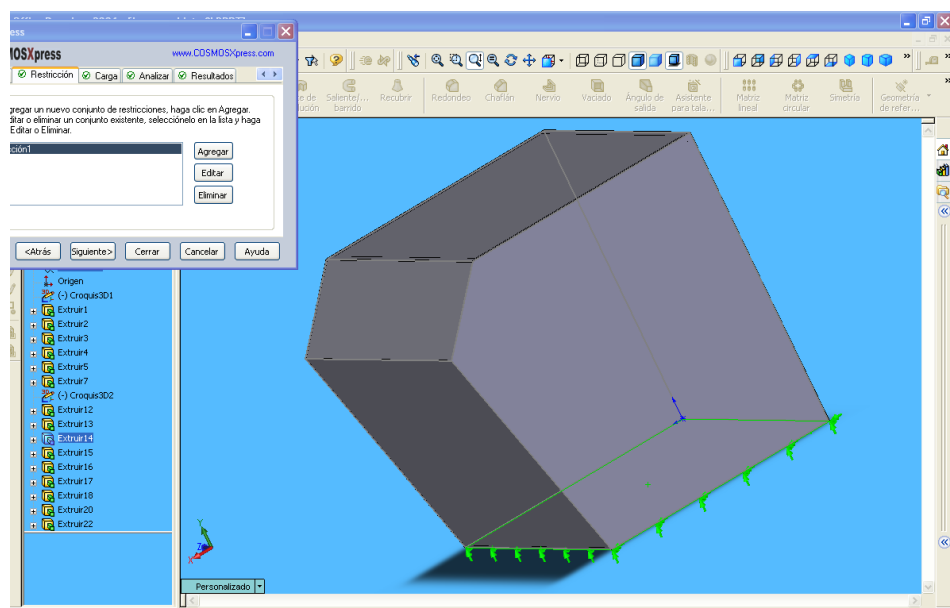


Figura 3.9.- Restricciones aplicadas

Se trata a la estructura como un elemento finito es por eso que resulta un mallado con elementos sólidos tetraédricos, como se indica en la figura 3.10.-

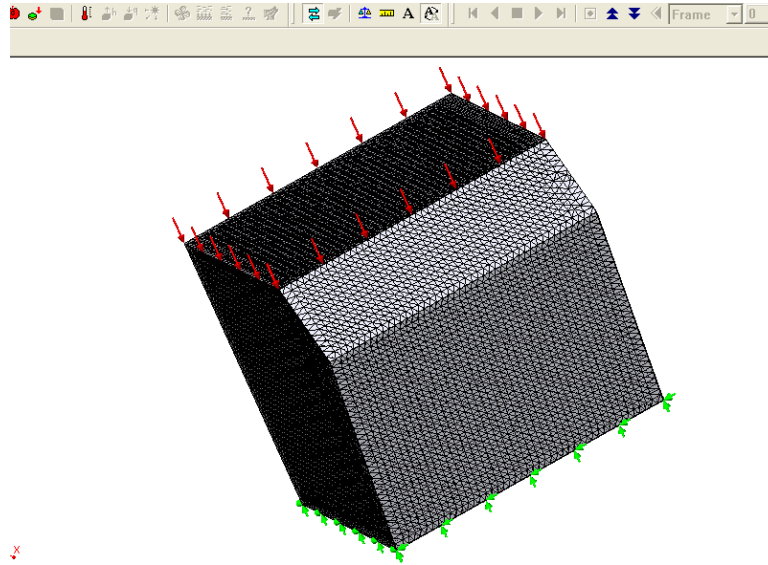


Figura 3.10.- Gráfico del mallado de la estructura

Los esfuerzos máximos se ubican en los vértices y el centro de la mesa de trabajo, tal como se puede ver en la figura 3.11.-

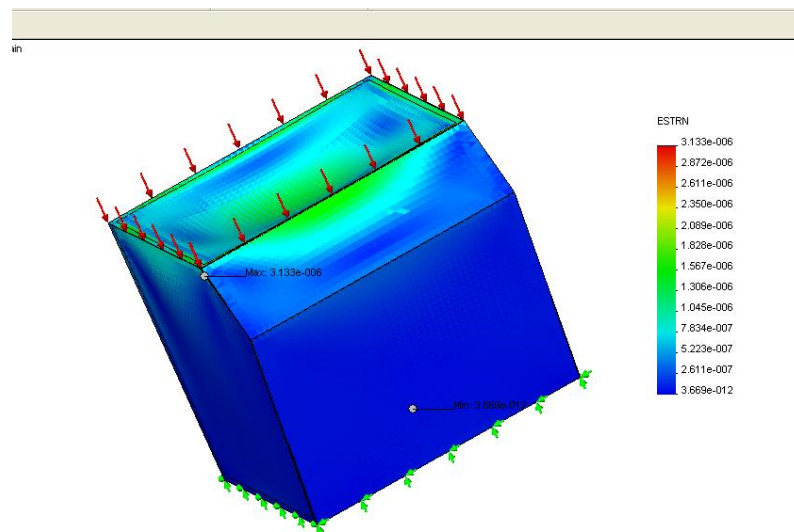


Figura 3.11.- Gráfico de esfuerzos

Los desplazamientos más significativos de los elementos de la estructura se ubican en la parte central de la mesa de trabajo, como se puede ver en la figura 3.12.-

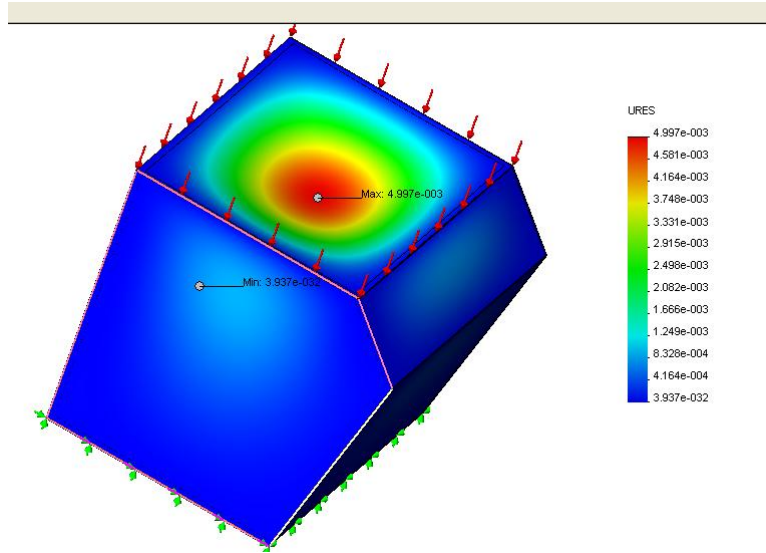


Figura 3.12.-
de

desplazamientos

Gráfico

IV MONITOREO DE VARIABLES

4.1.- TRANSDUCTORES

4.1.1.- DEFINICIÓN

Un transductor es un dispositivo que transforma un tipo de variable física (por ejemplo, fuerza, presión, temperatura, velocidad, etc.) en otro.

Los transductores pueden clasificarse en dos tipos básicos, dependiendo de la forma de la señal convertida y estos dos tipos son:

Transductores analógicos; son los que proporcionan una señal analógica continua, por ejemplo voltaje o corriente eléctrica. Esta señal puede ser tomada como el valor de la variable física que se mide.

Transductores digitales; producen una señal de salida digital, en la forma de un conjunto de bits de estado en paralelo o formando una serie de pulsaciones que pueden ser contadas. En una u otra forma, las señales digitales representan el valor de la variable medida. Los transductores digitales suelen ofrecer la ventaja de ser más compatibles con las computadoras digitales que los sensores analógicos en la automatización y en el control de procesos.

4.1.2.- CLASIFICACIÓN DE LAS SEÑALES

Se clasifican en dos clases que son: las digitales y analógicas. En **las tablas 4.1 y 4.2 se indican estos dos tipos de señales, respectivamente**

TABLA 4.1 SEÑALES DIGITALES

DIGITALES (DISCRETAS)	
On / Off	Tren de pulsos
- Encendido y apagado - Estado de máquinas	- Contadores - Temporizadores - Comunicaciones

TABLA 4.2 SEÑALES ANALÓGICAS

ANALÓGICAS		
Corriente continua	Dominio del tiempo	Dominio de la frecuencia
<ul style="list-style-type: none"> - Temperatura. - Flujo. - Voltajes DC - Lazos de control 	<ul style="list-style-type: none"> - Voltajes AC - LVDT - Video - Generación de funciones 	<ul style="list-style-type: none"> - Armónicos - Sonido - Vibración - Resonancia magnética

4.1.3.- CARACTERÍSTICAS DESEABLES DE LOS TRANSDUCTORES

Exactitud; la exactitud de la medición debe ser tan alta como fuese posible. Se entiende por exactitud que el valor verdadero de la variable se pueda detectar sin errores sistemáticos positivos o negativos en la medición.

Precisión; la precisión de la medición debe ser tan alta como fuese posible. La precisión significa que existe o no una pequeña variación aleatoria en la medición de la variable. La dispersión en los valores de una serie de mediciones será mínima.

Rango de funcionamiento; el transductor debe tener un amplio rango de funcionamiento y debe ser exacto y preciso en todo el rango.

Velocidad de respuesta; el transductor debe ser capaz de responder a los cambios de la variable detectada en un tiempo mínimo. Lo ideal sería una respuesta instantánea.

Calibración; el transductor debe ser fácil de calibrar. El término desviación se aplica con frecuencia para indicar la pérdida gradual de exactitud del sensor que se produce con el tiempo y el uso, lo cual hace necesaria su recalibración.

Fiabilidad; el transductor debe tener una alta fiabilidad. No debe estar sujeto a fallos frecuentes durante el funcionamiento.

4.1.4.-CLASIFICACIÓN DE LOS TRANSDUCTORES SEGÚN LA VARIABLE FÍSICA A MEDIR

- TEMPERATURA

RTD: Sensor de tipo resistivo y que varía su resistencia según la temperatura. Actúa como un metal, por lo tanto tiene coeficiente de temperatura positivo. Es un sensor muy lineal, repetibilidad alta y presentan un error del 0,1% a 1%. La sensibilidad es 10 veces mayor a los termopares, y 10 veces menor que los termistores.

Termistores: Son semiconductores sensibles a la T. Se consigue actuando sobre la movilidad de los semiconductores. Hay de 2 tipos: NTC (coeficiente de temperatura negativo) y PTC (coeficiente de temperatura positivo). Los NTC son incluso más lineales que los PTC

Tienen una alta sensibilidad (10+ que los RTD), presenta una resistencia muy alta a la temperatura de trabajo, bajo calentamiento y son económicos. Son no-lineales. Presentan una disparidad de valores entre el mismo componente de la misma familia.

Termopar: Son sensores generadores y se basan en el efecto Peltier y del efecto Seebeck. Se basan en que dos metales homogéneos, A y B, con dos uniones a diferente temperatura, aparecerá una corriente eléctrica.

Piroeléctricos: Son sensores generadores. Aparecen cargas superficiales en una dirección determinada cuando el material experimenta un cambio de temperatura. Estas cargas son debidas al cambio de su polarización espontánea al variar la temperatura.

Uniones P-N: DIODO, TRANSISTORES, dada sus características estáticas, la movilidad de los semiconductores variará a la temperatura variando la corriente que circule por ella.

- DISTANCIA, DESPLAZAMIENTO O POSICIÓN

Potenciómetros: Es un sensor de tipo resistivo. Básicamente es un resistor con un contacto móvil deslizante o giratorio. Y según el ángulo girado o la distancia recorrida x la resistencia entre el contacto móvil y uno de los terminales varía.

