

CAPITULO 01 | FUNDAMENTOS

INTRODUCCIÓN E HISTORIA

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

El término neumática es derivado del griego *πνεῦμα [pneuma]*, es la tecnología que emplea el aire comprimido como modo de transmisión de la energía necesaria para mover y hacer funcionar mecanismos.

El descubrimiento consciente del aire como medio o materia terrestre se remonta a muchos siglos antes de Cristo en los que ya se empleaban los fuelles para soplar aire en la fundición de cobre y estaño para obtener el bronce. Recién en la segunda mitad del siglo XIX es que el aire comprimido adquiere importancia industrial. Sin embargo, Da Vinci, lo utilizó en varios de sus inventos. En el Viejo Testamento, fueron encontradas referencias del uso del aire comprimido, en la fundición de plata, hierro, plomo y estaño. La historia demuestra que hace más de 2000 años, los técnicos construían máquinas neumáticas, produciendo energía neumática por medio de un pistón usando como medio de trabajo un cilindro de madera dotado de un émbolo.

En Alejandría (poderoso centro cultural del mundo helénico), fueron construidas las primeras máquinas reales del siglo III A.C. En este mismo período, Ctesibios fundó la Escuela de Mecánicos, también en Alejandría, convirtiéndose, por tanto, en el precursor de la técnica para comprimir el aire. La Escuela de Mecánicos era especializada en Alta Mecánica, y eran construidas máquinas impulsadas por el aire comprimido.

En el siglo III D.C., Hero en Grecia escribe un trabajo en dos volúmenes sobre las aplicaciones del aire comprimido y del vacío. Sin embargo, la falta de recursos de materiales adecuados, y los mismos incentivos, contribuyeron para que la mayor parte de estas primeras aplicaciones no fueran prácticas o no pudiesen ser desarrolladas adecuadamente. La técnica era extremadamente depreciada, a no ser que estuviese al servicio del rey y del ejército, para el mejoramiento de las máquinas de guerra. Como consecuencia, la mayoría de las informaciones se perdieron por siglos.

Durante un largo período, el desarrollo de la energía neumática sufrió una paralización, renaciendo en los siglos XVI y XVII, con los descubrimientos de grandes pensadores y científicos como Galileo, Otto Von Guericke, Robert Boyle y otros, que pasaron a observar las leyes naturales sobre compresión y expansión de los gases. Leibinz, Huyghens, Papin y Newcomem son considerados los padres de la Física Experimental, siendo que los dos últimos consideraban la presión atmosférica como una fuerza enorme contra el vacío efectivo, que era objeto de las Ciencias Naturales, Filosóficas y de la Especulación Teológica desde Aristóteles hasta el final de la época Escolástica. Comprendiendo ese período, se encuentra Evangelista Torricelli, el inventor del barómetro, un tubo de mercurio para medir la presión atmosférica.

Con la invención de la máquina a vapor de Watts, tiene inicio la era de la máquina. En el transcurso de los siglos, se desarrollaron varias maneras de aplicación del aire, con la mejora de nuevas técnicas y nuevos descubrimientos. Así, fueron surgiendo los más extraordinarios conocimientos físicos, también como algunos instrumentos como el freno de ferrocarriles desarrollado por George Westinghouse en 1869 o la distribución neumática de correspondencia en Paris hacia 1888.



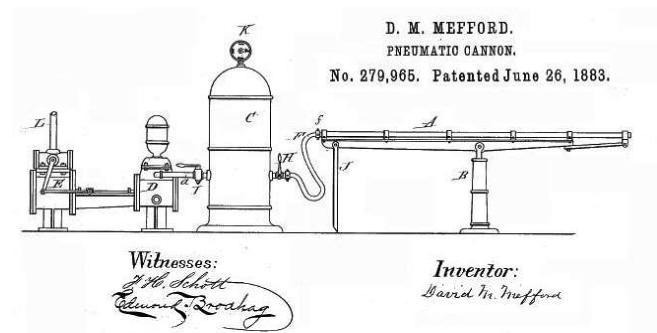
Bomba de aire de Otto Von Guericke (1650)

De hecho la neumática y el aire comprimido han tenido cientos de aplicaciones muy distintas a nuestra concepción del uso de aire comprimido para la industria. Entre los años 1870 y 1880, el aire comprimido se usa no solo en la minería y construcción de túneles

sino también en defensa. El túnel en el Monte Ceniz (Francia) comenzado en 1857 no avanzó significativamente hasta 1861 en que la nueva tecnología fue utilizada en un martillo neumático para perforar la roca. Estos operaban con compresores de aire ubicados en los extremos del túnel. En ambos casos el aire era transportado por largas distancias. En 1871 se completó la apertura del túnel. Para ese momento había más de 7 kilómetros de tubería de cada lado. En este momento se hizo público la posibilidad de transportar la energía del aire comprimido y sus ventajas

En Estados Unidos el ejército descubrió que podía disparar en forma segura cargas de dinamita. Esto llevo al ejército a desarrollar varios cañones desde el Reynolds de 4 pulgadas de diámetro a 420 psig (29 barg), y los modelos de 8 pulgadas de diámetro a 800 psig (55,2 barg). El diseño y las pruebas dieron como resultado el modelo 1890, cañón que podría disparar un proyectil de 1000 libras (454 Kg.) a más de 3 millas de distancia. El cañón pesaba 38 toneladas y era operado a una presión de 1000 psig (69barg) de aire comprimido. Este era alimentado por un compresor a pistón accionado a vapor que pesaba 7,5 toneladas.