Galgas: Se basan en la variación de resistencia de un conductor o un semiconductor cuando es sometido a un esfuerzo mecánico. Si se le somete a un esfuerzo en dirección longitudinal, cada una de las tres magnitudes que intervienen en el valor de R experimenta un cambio, por lo tanto, R también cambia la forma.

Magnetorresistencias: Si se le aplica un campo eléctrico a un conductor por el que circula una corriente eléctrica, dependiendo de la dirección del campo, además de la tensión de Hall hay una reducción de la corriente al ser desviados algunos electrones de su trayectoria.

Condensador Diferencial: Sensor de tipo capacitivo. Consiste en dos condensadores variables dispuestos físicamente de tal modo que experimenten el mismo cambio pero en sentidos opuestos.

LVDT: Sensor inductivo. Es un transformador diferencial de variación lineal. Se basa en la variación de la inductancia mutua entre un primario y cada uno de los secundarios al desplazarse a lo largo de su interior un núcleo de material ferromagnético, arrastrado por un vástago no ferromagnético, unido a la pieza cuyo movimiento se desea medir.

Corrientes De Foucault: Sensor inductivo. La impedancia de una bobina por la que circula una corriente alterna queda alterada si se introduce una superficie conductora dentro de su campo magnético. Ello es debido a que se inducen corrientes de Foucault en la superficie que crean su propio campo magnético, opuesto al de la bobina. Cuanto más próximas estén la bobina y la superficie, mayor es el cambio de impedancia.

Efecto Hall: Sensor inductivo. Consiste en la aparición de una diferencia de potencial transversal en un conductor o semiconductor, por el que circula corriente, cuando hay un campo magnético aplicado en dirección perpendicular a ésta.

Codificador Incremental: Es un sensor digital. Hay un elemento lineal o un disco con poca inercia que se desplaza solidario a la pieza cuya posición se desea determinar.

Codificador Absoluto: Sensor digital. Ofrecen a su salida una señal codificada correspondiente a la posición de un elemento móvil, regla o disco, con respecto a una referencia interna.

Fotoeléctricos: Basada en uniones p-n.

Reflexión: Por ultrasonidos.

- VELOCIDAD

Ley Faraday: Sensor inductivo. En un circuito con N espiras que abarque un flujo magnético, si éste varía con el tiempo se induce en él una tensión o fuerza electromotriz e.

Codificadores Incrementales

Efecto Doppler

- PRESIÓN

Elementos Primarios de medida directa: que miden la presión comparándola con la ejercida de un líquido de densidad y altura conocidas (barómetro de cubeta, manómetro de tubo en U, manómetro de tubo inclinado, etc).

Elementos Primarios Elásticos: que se deforman por la presión interna del fluido que contienen. Los más conocidos son: tubo bourdon, diafragma y fuelle.

Piezoeléctricos: materiales cristalinos asimétricos, como el cuarzo, titanio de bario y la sal de Rochelle, generan una fuerza electromotriz cuando están expuestos a un esfuerzo.

- NIVEL

Elementos de medida directa en este grupo se encuentran la sonda (varilla graduada) cinta y plomada, nivel de cristal e instrumentos de flotador.

Presión hidrostática: aprovechan la medida de la presión debida a la altura del líquido que existe entre el nivel del tanque y el transductor, y son: medidor manométrico, de membrana, tipo burbujeo y de presión diferencial de diafragma.

Conductivo o resistivo: consiste en uno o varios electrodos y un relé eléctrico o electrónico que es excitado cuando el líquido moja a dichos electrodos.

Capacidad: mide la capacitancia del condensador formado por el electrodo sumergido en el líquido y las paredes del tanque. La capacidad del conjunto depende linealmente del nivel del líquido.

Ultrasonido: basados en la emisión de un impulso ultrasónico a una superficie reflectante y la recepción del eco del mismo en un receptor. El retardo en la captación del eco depende del nivel del tanque. Con aparatos electrónicos se mide el tiempo en que la onda requiere para ir y regresar de la interficie.

Radiación nuclear: consiste en un emisor de rayos gamma montado verticalmente en un lado del tanque y un contador Geiger que transforma la radiación gamma recibida en una señal eléctrica de corriente continua.

En la tabla 4.3 se resume los sensores y métodos de detección ordinarios para las magnitudes más frecuentes.

TABLA 4.3 SENSORES Y MÉTODOS DE DETECCIÓN ORDINARIOS PARA LA MAGNITUDES MAS FRECUENTES

Sensores	Magnitudes								
	Posición Distancia Desplazamiento	Velocidad	Aceleración Vibración	Temperatura	Presión	Caudal Flujo	Nivel	Fuerza	Humedad
Resistivos	Potenciómetros Galgas Magnetorresistencias		Galgas + masa- resorte	RTD Termistores	Potenciómetros + tubo Bourdon	Anemómetros de hilo caliente Galgas + Voladizo Termistores	Potenciómetro + flotador	Galgas	Humistor
Capacitivos	Condensador diferencial				Condensador variable + diafragma		Condensador Variable	Galgas capacitivas	Dieléctrico variable
Inductivos y Electro- Magnéticos	LVDT Corrientes Foucault Resolver Efecto Hall	Ley Faraday LVT Efecto Hall Corrientes Foucault	LVDT + masa- resorte		LVDT + diafragma Reluctancia variable + diafragma	LVDT + rotá- Metro Ley Faraday	LVDT + flotador Corrientes Foucault	Magneto- elástico LVDT + célula carga	
Generadores			Piezoeléctricos + masa resorte	Termopares Piroeléctricos	Piezoeléctricos			Piezoeléctricos	
Digitales	Codificadores incrementales y absolutos	Codificadores incrementales		Osciladores de cuarzo	Codificador + tubo Bourdon	Vórtices			SAW
Fotoeléctricos	Fotoeléctricos			Diodo Transistor Convertidores T/I			Fotoeléctricos		
Ultrasonidos	Reflexión	Efecto Doppler				Efecto Doppler Tiempo tránsito Vórtices	Reflexión Absorción		

4.1.5.- PARÁMETROS DE SELECCIÓN DE TRANSDUCTORES

- **Tipo de señal:** analógica o digital
- **Ambiente de aplicación:** laboratorio, planta, portátil, academias, etc.
- **Desempeño:** precisión, velocidad, flexibilidad, análisis
- **Características adicionales:** precio, bus de comunicaciones, plataforma.
- **Selección:** rango de medición, precisión, ambiente, señal de salida y costo.

4.2.- CARACTERÍSTICAS DE LOS TRANSDUCTORES EMPLEADOS

El tipo de transductor 7MF1563 es un transmisor de presión para medir la presión relativa y absoluta de gases, líquidos y vapor. El transmisor consiste en una celda de medición de delgada capa con un diafragma de cerámica y un circuito electrónico instalado en un compartimiento de acero inoxidable.

Datos técnicos

Señal de salida	:	4 a 20 mA
Carga	:	$(U_B - 10V) / 0,02 A$
Características	:	Incremento lineal
Temperatura de operación:	-25°C a 85°C	
Voltaje de alimentación	:	10 a 36 Vdc

El Anexo "C" es el folleto de las especificaciones técnicas que envía el fabricante.



Figura



4.1.-

Transductores de Presión

Principio de funcionamiento; la fina celda de medición tiene un fino puente de resistencias en el cual la presión medida P es transferida a través de un diafragma de cerámica. El voltaje de medición de la celda de medición es alimentado por un amplificador y convertido a una salida de corriente I_o en la conexión de salida U/I , tal como se puede ver en la figura 4.2.-

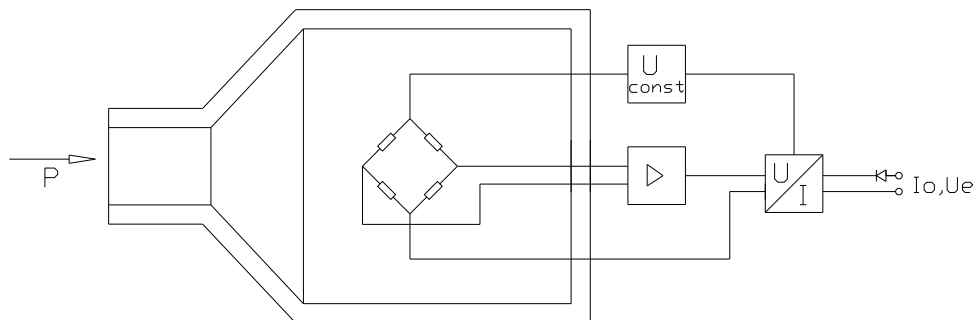


Figura 4.2.- Esquema eléctrico del transductor

Este tipo de sensor de presión consiste de un diafragma de silicón micro-mecanizado con galgas piezoresistivas fundidas en silicón o cerámica.

Las resistencias tienen un valor aproximado de 3.5 Kohm. La presión inducida incrementa el valor radial de las resistencias (r), y disminuye el valor de las resistencias (t) opuestas al radio. Este cambio de resistencia puede llegar hasta un 30%. Las resistencias se conectan como un Puente de Wheatstone, ver figura 4.3.- la salida es lo que se mide y es directamente proporcional a la presión

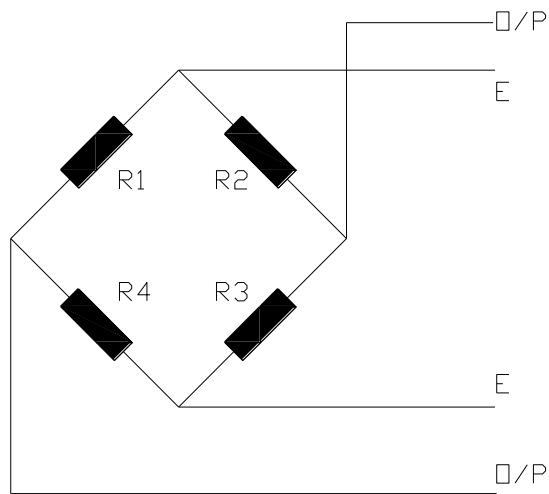


Figura 4.3.- Puente de Wheatstone

4.3.- INTERFASE

4.3.1.- INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL

La instrumentación virtual ofrece múltiples beneficios a ingenieros y científicos que requieren mayor productividad, precisión y rendimiento.

Un instrumento virtual consiste de una computadora del tipo industrial o una estación de trabajo, equipada con poderosos programas (software), hardware económico; tales como placas para insertar y manejadores (drivers) que cumplen en conjunto las funciones de instrumentos tradicionales.

Los instrumentos virtuales representan un apartamiento fundamental de los sistemas de instrumentación basados en el

hardware a sistemas centrados en el software que aprovechan la potencia de cálculo, productividad, exhibición y capacidad de conexión de las computadoras de escritorio y estaciones de trabajo.

Con los instrumentos virtuales, se construyen sistemas de medición y automatización que se ajustan exactamente a las necesidades definidas por el usuario, en lugar de estar limitados por los instrumentos tradicionales de funciones fijas (definidos por el fabricante).

4.3.2.- INSTRUMENTOS VIRTUALES VERSUS INSTRUMENTOS TRADICIONALES

Los instrumentos autónomos tradicionales, tales como osciloscopios y generadores de ondas son muy poderosos, caros y diseñados para llevar a cabo una o más tareas específicas definidos por el fabricante. Sin embargo, el usuario por lo general no puede extender o personalizar esas tareas. Las perillas y botones del instrumento, sus circuitos electrónicos y las funciones disponibles para el usuario son todas específicas a la naturaleza del instrumento. Además, debe desarrollarse una tecnología especial y costosos componentes para construirlos, lo cual los hace muy caros y lentos para adaptarlos.

Los instrumentos virtuales debido a que están basados en la PC, aprovechan inherentemente los beneficios de la última tecnología de las computadoras personales corrientes. Estos avances en tecnología y rendimiento, que están cerrando rápidamente la brecha entre los instrumentos autónomos y las PCs, incluyen poderosos procesadores. Además de incorporar características poderosas, esas plataformas también ofrecen un acceso sencillo a herramientas también poderosas tales como la Internet.

Los instrumentos tradicionales también adolecen frecuentemente de falta de portabilidad, en tanto que los instrumentos virtuales

que corren en las computadoras portátiles automáticamente incorporan esta naturaleza portátil.

A excepción de los componentes especializados y los circuitos hallados en los instrumentos tradicionales, la arquitectura general de los instrumentos autónomos es muy similar a la hallada en un instrumento virtual basado en computadora.

Lo que diferencia uno del otro es su flexibilidad y el hecho que usted puede modificar y adaptar el instrumento a sus necesidades particulares. Un instrumento tradicional podría contener un circuito integrado para llevar a cabo un conjunto particular de instrucciones de procesamiento de datos; en un instrumento virtual estas funciones podrían llevarse a cabo por el programa que corre en el procesador de la computadora. Usted puede fácilmente extender ese conjunto de funciones y estar sólo limitado por la potencia del software que utilice.

Utilizando soluciones basadas en la instrumentación virtual, usted puede reducir los costos de inversión, desarrollo de sistemas y mantenimiento, al mismo tiempo que mejora el tiempo de comercialización y la calidad de sus propios productos.

Existe una amplia variedad disponible de hardware que usted puede o bien insertar en su computadora o bien acceder a través de una red. Estos dispositivos ofrecen un amplio rango de capacidades de adquisición de datos a un costo significativamente inferior que el correspondiente a dispositivos dedicados. Dependiendo de la aplicación en particular, el hardware que usted elija podría incluir entradas o salidas analógicas, entradas o salidas digitales, contadores, temporizadores, filtros, muestreo simultáneo y capacidades de generación de ondas. La amplia gama de placas y hardware podría incluir cualquiera de estas características o una combinación de ellas.

4.3.3.- El Software en la Instrumentación Virtual

El software es el componente más importante de un instrumento virtual. Con la herramienta de software apropiada los ingenieros y científicos pueden crear eficientemente sus propias aplicaciones, diseñando e integrando las rutinas que requiere un proceso en particular. También pueden crear las interfaces de usuario que mejor satisfagan el objetivo de la aplicación y de aquéllos que van a interactuar con ellas. Pueden definir cómo y cuándo la aplicación adquiere datos desde el dispositivo, cómo los procesa, manipula y almacena los datos y cómo se presentan los resultados al usuario.

Contando con un software poderoso, usted puede dotar a sus instrumentos con capacidades de inteligencia y de toma de decisiones de manera tal que se adapten cuando las señales medidas varíen inadvertidamente o cuando se requiera mayor o menor potencia de procesamiento.

4.4.- ARQUITECTURA DE LOS SISTEMAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Un sistema típico de adquisición de datos se puede dividir en cuatro secciones, como se puede ver en la figura 4.4.-

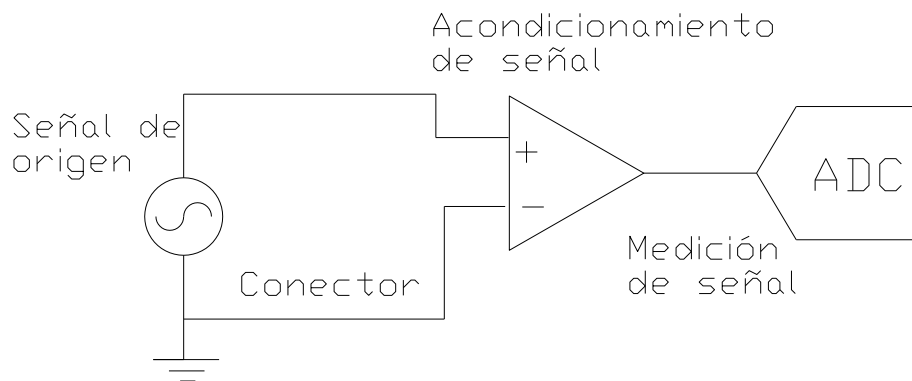


Figura 4.4.- Sistema típico de adquisición de datos

- Origen de la señal
- Conectores
- Acondicionamiento de la señal y
- Medición de la señal.

Origen de la señal.-

La fuente de la señal es típicamente un transductor que mide un fenómeno físico. Una gran variedad de niveles de señales son alimentados a diferentes transductores y funciones de transductores. Fundamentalmente hay dos tipos de origen de señales, las aterrizadas y las flotantes.

Una señal aterrizada tiene su Terminal negativo conectado a tierra.

Para una señal de tierra flotante ningún terminal es conectado a tierra, cada terminal es independiente de una referencia absoluta, un ejemplo de esto son las baterías, termocouplas, transformadores.

Conectores.-

Son generalmente dos o más alambres que varían en su longitud de centímetros a millas, cruzando quizás líneas de alto voltaje u otros riesgos. La mayoría de los problemas de calidad de la señal se originan en las conexiones.

Acondicionamiento de la señal.-

Determinando el método de conexión para usarse entre la fuente de señal y el sistema de acondicionamiento, se debe cuidadosamente diseñar las conexiones para maximizar la calidad de las señales. La mayoría de los problemas son causados por la introducción de ruido no deseado a las conexiones.

Puesto que existe un amplio rango de tecnologías el papel que desempeña y la necesidad de cada una de estas se puede volver confuso. A continuación se presenta una guía de los tipos de acondicionamiento de señal más comunes, su funcionalidad y ejemplos de cuando usarlos.

- **Aislamiento**

Las señales de voltaje fuera del rango del digitalizador pueden dañar el sistema de medición y ser peligrosas para el operador. Por esta razón, normalmente es preciso tener el aislamiento y la atenuación para proteger al sistema y al usuario de voltajes de alta

tensión o picos. También se puede necesitar aislamiento si el sensor está en un plano de tierra diferente al del sensor de medición (como un termopar montado en una máquina).

- **Amplificación**

Cuando los niveles de voltaje que va a medir son muy pequeños, la amplificación se usa para maximizar la efectividad de su digitalizador. Al amplificar la señal de entrada, la señal acondicionada usa más efectivamente el rango del convertidor analógico-digital (ADC) y mejora la precisión y resolución de la medición. Algunos sensores que típicamente requieren de amplificación son los termopares y galgas extensiométricas.

- **Atenuación**

La atenuación es lo opuesto a la amplificación. Es necesario cuando el voltaje que se va a digitalizar es mayor al rango de entrada del digitalizador. Esta forma de acondicionamiento de señal disminuye la amplitud de la señal de entrada, para que la señal acondicionada este dentro del rango del ADC. La atenuación es necesaria para medir voltajes altos.

- **Multiplexeo**

Típicamente, el digitalizador es la parte más costosa del sistema de adquisición de datos. Al multiplexar, usted puede rutear secuencialmente un cierto número de señales a un solo digitalizador, logrando así un sistema de bajo costo y extendiendo el número de conteo de señales de su sistema. El multiplexeo es necesario para cualquier aplicación de alto conteo de canales.

- **Filtrado**

Los filtros son necesarios para remover cualquier componente de frecuencia no deseada en una señal, principalmente para prevenir aliasing y reducir la señal de ruido. Algunas mediciones de termopares generalmente requieren de filtros pasa bajos para remover el ruido de las líneas de poder. Las mediciones de vibración normalmente requieren de filtros antialiasing para

remover componentes de señales más allá del rango de frecuencias del sistema de adquisición de datos.

- **Excitación**

Muchos sensores, como RTD, galgas y acelerómetros, requieren de alguna fuente de poder para hacer la medición. La excitación es la tecnología de acondicionamiento de señal requerida para proveer esa fuente. Esta excitación puede ser voltaje o corriente dependiendo del tipo de sensor.

- **Linearización**

Algunos tipos de sensores producen señales de voltaje que no son lineales en relación con la cantidad física que están midiendo. La linearización es el proceso de interpretar la señal del sensor como una medición física, puede realizarse a través de acondicionamiento de señal o software. Los termopares son un ejemplo típico de un sensor que requiere linearización.

- **Compensación de Junta Fría**

Otra tecnología requerida para mediciones de termopares es la compensación de junta fría (CJC). Siempre que se conecta un termopar a un sistema de adquisición de datos, la temperatura de la conexión debe ser conocida para poder calcular la temperatura verdadera que el termopar está midiendo. Un sensor CJC debe estar presente en el lugar de las conexiones.

- **Muestreo Simultáneo**

Cuando es crítico medir dos o más señales en un mismo instante, el muestreo simultáneo es indispensable. El acondicionamiento de señal apropiado al frente de su sistema es una opción de bajo costo para realizar esta operación sin tener que comprar un digitalizador para cada canal. Algunas de las aplicaciones que podrían requerir de muestreo simultáneo incluyen las mediciones de vibración y mediciones de diferencias de fase.

Medición de la señal;

Es la presentación en la pantalla del computador de los valores de las magnitudes medidas. El hardware permite al usuario la presentación de diferentes formas y de acuerdo a su conveniencia y facilidad de visualizar y/o almacenar los datos.

4.5.- SELECCIÓN DEL HARDWARE

- **Tarjetas DAQ:** son de bajo costo, alta velocidad, alta flexibilidad y generalmente las señales necesitan acondicionamiento.

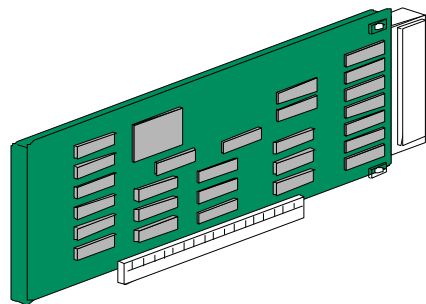


Figura 4.5.- Tarjeta DAQ

- **PAC y PLC:** resistentes, confiables, varias formas de comunicación con PC, incluyen acondicionamiento.



Figura 4.6.- Tarjeta PAC

- **Compact PCI:** es un computador industrial, robustos, capacidad de contener varios instrumentos, costosos.

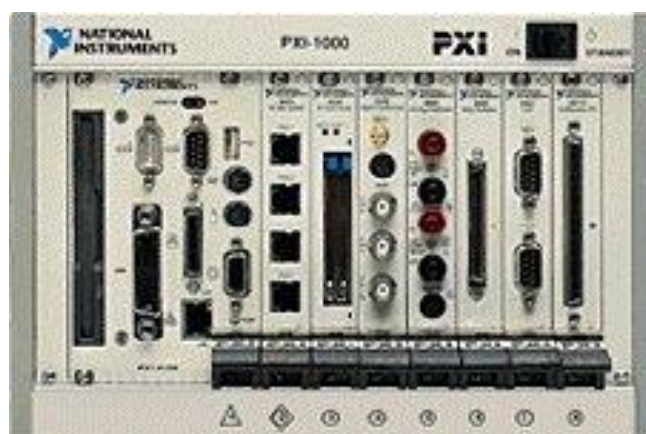


Figura 4.7.- Vista frontal de un PXI

- **Instrumentos:** son dirigidos, de alto desempeño, poco flexibles, costosos, necesitan hardware y software para conexión con una PC



Figura 4.8.-
Instrumento

Osciloscopio,
de medida

4.6.- TARJETA EMPLEADA DAQ NI USB-6008 PARA USB

Es un artículo pequeño para adquisición de datos multifunciones portátil, Con conexión a puerto USB, esta tarjeta es suficiente para medidas rápidas pero suficientemente versátil para aplicaciones complejas.