Con el aumento de la seguridad, facilidad de uso y la fiabilidad del cañón convencional, la tecnología de cañón de aire comprimido fue retirada de servicio del ejército de Estados Unidos sin tener que disparar un cartucho hostil. Nunca hubo más que breves menciones en los manuales de artillería y se supone que el ejército aún dispone de ellos.



Un largo camino fue recorrido, desde las máquinas impulsadas por aire comprimido en Alejandría a las actuales que combinan neumática y electrónica. Por lo tanto, el hombre intentó siempre manipular esta fuerza para colocarla a su servicio, con el único objetivo: controlarla y hacerla trabajar cuando sea necesaria.

Actualmente, el control del aire tiene mejor eficiencia y velocidad lo cual permite realizar operaciones sin fatiga, economizando tiempo, herramientas y materiales, además de fortalecer seguridad al trabajo.

A pesar de todo esto la irrupción verdadera y generalizada de la neumática en la industria se inició recién a mediados del siglo XIX cuando fue más acuciante la exigencia de una automatización y racionalización en los procesos de trabajo.

En la actualidad, ya no se concibe una línea de producción industrial sin aire comprimido. Este es el motivo por el cual, en los más variados rubros industriales se utiliza equipamiento neumático.

Es así que el aire comprimido es la cuarta utilidad industrial junto con el agua, el gas y la energía eléctrica.

A pesar de todo esto el aire comprimido sigue siendo una de las fuentes de energía más incomprendidas y subvaloradas en las que llega a derrocharse más de un 50% del aire comprimido generado.

Más del 90% de las plantas industriales se detendrían sin aire comprimido y su producción se estancaría generando un colapso en el sistema productivo. A pesar de esto, los programas de colegios técnicos y universidades no incorporan el estudio del aire comprimido, la neumática y su economía en la profundidad que debieran.

Los sistemas de aire comprimido actuales son sistemas muy complejos con gran cantidad de componentes que intervienen en su generación, tratamiento y distribución. Para mencionar alguno de estos componentes tenemos:

- ▶ Compresor
- ▶ Post Enfriador
- ▶ Filtros
- ▶ Tratamiento de condensado
- ▶ Ventilación del sistema
- ▶ Tanques (seco y húmedo)
- ▶ Secador
- ▶ Instrumentación
- ▶ Red de distribución

La mayoría de estos componentes requiere energía eléctrica para su operación, por cuanto las ineficiencias impactarán directamente en la base de la estructura de costos.

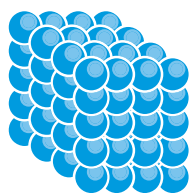
Entender cómo interactúan estos componentes entre sí es fundamental para evitar contratiempos, paradas de planta no programadas y reducir los costos operativos del sistema.



Esta línea de producción se detendrá si la planta se queda sin aire comprimido.

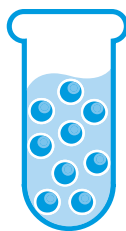
EL AIRE: NUESTRO FLUIDO VITAL

La materia que nos circunda se presenta en 3 formas básicas definidas como:



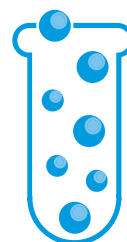
SÓLIDA

Posee forma y volumen definido.



LIQUIDA

Posee un volumen definido, pero asume y adopta la forma del recipiente que lo contiene.



GASEOSA

No posee forma, ocupa totalmente el espacio disponible.

Las moléculas de los sólidos están dotadas de una gran fuerza de cohesión que determina su forma. Al contrario, las moléculas de gas poseen una fuerza de cohesión muy pequeña razón por la cual se mueven prácticamente libres en todas las direcciones, por eso ocupan totalmente el volumen del recipiente que los contiene independientemente de cual sea su forma y la cantidad del gas.

Se denomina aire a la mezcla homogénea de gases que constituye la atmósfera terrestre, que permanecen alrededor del planeta Tierra por acción de la fuerza de gravedad. El aire es esencial para la vida en el planeta. Esta combinación de gases tiene las siguientes proporciones:

Componente		Concentración aprox. (En volumen)
Nitrógeno	N	78.03 %
Oxígeno	O	20.99 %
Dióxido de Carbono	CO2	0.03 %
Argón	Ar	0.94 %
Neón	Ne	0.00123 %
Helio	He	0.0004 %
Criptón	Kr	0.00005 %
Xenón	Xe	0.000006 %
Hidrógeno	H	0.01 %
Metano	CH4	0.0002 %
Óxido nitroso	N2O	0.00005 %
Vapor de Agua	H2O	Variable
Ozono	O3	Variable
Partículas		Variable

El peso de esta masa de aire alrededor de la tierra aplicada por unidad de área es la presión atmosférica. Esta en un punto dado, coincide numéricamente con el peso de una columna estática de aire de sección unitaria que se extiende desde ese punto hasta el límite superior de la atmósfera.

Como la densidad del aire disminuye conforme aumenta la altura, no se puede calcular ese peso a menos que seamos capaces de expresar la variación de la densidad del aire ρ en función de la altitud z o de la presión p . Por este motivo, no resulta nada fácil hacer un cálculo exacto de la presión atmosférica sobre un lugar de la superficie terrestre. Además, tanto la temperatura como la presión del aire están variando continuamente, en una escala temporal como espacial, dificultando el cálculo aún más.