Usada para aplicaciones comunes donde la economía, pequeño tamaño y simplicidad son esenciales.

Entrada de 12 bits de resolución hasta 48 kS/s.

Construido con conectores removibles para su facilidad

ESPECIFICACIONES GENERALES:

Tipo de conversor	:	de aproximación sucesiva
Entradas análogas	:	8 simples y 4 diferenciales.
Resolución de entrada	:	12bits diferencial
Máximo rango de muestreo :		10 kS/s
Voltaje de alimentación	:	± 1 a $\pm 20V$
Salidas análogas	:	2
Resolución de salida	:	12 bits
Rango de salida	:	0 a 5 V

Líneas digitales I/O	:	12
Tiempo de resolución	:	41,67 ns (24MHZ tiempo base)
Rango de entrada	:	Terminal simple $\pm 10V$
Impedancia de entrada	:	144 Ω
Protección de sobre voltaje :		± 35
Fuente de acción	:	software o acción digital externa
Sistema de ruido	:	1,47 mVrms

El Anexo "D" es el folleto de las especificaciones técnicas que envía el fabricante.



Figura

4.9.-

Tarjeta DAQ NI USB 6008

4.7.- PROGRAMACIÓN

4.7.1.- LabVIEW

El software empleado para el presente trabajo es LabVIEW de National Instrument, que es una herramienta de programación gráfica, altamente productiva, para la construcción de sistemas de adquisición de datos, instrumentación y control. LabVIEW nos da la capacidad de crear rápidamente una interfaz de usuario que nos proporciona la interactividad con el sistema.

La programación G es el corazón de LabVIEW, y difiere de otros lenguajes de programación como C o Basic, en que éstos

están basados en texto, mientras que G es una programación gráfica.

Los programas en G, o VIs (“Virtual Instruments”) constan de una interfaz interactiva de usuario y un diagrama de flujo de datos que hace las funciones de código fuente.

De forma más específica, la programación gráfica LabVIEW se estructura como sigue:

- La interfaz interactiva de usuario de un VI se llama Panel Frontal, debido a que simula el panel de un instrumento físico. El panel frontal puede contener botones, interruptores, pulsadores, gráficas y otros controles e indicadores. Los datos se introducen utilizando el ratón y el teclado, y los resultados se muestran en la pantalla del ordenador.
- El VI recibe instrucciones de un diagrama de bloques que construimos en G. El diagrama de bloques es la solución gráfica a un determinado problema de programación. Además, el diagrama de bloques es el código fuente de del programa o VI.
- Los VIs son jerárquicos y modulares. Pueden utilizarse como programas de alto nivel o como subprogramas de otros programas o subprogramas. Cuando un VI se usa dentro de otro VI, se denominan subVI. El icono y los conectores de un VI funcionan como una lista de parámetros gráficos de forma que otros VIs puedan pasar datos a un determinado subVI.

Características Principales

- Intuitivo lenguaje de programación gráfico para ingenieros y científicos.
- Herramientas de desarrollo y librerías de alto nivel específicas para aplicaciones.

- Cientos de funciones para E/S, control, análisis y presentación de datos.
- Despliegue en computadores personales, móviles, industriales y sistemas de computación empotrados.

4.7.2.- PROGRAMA DESARROLLADO

Empleando el lenguaje de programación de Labview, lo que se trata es de que el operador pueda obtener las mismas lecturas de los instrumentos del banco de prueba en una pantalla del computador, es decir, tenga instrumentos virtuales, obteniendo como ventaja mejor exactitud y precisión al momento de calibrar la válvula bajo los estándares que se indican en el manual de overhall.

Primeramente se ingresa a un VI (Ver figura 4.10.-), en la figura 4.11.- se puede observar el diagrama de bloques, éste a su vez permite el acceso a un Sub VI. (Ver figura 4.12.-), en la figura 4.13.- se puede observar el diagrama de bloques Se ha programado de esta forma para que cuando se abra el archivo de Labview no ingrese inmediatamente al programa. De esta forma permite la facilidad de manipulación por el operador, quien no necesariamente debe conocer el programa, ya que únicamente lo que a él le interesa son las lecturas de las mediciones.



Figura 4.10.- Panel frontal del Programa

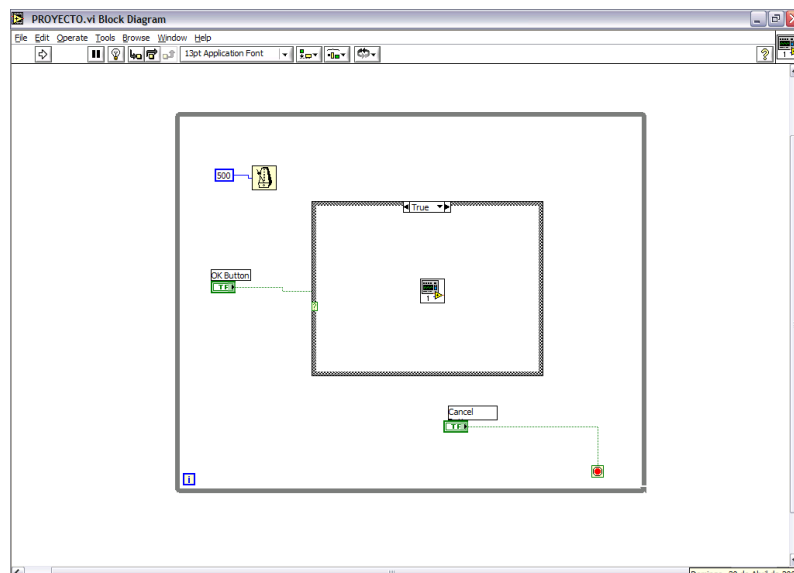


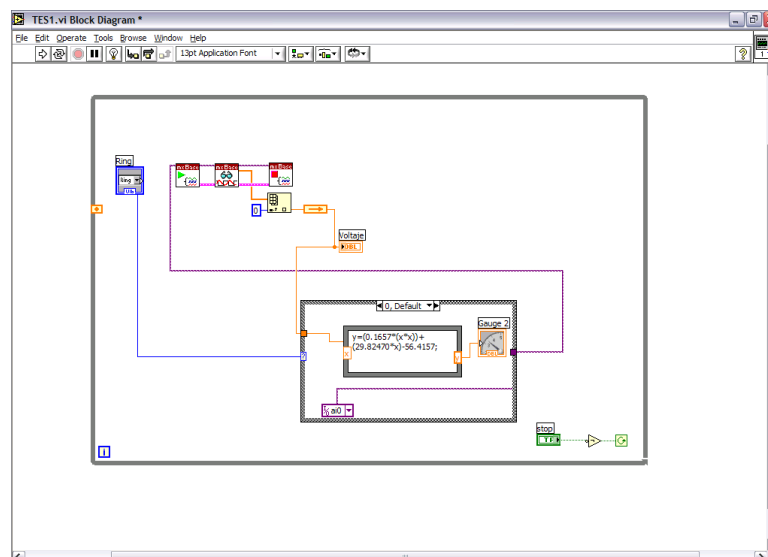
Figura 4.11.- Diagrama de bloques del programa.

Figura 4.12.-
frontal del



Panel
SubVI.

Figura



4.13.-

Diagrama de bloques del SubVI.

Las señales obtenidas de los transductores y que ingresan al computador a través de la tarjeta DAQ, son voltajes. A continuación se anota en la tabla 4.4 y gráfica, tal como se ve en la figura 4.14.- la relación de los valores de Presión y Voltaje obtenidos.

TABLA 4.4 VALORES DE PRESIONES Y VOLTAJES

LECTURA DE PRESIÓN EN ALTA											
Pr (PSI)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Voltaje (V)	2,4	2,6	2,75	2,9	3,1	3,68	3,8	4,1	4,4	4,75	4,96

PRESIÓN DE ALTA Vs. VOLTAJE DE SALIDA

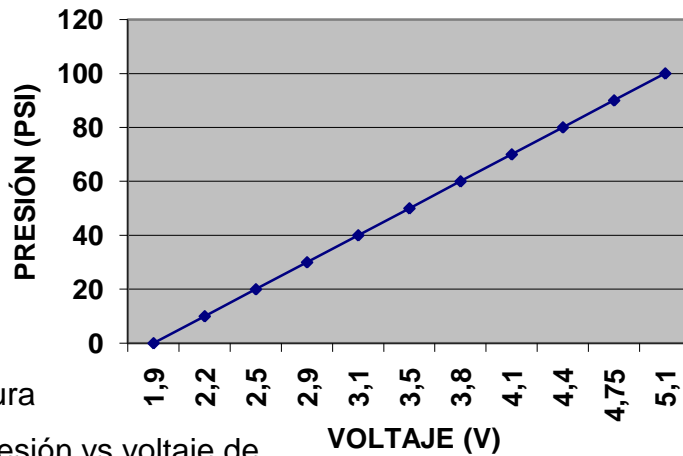


Figura 4.14.- Relación de la presión vs voltaje de salida

De la misma manera se anota los valores para la presión de baja en la tabla 4.5 y se grafica su relación, la misma que se la puede observar en la figura 4.15.-

TABLA 4.5 VALORES DE PRESIONES Y VOLTAJES

LECTURA DE PRESIÓN EN BAJA											
Pr (PSI)	0	1,5	3	4,5	6	7,5	9	10,5	12	13,5	15
Voltaje (V)	2,3	2,4	2,5	2,9	3,1	5,0	6,8	7,1	7,4	7,9	8

PRESIÓN DE BAJA Vs. VOLTAJE DE SALIDA

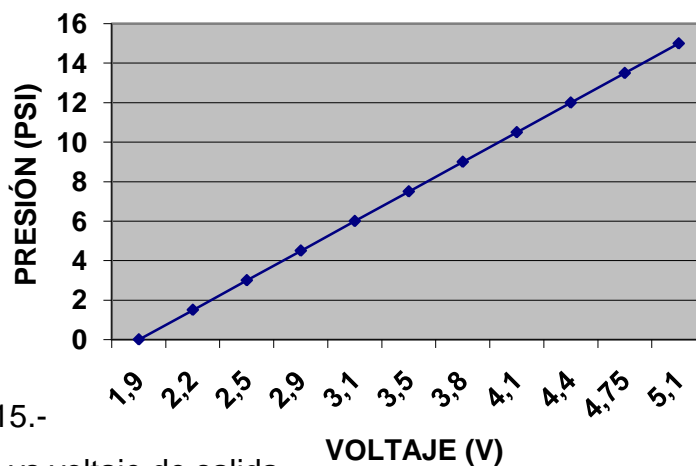


Figura 4.15.- Relación de la presión vs voltaje de salida

Por obtener la relación lineal entre los valores de presión y voltaje se concluye con lo siguiente:

- Se confirma la linealidad de los transductores de presión. En consecuencia el valor que se lee en el indicador virtual no coincide con el del manómetro del banco de prueba.
- Es necesario a través de software corregir los valores de voltaje de entrada al computador, con la finalidad que coincida los valores leídos en los instrumentos virtuales con los manómetros del banco

Si se grafica la relación real que se obtiene entre el voltaje y la presión, se origina una curva (función cuadrática), tal como se indica en la figura 4.17.-. Razón por la cual se debe obtener una ecuación para una función cuadrática y emplearla en el programa de Labview a través de la estructura de "Fórmula" (Ver figura 4.16.-) donde el valor de entrada (Voltaje) se corrige, obteniéndose de esta forma un valor de Salida, que será el que se indica en los manómetros virtuales, los mismos que coinciden con los valores de los manómetros mecánicos del banco de prueba.

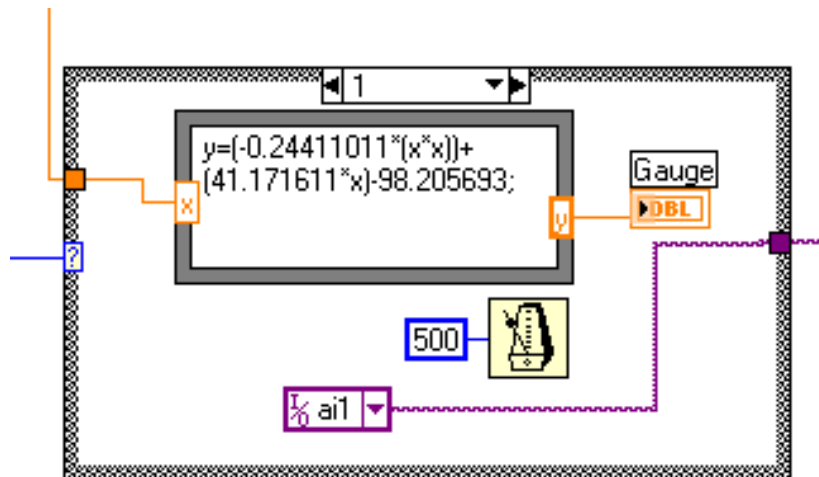


Figura 4.16.- Estructura de Formula

El siguiente procedimiento se ha utilizado para obtener las ecuaciones hiperbólicas:

Ecuación y gráfico (Figura 4.17.-) de la hipérbola

$$Y = a.X^2 + b.X + c \text{ (Ecuación 4.1)}$$

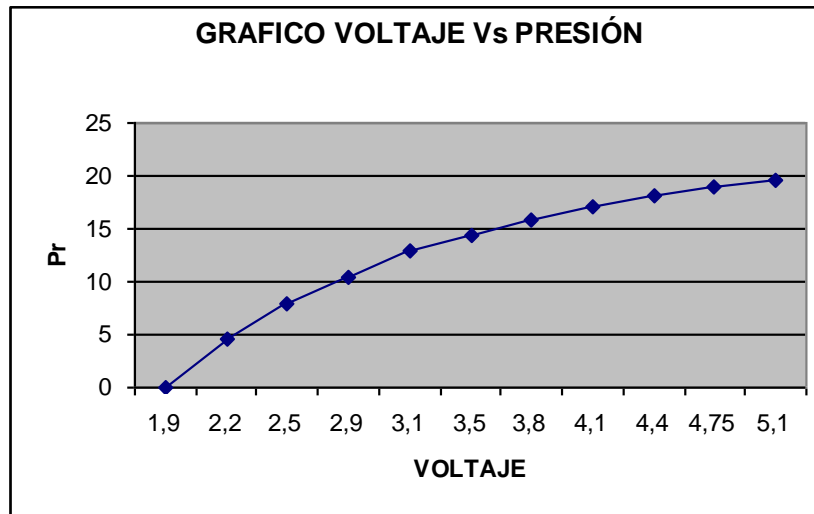


Figura 4.17.- Relación de la presión vs voltaje de salida

1. Se Debe obtener los valores de las constantes a, b y c.
2. Como son tres incógnitas, se debe obtener tres ecuaciones para que mediante la resolución de sistemas de fórmulas obtener las incógnitas.
3. Se envía presión al banco de prueba y se toma la lectura en tres puntos de presión de los manómetros del banco (en cero, mitad y máximo de la escala), para cada uno de estos valores se toma los valores de voltaje que sale de los transductores. Así se tiene los valores indicados en las tablas 4.4 y 4.5.
4. Donde X es el voltaje e Y es la presión de salida. Así obtenemos las siguientes tres ecuaciones:

Tanto para los sistemas de alta y baja presión

	Pr de alta	Pr de baja
a.	$0=a.2,41^2 + b.2,41+c$	$0=a.2,35^2 + b.2,35+c$
b.	$50=a.3,69^2 + b.3,69+c$	$7=a.5,07^2 + b.5,07+c$
c.	$100=a.4,93^2 + b.4,93+c$	$14=a.7,93^2 + b.7,93+c$

5. Resolviendo cada uno de los sistemas de ecuaciones se encuentra los valores de las constante a, b y c, así como las ecuaciones de las curvas respectivas:

Pr de alta $a=-0,244110$ $b= 41,171611$ $c=-$
98,205693

$Y=-0,244110.X^2 + 41,171611.X -98,205693$ (Ecuación
4.2)

Pr de baja $a=-0,0225765$ $b= 2,741047$ $c= -6,316782$

$Y=-0,0225765.X^2 + 2,741047.X - 6,316782$ (Ecuación
4.3)

6. Las ecuaciones 4.2 y 4.3 son las que se emplean en la estructura de fórmula (Ver figura 4.16.-) del programa de Labview desarrollado para este trabajo.

V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Se cumplió con los objetivos generales y específicos planteados para este Proyecto, obteniendo como resultado final un banco de calibración y prueba y la total capacidad para efectuar los chequeos funcionales de las válvulas reguladoras de presión. Así como se pudo determinar la funcionalidad, operatividad y diseño de las válvulas reguladoras de presión.
- La situación económica y social del país, conlleva a que los recursos materiales, económicos y humanos que posee la Fuerza Aérea sean empleados de forma óptima, segura y eficiente.
- Las pruebas de operación y funcionalidad se han realizado de acuerdo a los que indican los manuales del fabricante de la válvula reguladora y los manuales de mantenimiento del avión Kfir, es por eso, que de esta forma se garantiza que la operatividad del equipo esté bajo parámetros y estándares de calidad y seguridad, exigidos por las diferentes normas militares y civiles nacionales e internacionales, que regulan las actividades de operación y mantenimiento de las aeronaves y sus componentes.
- La Escuadrilla de Accesorios del Ala de Investigación y Desarrollo No. 12 de la Fuerza Aérea Ecuatoriana, dispone de infraestructura, bancos de prueba de propósito general y específico, herramientas especiales y comunes, información técnica y personal debidamente capacitado, razón por la cual se ha tomado la decisión de ubicar al banco de prueba objeto del presente proyecto, en estas instalaciones, lo que permitirá desarrollar los trabajos de inspección, reparación y calibraciones de las válvulas reguladoras en un ambiente de confianza y técnicamente desarrollado.
- Al realizar localmente los trabajos de mantenimiento de las válvulas reguladoras de presión se ha evitado enviarlas a la Cía. IAI (Israel Aircraft Industries) permitiendo que la Fuerza Aérea ahorre

significativos egresos de recursos económicos y demoras para obtener las unidades en condiciones de aceptabilidad.

- La formación técnica y científica que reciben los alumnos de la Escuela Politécnica del Ejército ha permitido aplicar, analizar y comprender los conocimientos científicos empleados en la elaboración y ejecución del presente proyecto.
- Con el desarrollo de estos Proyectos se continua consolidando la autonomía tecnológica que pretende alcanzar la Fuerza Aérea, reduciendo de esta forma la dependencia de tecnología extranjera a la que nos vemos obligados a mantener. De la misma forma se fortalece las capacidades de mantenimiento que brinda la Industria Aeronáutica de la FAE.
- La implementación de este banco de prueba permitirá que además de realizar los chequeos funcionales de las válvulas reguladoras de presión, eventualmente emplearse para chequear otras unidades neumáticas, como son: actuadores neumáticos, diferentes tipos de válvulas, motores neumáticos, etc.
- El costo de la fabricación local del banco de prueba neumático es demasiado bajo si se compara con los costos de bancos similares adquiridos al fabricante o al exterior.
- El diseño, implementación y operación de este banco de prueba, ha permitido explotar los recursos materiales y humanos disponibles en la Institución y de esta forma contribuir a la operatividad Logística del Escuadrón Logístico Kfir.
- Se ha analizado profundamente la funcionalidad, operatividad y diseño de las válvulas reguladoras de presión del avión Kfir, logrando el entendimiento total de la función y condiciones de operación que cumple esta válvula en los sistemas del avión. Lo que permite obtener gran confianza para verificarla en el banco de prueba desarrollado.
- Al emplearse un doble control para el monitoreo de las presiones; a través de los manómetros y la instrumentación virtual; permitirá

realizar los chequeos y calibraciones funcionales de las válvulas con gran precisión y exactitud.

- El programa desarrollado en Labview para permitir obtener instrumentos virtuales en una pantalla de computadora, brindará mayor facilidad y funcionalidad al operador, debido a que además de la digitalización de los manómetros de presión, también dispone de un display digital, permitiendo ubicar los valores de presión requeridos con gran precisión y exactitud.
- Los instrumentos virtuales desarrollados empleando el software Labview aprovechan la potencia de cálculo, productividad, exhibición y capacidad de conexión de las computadoras de escritorio y estaciones de trabajo.
- Los instrumentos virtuales, permiten la construcción de sistemas de medición y automatización que se ajustan exactamente a las necesidades definidas por el usuario, en lugar de estar limitados por los instrumentos tradicionales de funciones fijas, definidos por el fabricante.
- La tarjeta DAQ NI USB-6008 para USB empleada ha sido de gran ventaja, por su versatilidad, costo, tamaño y características. Lo que ha permitido implementar una interfase de adquisición de datos de forma rápida y sencilla.

5.2.- RECOMENDACIONES

- Que la Fuerza Aérea continúe capacitando a su personal técnico, lo que permitirá emplear los recursos de forma eficiente, óptima y segura.
- Que el personal técnico efectúe todos los trabajos de mantenimiento de aviones y componentes empleando mandatoriamente los manuales de mantenimiento emitidos por el fabricante.
- Que los proyectos relacionados al mantenimiento de componentes de las aeronaves se ubiquen en la Escuadrilla de Accesorios del Ala de

Investigación y Desarrollo No. 12, para que de esta forma explotar la infraestructura y sistema logístico disponibles en esta Ala.

- Se continúe desarrollando Proyectos de esta naturaleza, logrando de esta forma el ahorro de divisas y tiempos de recuperación de unidades. Ya que de acuerdo a los conocimientos y experiencia se tiene la seguridad de que existen muchos componentes que se pueden recuperar en nuestro país en lugar de enviarlos al exterior.
- Que el Escuadrón Logístico No. 2123 Kfir, continúe enviando a reparar sus componentes al Ala No. 12, obteniendo de esta forma la recuperación de sus unidades en tiempos cortos y disponibles de acuerdo a estándares de calidad y seguridad.
- Que en la medida de las posibilidades se modernice los bancos de prueba y equipos de medición que se dispone en la Fuerza Aérea, empleando para este propósito hardware y software disponibles en el mercado local, lo que permitirá la optimización de los trabajos de en los diferentes niveles de mantenimiento que se desarrollan en los Escuadrones Logísticos y Talleres de Mantenimiento.
- Que la Escuela Superior Politécnica del Ejército, continúe capacitando a sus alumnos, impartiendo conocimientos de acuerdo a las tecnologías actuales y modernas.
- Que los Proyectos presentados por los alumnos egresados de la ESPE sean encaminados a solucionar problemas de las instituciones o empresas, pero más que todo sean funcionales de forma práctica y efectiva.