La presión atmosférica en un lugar determinado experimenta variaciones asociadas con los cambios meteorológicos. Por otra parte, en un lugar determinado, la presión atmosférica disminuye con la altitud, como se ha dicho. La presión atmosférica decrece a razón de 1 mmHg por cada 10 m de elevación en los niveles próximos al del mar. La presión atmosférica también varía según la latitud. La menor presión atmosférica al nivel del mar se alcanza en las latitudes ecuatoriales. Ello se debe a la forma geométrica de la Tierra.

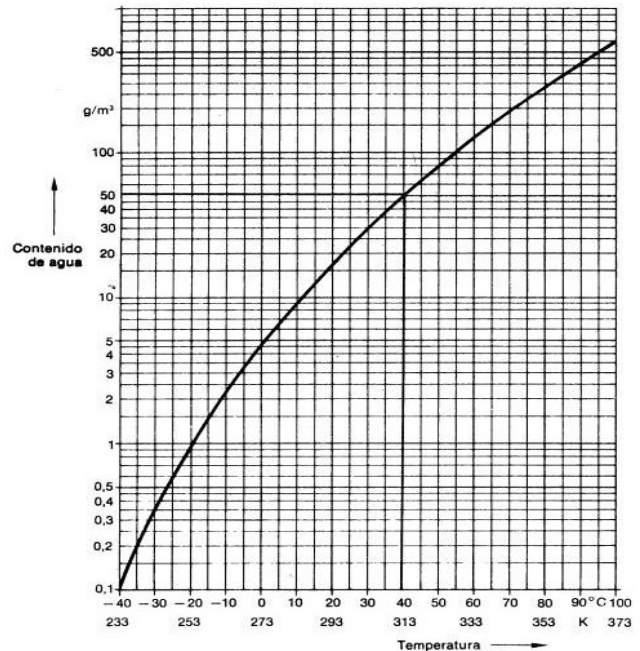
HUMEDAD DEL AIRE

Como viéramos anteriormente, el aire dentro de su composición tiene una cantidad variable de vapor de agua. La humedad del aire se debe al vapor de agua que se encuentra presente en la atmósfera. El vapor procede de la evaporación de los mares y océanos, de los ríos, los lagos, la transpiración de las plantas y otros seres vivos. La cantidad de vapor de agua que puede absorber el aire depende de su temperatura. El aire caliente admite más vapor de agua que el aire frío.

El vapor de agua tiene una densidad menor que el aire por lo que el aire húmedo (mezcla de aire y vapor) es menos denso que el aire seco.

La humedad máxima o de saturación es aquella en la que el aire tiene el valor máximo admisible de vapor de agua. Este vapor depende de la temperatura. La humedad absoluta se refiere a la cantidad de vapor de agua que tiene el aire. En el siguiente gráfico se muestra cómo es la relación entre contenido de agua y la temperatura del aire

Si usted esta en la industria alimenticia, considere que a mayor humedad en el aire comprimido crecerán mas bacterias en su sistema y así aumentará el riesgo de contaminación.



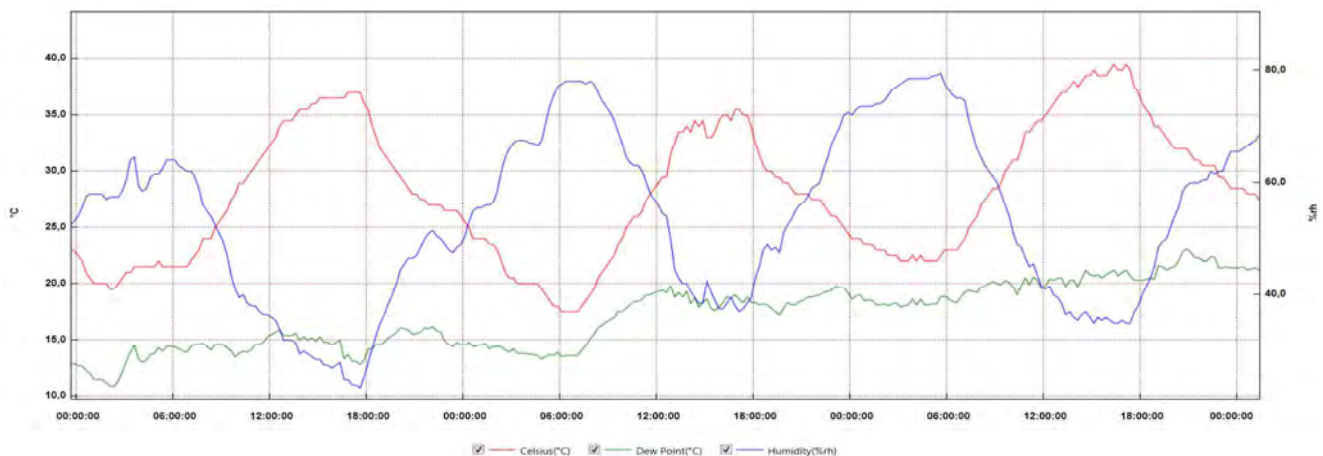
HUMEDAD RELATIVA

La humedad relativa es la relación entre la cantidad de vapor de agua que hay en el aire analizado (humedad absoluta) y el máximo que podría llegar a contener si todo el aire estuviera saturado (humedad de saturación). Para aumentar la cantidad de vapor de agua en el aire se necesita energía calorífica, por lo que esta capacidad depende de la temperatura del aire como se observa en el gráfico anterior.

Para una misma humedad absoluta (misma cantidad de vapor de agua), la humedad relativa aumenta cuando desciende la temperatura.

Para el clima, lo más interesante es la humedad relativa ya que una masa de aire saturada, o cercana a la saturación, es una masa de aire húmedo y las plantas pueden aprovechar esa humedad, mientras que de una masa de aire seco no, aunque tenga mayor humedad absoluta. Cuando la humedad llega al 100%, y empieza a condensar la humedad, se está en el punto de rocío.