BIBLIOGRAFÍA

- **IAI, Pressure Control Valve, Technical Manual & IPB, Jun-2002**
- www.ni.com, Adquisición, manejo y procesamiento de señales.
- www.Siemems.com, Transductores de presión
- **NI, DAQ Nacional Instruments 2001 y posteriores**
- **NI, Procesamiento de señales National Instruments 2001 y posteriores**
- www.sapiensman.com, El aire comprimido propiedades
- www.wikipedia.com, El punto de rocío
- [www. Monografías com](http://www.Monografias.com) La humedad del aire
- **Festo AG & Co., Aire comprimido, fuente de energía, Esslingen 2002**
- **Neumática, Roldán Vitoria José**
- **Rodríguez J, Instrumentación Industrial, Latacunga 1999**
- **Labview Básico I, Manual de l curso, NI 1998**
- **Marks, Manual del Ingeniero Mecánico, Mc Graw Hill, 9ª Edición, 1998**
- **Cosmos, Manual Básico Versión 4.0, 1ª Edición , Feb-2002**
- **Nacional Instruments, Catálogo 2003**
- **Nacional Instruments, USB-6008/6009 User Guide and Specifications**

ANEXO “A”

Análisis de esfuerzos

1. Introducción
2. Información de archivo
3. Materiales
4. Información de cargas y restricciones
5. Propiedad del estudio
6. Resultados de esfuerzos
7. Resultados de desplazamientos
8. Resultados de deformadas
9. Resultados de verificación de diseño
10. Apéndice

1. Introducción

Resuma el análisis mediante el Método de elementos finitos (MEF) de banco cubierta

2. Información de archivo

Nombre del modelo: banco cubierta

Ubicación del modelo: C:\Documents and Settings\Escritorio\banco cubierta.SLDPRT

Ubicación de resultados: C:\DOCUME~1\PAL~1\CONFIG~1\Temp

Nombre de estudio: COSMOSXpressStudy (-Predeterminado-)

3. Materiales

Nº	Nombre de pieza	Material	Masa	Volumen
1	banco cubierta	[SW]AISI 1020	90.3585 kg	0.0114378 m ³

4. Información de cargas y restricciones

Restricción	
Restricción1 <banco cubierta>	activar 1 Cara(s) inmóvil (sin traslación).
Descripción:	
Carga	
equipos <banco cubierta>	activar 1 Cara(s) con presión 30 N/m ² a lo largo de la dirección normal a la cara seleccionada
Descripción:	

5. Propiedad del estudio

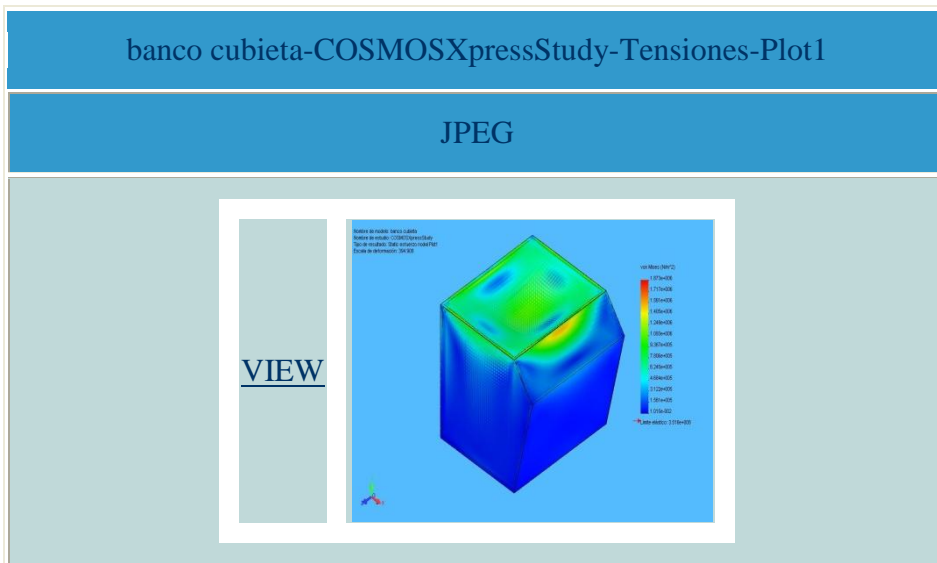
Información de malla	
Tipo de malla:	Malla con elementos sólidos tetraédricos
Mallador utilizado:	Estándar
Transición automática:	Desactivar

Superficie suave:	Activar
Verificación jacobiana:	4 Points
Tamaño de elementos:	22.534 mm
Tolerancia:	1.1267 mm
Calidad:	Alta
Número de elementos:	68407
Número de nodos:	136582

Información del solver	
Calidad:	Alta
Tipo de solver:	Solver tipo FFE

6. Resultados de esfuerzos

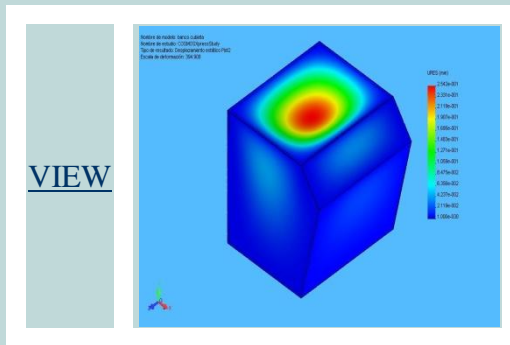
Nombre	Tipo	Mín.	Ubicación	Máx.	Ubicación
Plot1	VON: Tensiones von Mises	0.0101514 N/m ²	(635.015 mm, 0 mm, -142.084 mm)	1.87346e+006 N/m ²	(798 mm, 940.95 mm, -18.05 mm)



7. Resultados de desplazamientos

Nombre	Tipo	Mín.	Ubicación	Máx.	Ubicación
Plot2	URES: Desplazamientos resultantes	0 mm	(-2 mm, -2 mm, -1000 mm)	0.254237 mm	(411.204 mm, 960 mm, -500 mm)

banco cubierta-COSMOSXpressStudy-Desplazamientos-Plot2

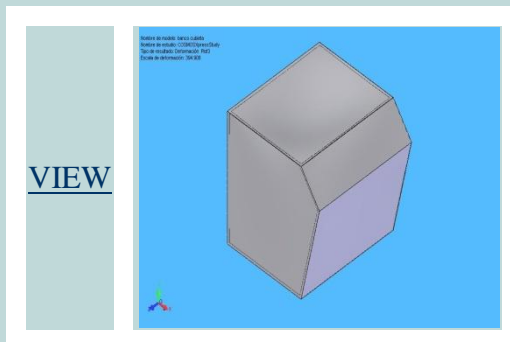


8. Resultados de deformadas

Nº de trazado	Factor de escala
1	394.91

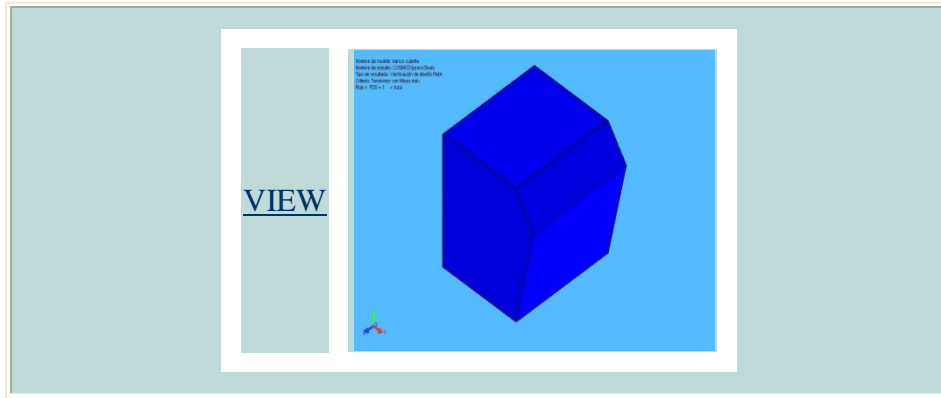
banco cubieta-COSMOSXpressStudy-Deformación-Plot3

JPEG



9. Resultados de verificación de diseño

banco cubieta-COSMOSXpressStudy-Verificación de diseño-Plot4



10. Apéndice

Nombre de material:	[SW]AISI 1020
Descripción:	
Origen del material:	Utilizar material de SolidWorks
Tipo de modelo del material:	Isotrópico elástico lineal

Nombre de propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	2e+011	N/m ²
Coeficiente de Poisson	0.29	NA
Densidad	7900	kg/m ³
Límite elástico	3.5157e+008	N/m ²

Nota:

COSMOSXpress los resultados del análisis de diseño están basados en un análisis estático lineal y se asume que el material es isotrópico. El análisis estático lineal presupone que: 1) el comportamiento del material es lineal, en consonancia con la ley de Hooke, 2) los desplazamientos inducidos son lo suficientemente pequeños como para pasar por alto los cambios en la rigidez debidos a las cargas, y 3) las cargas se aplican lentamente para pasar por alto los efectos dinámicos.

No base sus decisiones de diseño solamente en los datos presentados en este informe. Utilice esta información en conjunción con datos experimentales y con la experiencia práctica. Las pruebas de campo son de obligado cumplimiento para validar su diseño definitivo. COSMOSXpress le ayuda a reducir el tiempo de salida al mercado de sus productos, aunque sin llegar a eliminar las pruebas de campo por completo.

ANEXO “D”

ÁNGULOS ESTRUCTURALES

Descripción

Ángulos a 90° de alas iguales, en acero de baja aleación, laminados en caliente.

Usos

En la construcción de estructuras espaciales, celosías, vigas, columnas, arcos, diafragmas, serchas. Metal-mecánica: Industria de muebles, carrocerías para vehículos. Puertas, ventanas.

Elementos ornamentales, verjas y cerramientos. Herramientas manuales. Refuerzo para anclaje de maquinaria.



PROPIEDADES MECÁNICAS	kgf/cm ²
Límite de fluencia mínimo	2400
Resistencia a la tracción mínima	3400
Resistencia a la tracción máxima	4800
Alargamiento (%) mínimo con probeta $L_0=5.65 \cdot (A_0)^{1/2}$ mm	26%

Presentación

Se producen en longitudes estándar de 6 metros.

Longitudes especiales bajo pedido.

Normas técnicas

- **NTE INEN 2215 (Ecuatoriana)**
Perfiles de acero laminados en caliente.
Requisitos.

Dimensiones y especificaciones técnicas

DIMENSIÓN mm	MASA NOMINAL		TOLERANCIAS	
	kg/m	kg/6m	Ala mm	Espesor mm
20 x 3	0.871	5.226	+ - 1	+ - 0.50
25 x 3	1.107	6.642		
25 x 4	1.444	8.664		
25 x 6	2.072	12.432		
30 x 3	1.342	8.052		
30 x 4	1.758	10.548		
30 x 6	2.543	15.258		
40 x 3	1.813	10.878		
40 x 4	2.386	14.316		
40 x 6	3.485	20.910		
50 x 3	2.284	13.704		
50 x 4	3.014	18.084		
50 x 6	4.427	26.562		

Tolerancia de longitud: + - 50 mm

Control de Calidad

En nuestro laboratorio, se efectúan ensayos de calidad para garantizar las propiedades mecánicas y físicas del producto terminado. A solicitud del cliente se expide un certificado de calidad del producto.

Pressure gauges

Transmitters for pressure and absolute pressure

SITRANS P, Z series
Introduction

Application

The transmitters 7MF1560 and 7MF1563 are used to measure the absolute and relative pressures or the level of liquids and gases, the transmitter 7MF1562 to measure the relative pressure of gases, liquids and steam.

They are used in the chemical, pharmaceutical and food industries, in mechanical engineering, shipbuilding, water supply and conservation etc.

An application example for the 7MF1562 is the measurement of compressed air containing oil in compressors or compressor stations.

Design

The pressure transmitters contain a piezo-resistive measuring cell with stainless steel diaphragm (7MF1560) or a thin-film cell with ceramic diaphragm (7MF1562 and 7MF1563) which can also be used for corrosive media, and an electronics board, fitted together in a stainless steel (7MF1560 and 7MF1563) or brass (7MF1562) housing. With the transmitter 7MF1560, the measuring cell and the electronics are potted together.

The transmitter has a process connection G $\frac{1}{2}$ A (male thread), or G $\frac{1}{8}$ A (female thread) to DIN 16 288 made of stainless steel or brass.

The electrical connection is via a plug (DIN 43 650) with Pg 9 cable inlet.

Mode of operation

The silicon measuring cell of the transmitter has a piezo-resistive bridge on which the operating pressure is transmitted via silicone oil and a stainless steel seal diaphragm. The transmitters 7MF1562 and 7MF1563 have a thin-film strain gauge which is mounted on a ceramic diaphragm.

Every measuring cell is temperature-compensated.

The voltage output by the measuring cell is converted by an amplifier into an output current of 4 to 20 mA.



Fig. 1/163 Pressure transmitters 7MF1560, 7MF1562 and 7MF1563

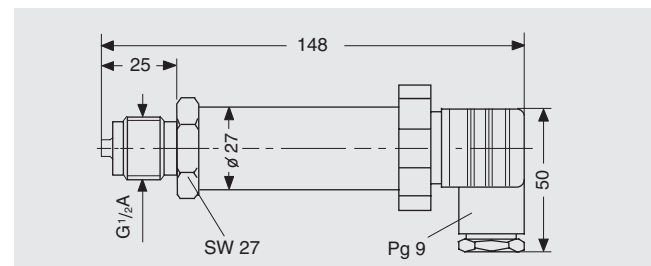


Fig. 1/164 Pressure transmitter 7MF1560, dimensions

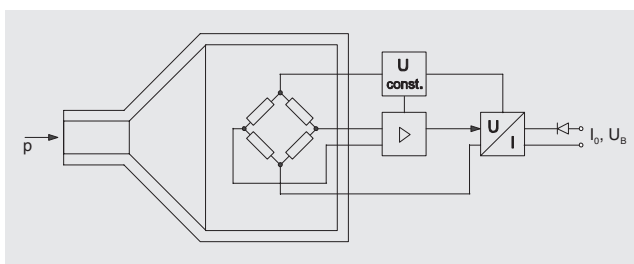


Fig. 1/161 Pressure transmitters 7MF1560, 7MF1562 and 7MF1563, mode of operation

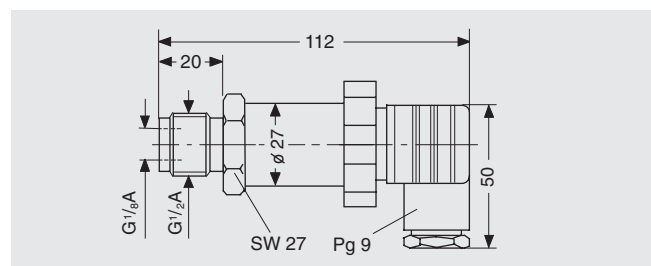


Fig. 1/165 Pressure transmitter 7MF1562, dimensions

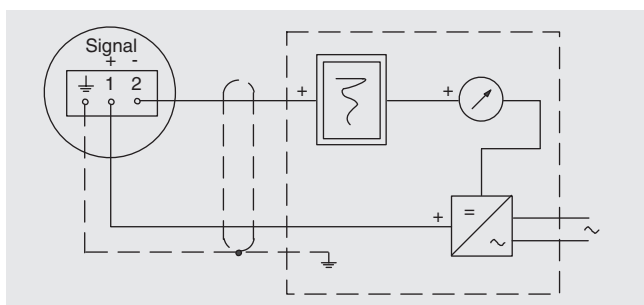


Fig. 1/162 Pressure transmitters 7MF1560, 7MF1562 and 7MF1563, connection diagram

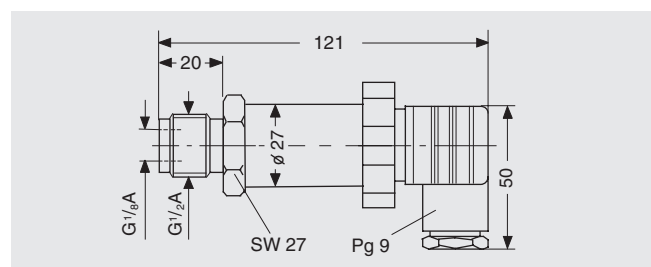


Fig. 1/166 Pressure transmitter 7MF1563, dimensions

Pressure gauges

Transmitters for pressure and absolute pressure

SITRANS P, Z series

Technical data

Technical data

	7MF1560	7MF1562	7MF1563
Application			See page 1/135
Mode of operation and system design			See page 1/135
Measuring principle	Piezo-resistive	Thin-film strain gauge	Thin-film strain gauge
Input			
Measured variable	Pressure and absolute pressure	Pressure	Pressure and absolute pressure
Measuring range	0 to 400 bar	0 to 25 bar	0 to 400 bar
Output			
Output signal		4 to 20 mA	
Load		(U _B - 10 V) / 0.02 A	
Characteristic		Linear rising	
Accuracy			
Error in measurement (at 25 °C, including conformity error, hysteresis and repeatability)	0.2 % of full-scale value - typical	0.5 % of full-scale value - typical	0.25 % of full-scale value - typical
Response time T ₉₉		< 0.1 s	
Long-term drift			
• Start-of-scale value	0.2 % of full-scale value/year	0.3 % of full-scale value/year - typical	0.25 % of full-scale value/year
• Span	0.2 % of full-scale value/year	0.3 % of full-scale value/year - typical	0.25 % of full-scale value/year
Ambient temperature effect			
• Start-of-scale value	0.25 %/10 K of full-scale value - typical	0.3 %/10 K of full-scale value - typical	0.25 %/10 K of full-scale value - typical
• Span	0.25 %/10 K of full-scale value	0.3 %/10 K of full-scale value - typical	0.25 %/10 K of full-scale value
Vibration influence		0.05 %/g to 500 Hz in all directions (to IEC 68-2-64)	
Power supply influence		0.01 %/V	
Rated operating conditions			
Ambient conditions			
• Ambient temperature		-25 to +85 °C	
• Storage temperature		-50 to +100 °C	
• Degree of protection (to EN 60 529)		IP 65	
• Electromagnetic compatibility			
- Emitted interference		To EN 50 081	
- Noise immunity		To EN 50 082	
Medium conditions			
• Process temperature limits		-30 °C to +120 °C	
• Process pressure limits		See overload pressure (ordering data on page 1/137)	
Design			
Weight (without options)	Approx. 0.3 kg	Approx. 0.2 kg	Approx. 0.25 kg
Dimensions		See dimensional drawings on page 1/135	
Material			
• Wetted parts materials			
- Measuring cell	Stainless steel, mat. No. 1.4571	Al ₂ O ₃ - 96 %	Al ₂ O ₃ - 96 %
- Process connection	Stainless steel, mat. No. 1.4571	Brass, mat. No. 2.0402	Stainless steel, mat. No. 1.4571
- O-ring	Fully-welded design	Viton	Viton
• Non-wetted parts materials			
- Housing	Stainless steel, mat. No. 1.4571	Brass, mat. No. 2.0402	Stainless steel, mat. No. 1.4571
- Plug connector		Plastic housing, to DIN 43 650, form A	
Process connection	G $\frac{1}{2}$ A - male thread (DIN 16 288), remote seals on request	G $\frac{1}{2}$ A - male thread G $\frac{1}{8}$ A - female thread	G $\frac{1}{2}$ A - male thread G $\frac{1}{8}$ A - female thread
Electrical connection (to DIN 43 650)		Pg 9	
Power supply			
Terminal voltage on transmitter	10 to 40 V DC	10 to 36 V DC	10 to 36 V DC

Pressure gauges Transmitters for pressure and absolute pressure

SITRANS P, Z series
7MF156. Ordering data

Ordering data

Transmitter SITRANS P, Z series

7MF1560, for pressure and absolute pressure

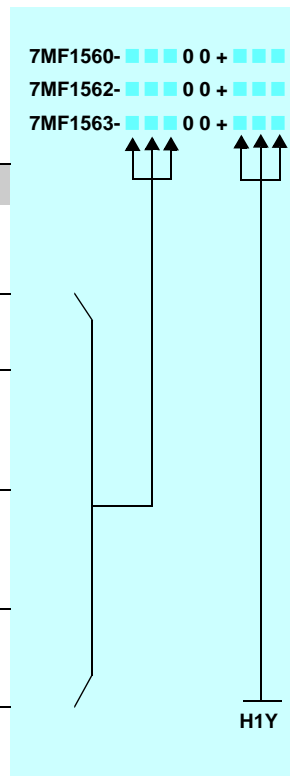
7MF1562, for pressure

7MF1563, for pressure and absolute pressure
Two-wire system, rising characteristic

Order No. Order code

7MF1560- 0 0 +
7MF1562- 0 0 +
7MF1563- 0 0 +

Measuring range	Overload pressure			7MF1560		7MF1562	7MF1563	
	7MF1560	7MF1562	7MF1563	Pressure	Absolute pressure	Pressure	Pressure	Absolute pressure
0 to 250 mbar	4 bar			2AD	4AD	-	-	-
0 to 400 mbar	4 bar			2AE	4AE	-	-	-
0 to 600 mbar	4 bar			2AG	4AG	-	-	-
0 to 1 bar	4 bar		7 bar	3BA	5BA	-	3BA	5BA
0 to 1.6 bar	7 bar		7 bar	3BB	5BB	-	3BB	5BB
0 to 2.5 bar	14 bar		12 bar	3BD	5BD	-	3BD	5BD
0 to 4 bar	14 bar		12 bar	3BE	5BE	-	3BE	5BE
0 to 6 bar	14 bar		25 bar	3BG	5BG	-	3BG	5BG
0 to 10 bar	34 bar		25 bar	3CA	5CA	-	3CA	5CA
0 to 16 bar	34 bar	32 bar	50 bar	3CB	5CB	3CB	3CB	5CB
0 to 25 bar	70 bar	64 bar	120 bar	3CD		3CD	3CD	
0 to 40 bar	140 bar		120 bar	3CE		-	3CE	
0 to 60 bar	140 bar		250 bar	3CG		-	3CG	
0 to 100 bar	340 bar		250 bar	3DA	-	-	3DA	-
0 to 160 bar	340 bar		500 bar	3DB	-	-	3DB	-
0 to 250 bar	700 bar		500 bar	3DD	-	-	3DD	-
0 to 400 bar	700 bar		600 bar	3DE	-	-	3DE	-
Other version Add Order code and plain text: Measuring range: ... to ... (m)bar				9AA	9AB	9AA	9AA	9AB



Available ex stock

Low-Cost Multifunction DAQ for USB

NI USB-6008, NI USB-6009

- Small, portable multifunction data acquisition devices
- 12 or 14-bit input resolution, at up to 48 kS/s
- Built-in, removable connectors for easier and more cost-effective connectivity
- 2 true DAC analog outputs for accurate output signals
- 12 digital I/O lines (TTL/LVTTL/CMOS)
- 32-bit event counter
- Student kits available

Operating Systems

- Windows 2000/XP
- Mac OS X
- Linux

Recommended Software

- LabVIEW
- LabWindows/CVI

Measurement Services Software (included)

- NI-DAQmx Base
- Ready-to-Run Data Logger

NEW



Product	Bus	Analog Inputs ¹	Input Resolution (bits)	Max Sampling Rate (kS/s)	Input Range (V)	Analog Outputs	Output Resolution (bits)	Output Rate (Hz)	Output Range (V)	Digital I/O Lines	32-bit Counter	Trigger
USB-6009	USB	8 SE/4 DI	14	48	±1 to ±20	2	12	150	0 to 5	12	1	Digital
USB-6008	USB	8 SE/4 DI	12	10	±1 to ±20	2	12	150	0 to 5	12	1	Digital

¹ SE = single ended, DI = differential

Hardware Description

The National Instruments USB-6008 and USB-6009 multifunction data acquisition devices provide reliable data acquisition at a low price. With plug-and-play USB connectivity, these devices are simple enough for quick measurements, but versatile enough for more complex measurement applications.