En el siguiente cuadro se muestra la relación antes mencionada entre la temperatura (línea roja), la humedad (línea azul) y el punto de rocío (línea verde).



Frecuentemente al especificar el rendimiento de un soplador o un compresor, se producen problemas importantes al distinguir ACFM de SCFM según la literatura norteamericana y m³/min o Nm³/min según la literatura europea y al convertir correctamente de uno a otro. Algunas personas incluso usan SCFM y ACFM indistintamente.

Por este motivo puede observarse en los catálogos ACFM y m³/min y como caudal actual. En el caso de caudal normalizado SCFM o Nm³/min. Cada pie cúbico por minuto equivale a 0.0283 m³. El caudal normalizado se usa normalmente para designar el flujo en términos de presión base, presión de referencia, temperatura y humedad relativa.

La conversión se hace sencilla si se aplican las leyes vistas anteriormente:

$$\frac{P_N \times V_N}{T_N} = \frac{P_A \times V_A}{T_A}$$

Como ejemplo podemos ver que 2.715 Nm³/min según la ISO 2533 equivalen a 2.574 Nm³/min según la ISO 1343.

APLICACIONES Y USOS DEL AIRE COMPRIMIDO

El aire comprimido es tan bueno que presenta las siguientes ventajas:

- ▶ Su generación es ilimitada en cualquier lugar.
- ▶ Es una fuente de energía fácil de transportar y almacenar.
- ▶ Es incombustible y no inflamable; insensible a cambios de temperatura.
- ▶ Funciona bien en ambientes húmedos, corrosivos y explosivos.
- ▶ Los actuadores son compactos y de bajo costo. Resistentes a sobrecargas.
- ▶ El mantenimiento de los equipos es relativamente simple.
- ▶ El aire comprimido (no lubricado) no contamina.
- ▶ Es un medio de trabajo muy veloz y que permite conmutación instantánea.
- ▶ Es muy fácil de conectar

El aire comprimido está presente en nuestra vida diaria mucho más de lo que creemos. En la industria, el aire está presente en más del 95% de las plantas industriales, las cuales se detendrían si no tuvieran aire comprimido.

Para no ser tan extenso mencionamos aquí algunos ejemplos de uso del aire comprimido que nos cruzamos a diario en nuestras vidas (sin contar las aplicaciones en la industria):

- ▶ Odontología, para mover tornos en forma limpia y segura.
- ▶ Plantas de tratamiento de agua, para airear aguas servidas, comandar válvulas, etc.
- ▶ Pistas de sky, para generar nieve artificial
- ▶ Apertura de puertas de trenes y buses. Freno de vehículos. Bocinas.
- ▶ Estaciones de servicio: inflado de ruedas de los vehículos.
- ▶ Camiones, izaje de tercer eje cuando están descargados.
- ▶ Martillos neumáticos para rotura del pavimento en las calles y minería.
- ▶ Hoteles, máquinas de planchado.



Ejemplo de una máquina de perforado de caños

CAPITULO 02 | COMPRESIÓN DEL AIRE

GENERACIÓN DE AIRE COMPRIMIDO

Para producir aire comprimido se utilizan compresores los cuales toman aire de la atmósfera, lo comprimen y lo inyectan a la red a mayor presión que la atmosférica a expensas de un importante consumo de energía eléctrica (generalmente) que se transforma mayormente en calor y luego de algunas pérdidas mecánicas, el resto en aire comprimido. Estos equipos elevan la presión del aire desde la presión atmosférica hasta el valor de trabajo preestablecido.

En general, las máquinas, mecanismos y mandos neumáticos se alimentan desde una estación o sala de máquinas central donde se lo produce, se lo trata y luego se distribuye el aire comprimido a todos los usuarios de la planta a través de tuberías las cuales se hacen en diferentes materiales y en distintos tamaños.

Los compresores móviles se utilizan en el ramo de la construcción o en máquinas que se desplazan frecuentemente. Generalmente son movidos por motores de combustión interna (diesel o naftero) para evitar depender de una instalación eléctrica (por ejemplo, los equipos móviles que se utilizan en las reparaciones viales).

Existen varios rangos de presión de trabajo del aire comprimido.

BAJA PRESIÓN

Son aplicaciones neumáticas en ambientes industriales, hobbistas y domésticas en las cuales por lo general la presión máxima es de 10 bar.

MEDIA PRESIÓN

Son presiones en el rango de los 10 a 20 bar. Existen pocas aplicaciones industriales de soplado de envases e inflado de ruedas de vehículos pesados.

ALTA PRESIÓN

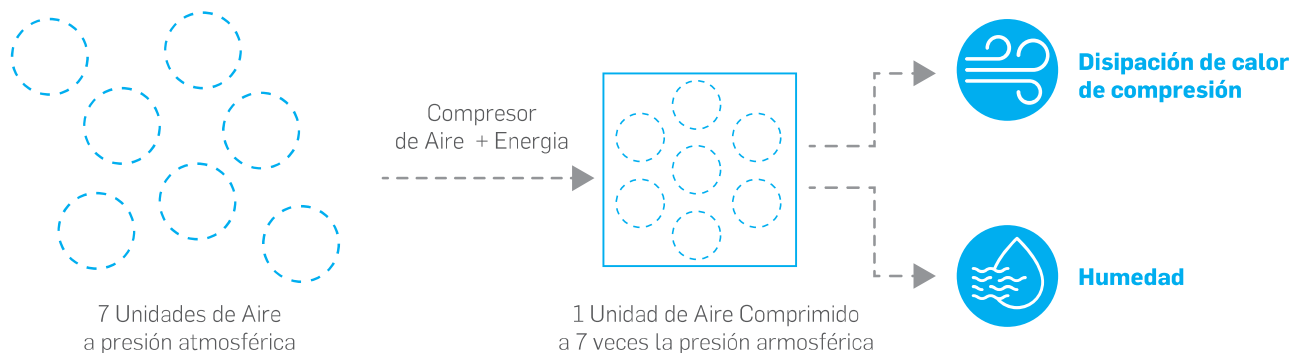
Está en el orden de los 40 bar. Las aplicaciones son pocas y muy específicas como puesta en marcha de grandes motores, soplado de botellas de PET y prueba de cañerías.