Software Description

The NI USB-6008 and USB-6009 include a ready-to-run data logger application that acquires and logs up to eight channels of analog data. For more functionality, NI-DAQmx Base software is a multiplatform driver with a subset of the NI-DAQmx programming interface. Use it to develop customized DAQ applications with NI LabVIEW or C-based development environments.

Recommended Accessories

The USB-6008 and USB-6009 have built-in connectivity, so no additional accessories are required.

Common Applications

The USB-6008 and USB-6009 are ideal for a number of applications where economy, small size, and simplicity are essential, such as:

- Data logging – Log environmental or voltage data quickly and easily
- Academic lab use – The low price facilitates student ownership of DAQ hardware for completely interactive lab-based courses. Academic pricing available. Visit ni.com/academic for details.
- Embedded OEM applications

Information for Student Ownership

To supplement simulation, measurement, and automation theory courses with practical experiments, NI has developed the USB-6008 and USB-6009 student kits that include LabVIEW Student Edition and a ready-to-run data logger application. These kits are exclusively for students, giving them a powerful, low-cost hands-on learning tool. Visit ni.com/academic for more details.

Information for OEM Customers

For information on special configurations and pricing, please visit ni.com/oem.

Ordering Information

NI USB-6008¹779051-01
 NI USB-6009¹779026-01
 NI USB-6008 Student-kit^{1,2}779320-22
 NI USB-6009 Student-kit^{1,2}779321-22
¹Includes NI-DAQmx Base Software, NI-Ready-to-Run Data Logger Software, and a USB cable.
²Includes LabVIEW Student Edition

Low-Cost Multifunction DAQ for USB

Specifications

Typical at 25 °C unless otherwise noted.

Analog Input

Absolute accuracy, single-ended

Range	Typical at 25 °C (mV)	Maximum (0 to 55 °C) (mV)
±10	14.7	138

Absolute accuracy at full scale, differential¹

Range	Typical at 25 °C (mV)	Maximum (0 to 55 °C) (mV)
±20	14.7	138
±10	7.73	84.8
±5	4.28	58.4
±4	3.59	53.1
±2.5	2.56	45.1
±2	2.21	42.5
±1.25	1.70	38.9
±1	1.53	37.5

¹ Input voltages may not exceed the working voltage range

Number of channels 8 single-ended / 4 differential
 Type of ADC Successive approximation

ADC resolution (bits)

Device	Differential	Single-Ended
USB-6008	12	11
USB-6009	14	13

Maximum sampling rate (system dependent)

Device	Maximum Sampling Rate (kS/s)
USB-6008	10
USB-6009	48

Input range, single-ended ±10 V
 Input range, differential ±20, ±10, ±5, ±4, ±2.5, ±2, ±1.25, ±1 V
 Maximum working voltage ±10 V
 Overvoltage protection ±35 V
 FIFO buffer size 512 B
 Timing resolution 41.67 ns (24 MHz timebase)
 Timing accuracy 100 ppm of actual sample rate
 Input Impedance 144 kΩ
 Trigger source Software or external digital trigger
 System noise 0.3 LSB_{rms} (±10 V range)

Analog Output

Absolute accuracy (no load) 7 mV typical, 36.4 mV maximum at full scale
 Number of channels 2
 Type of DAC Successive approximation
 DAC resolution 12 bits
 Maximum update rate 150 Hz, software-timed
 Output range 0 to +5 V
 Output impedance 50 Ω
 Output current drive 5 mA
 Power-on state 0 V
 Slew rate 1 V/μs
 Short-circuit current 50 mA

Digital I/O

Number of channels 12 total
 8 (P0.<0..7>)
 4 (P1.<0..3>)
 Direction control Each channel individually programmable as input or output
 Output driver type
 USB-6008 Open-drain
 USB-6009 Each channel individually programmable as push-pull or open-drain.
 Compatibility CMOS, TTL, LVTTL
 Internal pull-up resistor 4.7 kΩ to +5 V
 Power-on state Input (high impedance)
 Absolute maximum voltage range -0.5 to +5.8 V

Digital logic levels

Level	Min	Max	Units
Input low voltage	-0.3	0.8	V
Input high voltage	2.0	5.8	V
Input leakage current	–	50	μA
Output low voltage (I = 8.5 mA)	–	0.8	V
Output high voltage (Push-pull, I = -8.5 mA)	2.0	3.5	V
Output high voltage (Open-drain, I = -0.6 mA, nominal)	2.0	5.0	V
Output high voltage (Open-drain, I = -8.5 mA, with external pull-up resistor)	2.0	–	V

Counter

Number of counters 1
 Resolution 32 bits
 Counter measurements Edge counting (falling edge)
 Pull-up Resistor 4.7 kΩ to 5 V
 Maximum input frequency 5 MHz
 Minimum high pulse width 100 ns
 Minimum low pulse width 100 ns
 Input high voltage 2.0 V
 Input low voltage 0.8 V

Power Available at I/O Connector

+5 V output (200 mA maximum) +5 V typical
 +4.85 V minimum
 +2.5 V output (1 mA maximum) +2.5 V typical
 +2.5 V output accuracy 0.25 % max
 Voltage reference temperature drift 50 ppm/°C max

Physical Characteristics

If you need to clean the module, wipe it with a dry towel.

Dimensions (without connectors) 6.35 by 8.51 by 2.31 cm
 (2.50 by 3.35 by 0.91 in.)
 Dimensions (with connectors) 8.18 by 8.51 by 2.31 cm
 (3.22 by 3.35 by 0.91 in.)
 Weight (without connectors) 59 g (2.1 oz.)
 Weight (with connectors) 84 g (3 oz.)
 I/O Connectors USB series B receptacle
 (2) 16-position (screw-terminal) plug headers
 Screw-terminal wiring 16 to 28 AWG
 Screw-terminal torque 0.22 to 0.25 N•m
 (2.0 to 2.2 lb•in.)

Low-Cost Multifunction DAQ for USB

Bus Interface

USB specification.....	USB 2.0 full-speed
USB bus speed.....	12 Mb/s

Power Requirement

USB (4.10 to 5.25 VDC).....	80 mA typical
	500 mA maximum
USB Suspend.....	300 μ A typical
	500 μ A maximum

Environmental

The USB-6008 and USB-6009 are intended for indoor use only.

Operating Environment

Ambient temperature range.....	0 to 55 °C (tested in accordance with IEC-60068-2-1 and IEC-60068-2-2.)
Relative humidity range.....	10% to 90%, non-condensing (tested in accordance with IEC-60068-2-56.)

Storage Environment

Ambient temperature range.....	-40 to 85 °C (tested in accordance with IEC-60068-2-1 and IEC-60068-2-2.)
Relative humidity range.....	5% to 90%, non-condensing (tested in accordance with IEC-60068-2-56.)

Maximum altitude..... 2,000 m (at 25 °C ambient temperature)

Pollution Degree..... 2

Certifications and Compliances

The USB-6008 and USB-6009 are designed to meet the requirements of the following standards of safety for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

- IEC 61010-1, EN 61010-1
- UL 61010-1
- CAN/CSA C22.2 No. 61010-1

Note For UL and other safety certifications, refer to the product label, or visit ni.com/certification, search by model number or product line, and click the appropriate link in the Certification column.

Voltages

Connect only voltages that are within the absolute maximum limits of the connection point. See pertinent specification section for appropriate limits.

Hazardous Locations

The USB-6008 and USB-6009 are not certified for use in hazardous locations.

Electromagnetic Compatibility

Emissions.....	EN 55011 Class A at 10 m
	FCC Part 15A above 1 GHz
Immunity.....	Industrial levels per EN 61326:1997 + A2:2001, Table 1
EMC/EMI.....	CE, C-Tick, and FCC Part 15 (Class A) Compliant

Note: The USB-6008 and USB-6009 may experience temporary variations in analog input readings when exposed to radiated and conducted RF noise. Device returns to normal operation after RF exposure is removed.

CE Compliance

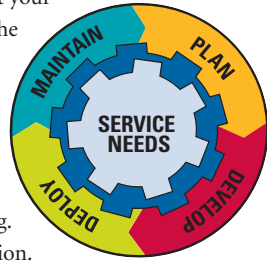
This product meets the essential requirements of applicable European Directives, as amended for CE marking, as follows:

Low-Voltage Directive (safety).....	73/23/EEC
Electromagnetic Compatibility Directive (EMC).....	89/336/EEC

Note Refer to the Declaration of Conformity (DoC) for this product for any additional regulatory compliance information. To obtain the DoC for this product, visit ni.com/certification, search by model number or product line, and click the appropriate link in the Certification column.

NI Services and Support

NI has the services and support to meet your needs around the globe and through the application life cycle – from planning and development through deployment and ongoing maintenance. We offer services and service levels to meet customer requirements in research, design, validation, and manufacturing. Visit ni.com/services for more information.



Training and Certification

NI training is the fastest, most certain route to productivity with our products. NI training can shorten your learning curve, save development time, and reduce maintenance costs over the application life cycle. NI schedules instructor-led courses in cities worldwide, or can hold a course at your facility. NI also offers a professional certification program that identifies individuals who have high levels of skill and knowledge on using NI products. Visit ni.com/training.

Professional Services

The NI Professional Services Team is comprised of NI applications engineers, NI consulting services, and a worldwide National Instruments Alliance Partner Program of more than 600 independent consultants and integrators. Services range from start-up assistance to turnkey system integration. Visit ni.com/alliance for more information.



OEM Support

We offer design-in consulting and product integration assistance if you want to use our products for OEM applications. For information about special pricing and services for OEM customers, visit ni.com/oem for more information.

Local Sales and Technical Support

In offices worldwide, NI staff is local to the country, giving you access to engineers who speak your language. NI delivers industry-leading technical support through an online KnowledgeBase, applications engineers, and access to 14,000 measurement and automation professionals within NI Developer Exchange forums. Find immediate answers to your questions at ni.com/support.

We also offer service programs that provide automatic upgrades to your application development environment and higher levels of technical support. Visit ni.com/ssp.

Hardware Services NI Factory Installation Services

NI Factory Installation Services (FIS) is the fastest and easiest way to use your PXI or PXI/SCXI combination systems right out of the box. Trained NI technicians install the software and hardware and configure the system to your specifications. NI extends the standard warranty by one year on hardware components (controllers, chassis, modules) purchased with FIS. To use FIS, simply configure your system online with ni.com/pxiadvisor.

Calibration Services

NI recognizes the need to maintain properly calibrated devices for high-accuracy measurements. We provide manual calibration procedures, services to recalibrate your products, and automated calibration software specifically designed for use by metrology laboratories. Visit ni.com/calibration.

Repair and Extended Warranty

NI provides complete repair services for our products. Express repair and advance replacement services are also available. We offer extended warranties to help you meet project life-cycle requirements. Visit ni.com/services.



ni.com • (800) 813-3693

National Instruments • info@ni.com

© 2005 National Instruments Corporation. All rights reserved. CVI, LabVIEW, National Instruments Alliance Partner, ni.com, NI-DAQ, and SCXI are trademarks or trade names of National Instruments. Other products and company names listed are trademarks or trade names of their respective companies.

National Instruments Alliance Partner Program Members are business entities independent from National Instruments and have no agency, partnership or joint-venture relationship with National Instruments.