MUY ALTA PRESIÓN

El rango de estas aplicaciones llega a los 900 bar, las aplicaciones básicas en este rango son el llenado de tanques de respiración autónoma como los usados por buzos y bomberos.

En nuestro caso nos enfocaremos en aplicaciones industriales de baja presión ya que son las que dominan la mayoría de las aplicaciones que se ven a diario en las industrias.

En cuanto a los compresores de alta presión, para llegar a valores como los mencionados actualmente se utilizan diversas tecnologías, típicamente se recurre a un tándem de etapas para lograr altas presiones.



Conversión del aire atmosférico en aire comprimido

En el momento de la planificación es necesario prever un sistema tal que contemple las futuras necesidades de crecimiento de la planta, con el fin de poder alimentar diversos equipos neumáticos que se agreguen en el futuro. Por ello, siempre es preferible sobredimensionar la instalación. Lo mismo ocurre con el compresor, puesto que toda ampliación ulterior en el equipo generador supone gastos e inversiones muy considerables.

Trabajar con aire comprimido presenta ciertas ventajas frente a otras energías alternativas, así como también presenta algunas desventajas.

Las ventajas de operar con un sistema de aire comprimido son:

ABUNDANTE

Está disponible para su compresión prácticamente en todo el mundo, en cantidades ilimitadas.

TRANSPORTE

El aire comprimido puede ser fácilmente transportado por tuberías, incluso a grandes distancias. No es necesario disponer tuberías de retorno.

ALMACENABLE

No es preciso que un compresor permanezca continuamente en servicio. El aire comprimido puede almacenarse en depósitos y tomarse de éstos. Además, se puede transportar en recipientes (por ejemplo, los buzos o bomberos).

ANTIDFLAGRANTE

No existe ningún riesgo de explosión ni incendio; por lo tanto, no es necesario disponer de costosas instalaciones anti-explosivas. De hecho, el aire comprimido es muy usado en aplicaciones de minería donde el riesgo potencial de explosión es alto.

TEMPERATURA

El aire comprimido es insensible a las variaciones de temperatura, garantiza un trabajo seguro incluso a temperaturas extremas.

LIMPIO

El aire comprimido es limpio y, en caso de faltas de estanqueidad en elementos, no produce ningún tipo de suciedad. Esto es muy importante, por ejemplo, en las industrias alimenticias, de la madera, textiles y del cuero.

VELOCIDAD

Es un medio de trabajo muy rápido y, por eso, permite obtener velocidades de trabajo muy elevadas. (La velocidad de trabajo de cilindros neumáticos pueden regularse sin escalones).

A PRUEBA DE SOBRECARGAS

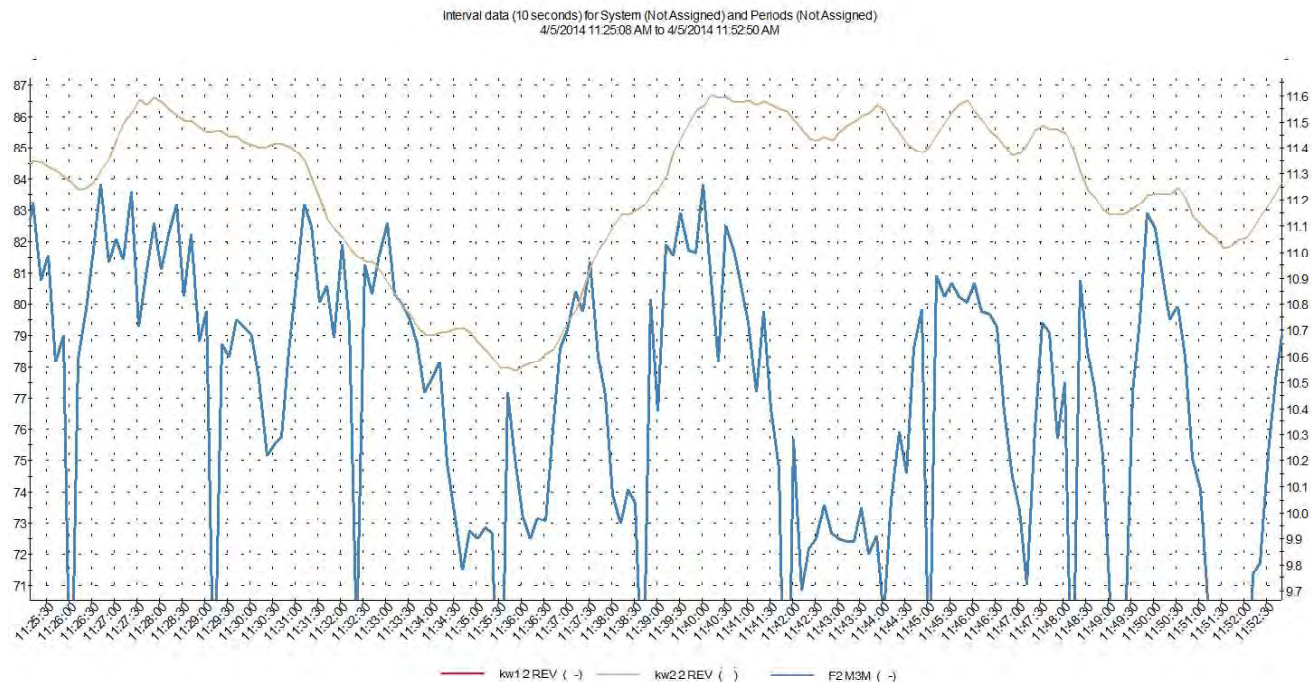
Las herramientas y elementos de trabajo neumáticos pueden sobrecargarse hasta su parada completa sin riesgo alguno de rotura, cosa que no ocurre con un equipo eléctrico comparable.

SISTEMAS DE CONTROL

Los compresores están diseñados para abastecer el caudal de aire comprimido máximo con el menor consumo de energía posible. Sin embargo, en las industrias raramente la demanda es constante, la misma varía a lo largo de la jornada laboral, originando momentos en los cuales el equipo opera a carga parcial debido al menor consumo de aire. Por este motivo es muy importante un sistema de control para tener una instalación eficiente desde el cumplimiento de la demanda y el consumo de energía.

Para avanzar con los sistemas de control debemos introducir algunos conceptos fundamentales. El primero es el "perfil de carga" de una instalación que es la variación del caudal de aire demandado por la planta a lo largo de un período de tiempo.

El análisis del perfil de carga comparado contra la presión o contra el consumo de potencia (ver gráfico siguiente) se utiliza en las auditorías de sistemas para analizar falencias del sistema.



Perfil de demanda en una instalación

Como los sistemas de aire comprimido son pensados y diseñados para cubrir la máxima demanda, un sistema de control eficiente es necesario para reducir el consumo de potencia al tiempo que se reduce la entrega de aire comprimido en los períodos de baja demanda (compresor operando a carga parcial) a medida que se copia el perfil de demanda del sistema.

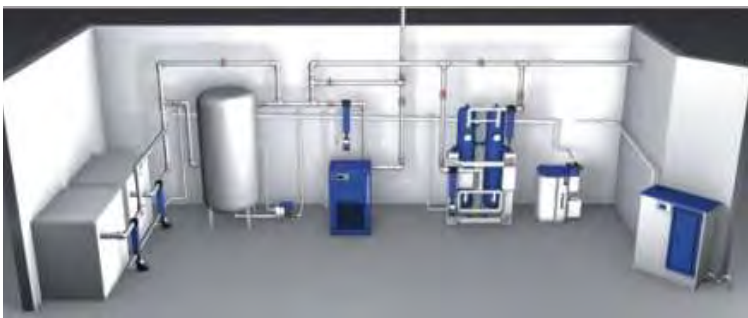
CAPITULO 03

TRATAMIENTO Y DISTRIBUCION DEL AIRE COMPRIMIDO

CONSIDERACIONES BÁSICAS DEL DISEÑO DE LA SALA DE MÁQUINAS

La eficiencia y rendimiento del sistema de aire comprimido no depende sólo de los equipos principales involucrados. La sala de máquinas es muy importante ya que alojará los componentes primarios del sistema y será el punto donde nace nuestro fluido vital. Desde aquí se aspira el aire que será comprimido y distribuido, por esto la calidad del diseño de la sala de máquinas será un factor muy importante.

La función de la sala de máquinas no es la de "guardar" todos los equipos que hacen ruido y generan calor que, muy frecuentemente, afectan al confort de las oficinas no relacionadas a producción, menos aún es la función de almacenar equipos viejos de la planta.



El correcto diseño de una sala de máquinas es fundamental para garantizar la calidad del aire comprimido.

Ejemplo de sala de máquinas usada como depósito



Una instalación adecuada provee importantes beneficios como reducción de tiempo de paradas no programadas, fácil acceso para la colocación de equipos de emergencia optimiza el rendimiento del sistema y reduce los costos operativos.

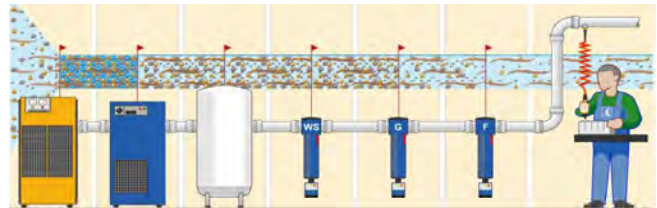
Un punto que no se ha mencionado previamente y que resulta obvio, es que debe proveerse energía eléctrica a toda la sala de máquinas en forma confiable y segura con líneas independientes y sus seccionadores por cada equipo. Provea neutro y masas adecuadas en cada caso. Provea también el tratamiento adecuado de los desechos (por ejemplo, de los condensados) y no contamine vertiendo el condensado con aceite al alcantarillado público.

TRATAMIENTO PRIMARIO DEL AIRE COMPRIMIDO

Ya tenemos los compresores y los hemos alojado en la sala de máquinas, ya generamos nuestro fluido vital y debemos tratarlo antes de empezar a distribuirlo y usarlo en las máquinas y procesos de la industria.

Las impurezas absorbidas por el equipo y comprimidas más las propias generadas por el sistema ya sean partículas de suciedad, óxido, residuos de aceite lubricante y humedad dan origen a muchas averías en las instalaciones neumáticas y a la destrucción de los elementos neumáticos. Por este motivo un tratamiento primario del aire en la sala de máquinas antes de enviarlo a la red de distribución es muy importante.

Antes de comenzar con el tratamiento debemos considerar cual será el uso del aire comprimido ya que quizás convenga un determinado tratamiento y un tratamiento fino para los procesos que así lo requieran lo cual le requerirá la instalación de más equipos, pero el costo general de la instalación será menor.



Ante todo, recordemos algunos conceptos básicos:

¿PUEDE LA HUMEDAD DAÑAR EL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO?

El agua líquida en el sistema de aire comprimido aumenta los costos de operación y contribuye a tener innecesarios rechazos de productos e incontables horas de mantenimiento no programado.

La lubricación de los componentes se lava o emulsiona con el agua creando desgaste innecesario. Una inversión en secadores de aire comprimido para su aplicación y sus líneas de aire secas le dará tranquilidad en los años venideros.

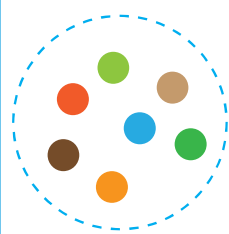
¿CÓMO ENTRA LA HUMEDAD AL SISTEMA?

El vapor de agua está presente en el aire que respiramos y que es el mismo que comprimimos en planta.

Un compresor común de 100 HP absorbe aproximadamente 400 lts de vapor de agua cada 24 horas entregando el aire a 38° C y 7.7 bar un post enfriador puede eliminar unos 260 litros de agua. Esto deja unos 140 litros dentro de nuestro sistema.

Un equipo secador refrigerativo con punto de vacío de 3.5°C elimina adicionalmente 130 litros, los restantes 10 litros de vapor de agua circulan libremente por nuestro sistema.

Este vapor se condensará menos que la cañería se enfríe debajo de los 3.5°C que es la temperatura de saturación a la salida del secador.



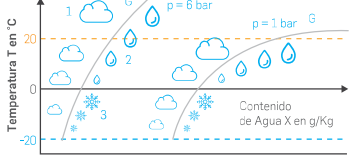
La norma ISO 8573.1 establece seis clases de calidad de aire a las distintas necesidades industriales

Atmosférico

Comp. a 7 (gr)

Así entra la suciedad a su sistema (del aire en la atmósfera al aire comprimido)

Componente		Concentración aproximada (en volumen)
Nitrogeno	N ₂	78.03 %
Oxigeno	O ₂	20.99 %
Dióxido de Carbono	CO ₂	0.03 %
Argón	Ar	0.94 %
Neón	Ne	0.00123 %
Helio	He	0.0004 %
Criptón	Kr	0.00005 %
Xenón	Xe	0.000006 %
Hidrógeno	H ₂	0.01 %
Metano	CH ₄	0.0002 %
Oxido nítrico	N ₂ O	0.00005 %
Vapor de Agua	H ₂ O	Variable
Ozono	O ₃	Variable
Partículas		Variable



Y así entra la humedad en su sistema (del aire en la atmósfera al aire comprimido)

SISTEMA CON COMPRESOR A TORNILLO LUBRICADO CON ACEITE DE GRADO ALIMENTICIO.

MEDIO COSTO DE ADQUISICIÓN, COSTO DE MANTENIMIENTO MEDIO, RIESGO DE CONTAMINACIÓN MEDIO.

Este sistema presenta un costo de compra mayor que el primer caso y el costo de mantenimiento es aún mayor que el caso anterior debido a los costos del aceite de grado alimenticio.

El contenido de aceite es mitigado de la misma manera que se describió anteriormente. Sin embargo, si por alguna causa el aceite llegara al producto, el riesgo de contaminación es mucho menor (dependiendo del producto obviamente). La parte negativa respecto del caso anterior es que el aceite tiene menor vida útil que el aceite sintético y requiere cambios más seguidos lo cual eleva los costos de mantenimiento.

SISTEMA CON COMPRESOR LIBRE DE ACEITE.

ALTO COSTO DE ADQUISICIÓN, COSTO DE MANTENIMIENTO MEDIO, RIESGO DE CONTAMINACIÓN BAJO.

Este sistema tiene el costo de compra más alto de los tres mencionados en la nota, pero el riesgo de contaminación es el menor de todos. Este compresor no tiene aceite en la cámara de compresión por lo que el riesgo de contaminación es eliminado. La desventaja es el costo de adquisición, aunque el costo de mantenimiento es menor debido a la eliminación del aceite, en el mediano/largo plazo una reparación y cambio de tornillos de media vida de un compresor sin aceite sera bastante mas costoso que la misma reparación en un equipo con inyección de aceite.

Un dato de la experiencia. Al no tener aceite el aire, la agresión a las cañerías por el agua condensada y las formaciones de óxido en las líneas es mayor que en los primeros dos casos.



Contador de partículas cortesía de CS Instruments

COMO CONCLUSIÓN PODEMOS DECIR QUE EXISTE UN MARGEN DE ERROR MUY PEQUEÑO PARA EL ERROR ESPECIALMENTE EN LAS COMPAÑÍAS DE PRODUCTOS ALIMENTICIOS Y MEDICINALES YA QUE HAY VIDAS HUMANAS EN JUEGO. LAS COMPAÑÍAS DEBERÍAN TENER PRÁCTICAS DE MANUFACTURA INTELIGENTES DE FORMA TAL QUE LA CONTAMINACIÓN CRUZADA CON AIRE COMPRIMIDO NO NO SEA UN TEMA DEL CUAL PREOCUPARSE.



CAPITULO 04

ELEMENTOS DE USO DEL AIRE COMPRIMIDO

TRATAMIENTO SECUNDARIO DEL AIRE COMPRIMIDO

Cuando el aire comprimido llega a la máquina, debe tratarse a los efectos de evitar que la contaminación de las líneas afecte a los componentes de la máquina. En el caso que tengamos un dispositivo que requiere de aire comprimido de mayor calidad que el generado en la sala de máquinas, lo trataremos adecuadamente colocando filtros finos o secadores de un punto de rocío mucho más bajo.

En la mayoría de los casos suele ser suficiente con una Unidad de Mantenimiento o FRL (Filtro-Regulador y Lubricador) que puede ser de dos o tres cuerpos, en algunos casos al filtro de partículas puede adosársele un filtro coalescente para un filtrado de mayor calidad.

La principal función de este equipo es la de acondicionar el aire para ser usado en los componentes de trabajo de las máquinas. Si bien al aire le hemos hecho un tratamiento primario de secado y filtrado, según el estado de las cañerías podemos arrastrar partículas, aceite o agua que sería muy perjudicial si llega a los componentes acortando significativamente la vida útil del mismo, para esto colocaremos estos equipos.

Incluso, si es necesario un tratamiento mucho más exigente que el aire general de la planta por alguna aplicación puntual en cuanto a la calidad del aire comprimido, éste es el punto donde realizaremos este tipo de tratamiento. De esta forma trataremos el aire comprimido a demanda del mayor requerimiento de calidad en lugar de tratar el 100% del aire a la máxima pureza requerida por la planta. Si se tratara el 100% del aire comprimido a la máxima pureza demandada por la planta la inversión en equipos, mantenimiento y el costo de operación de la planta sería mucho mayor.

Unidades FRL en 3 y 2 cuerpos.
Cortesía de Pneumatic Service



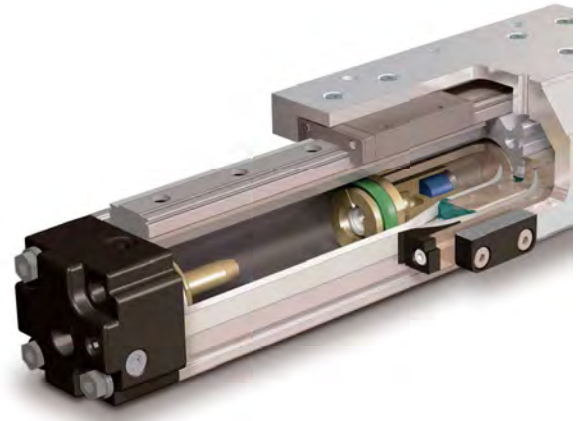
CILINDROS SIN VÁSTAGO

Existen muchas aplicaciones en las cuales las carreras a utilizar en un cilindro son muy extensas o donde no existe lugar en la máquina para alojar el cuerpo de un cilindro de tal magnitud y además de su propio vástago. Por ejemplo, tomemos una aplicación donde la carrera del cilindro es de 1500 mm. Tenemos que considerar un espacio alrededor de ese cilindro de más de 1500 mm por lo que al tener el vástago extendido el cilindro estará ocupando un espacio de más de 3 metros. La solución a estas aplicaciones es el llamado cilindro sin vástago.

Existen tres versiones de cilindros sin vástagos:

- ▶ Cilindro sin vástago magnético, donde el cursor exterior es arrastrado por una serie de anillos magnéticos colocados en un émbolo interior.
- ▶ Cilindro sin vástago con cable, es como un cilindro de doble vástago como viéramos antes pero el vástago en sí es un cable con un recubrimiento especial que permite un suave deslizamiento por las guarniciones que sellan la estanqueidad.
- ▶ Cilindros sin vástago con vínculo mecánico. Este tipo de actuadores son un gran desarrollo de la ingeniería y su funcionamiento es el que mayor inquietud despiertan en los usuarios. La estanqueidad se realiza por un sello longitudinal y un fleje que protege del ingreso de polvo y partículas. Según el sistema de sellado usado por el fabricante será la velocidad máxima admisible por el actuador. La selección del actuador es muy importante para evitar roturas y desgaste prematuro. Debe prestarse mucha atención a las cargas y momentos tanto estáticos como dinámicos a aplicar sobre el cursor. Para incrementar la durabilidad y capacidad de carga existen equipos con guías lineales adosadas al cuerpo del equipo. Bien seleccionado, el equipo es una gran solución, pero si la selección o el montaje no fue bien realizada puede convertirse en su peor dolor de cabeza.

Este tipo de actuador es en general muy delicado y sensible en ambientes con mucho polvo ya que la apertura y cierre de la cámara lo deja expuesto constantemente a la entrada de suciedad.



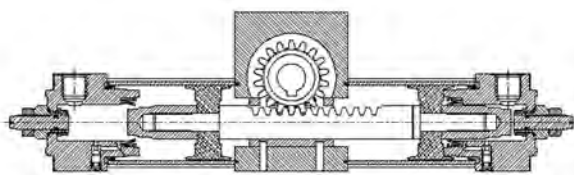
Esquema de un actuador giratorio con piñón y cremallera.
Cortesía de Tol-O-Matic Inc. (USA).

CILINDRO DE GIRO O ACTUADOR GIRATORIO

En esta ejecución de actuador, el vástago tiene tallada o adosada una cremallera que acciona un piñón, transformando así el movimiento lineal en un movimiento giratorio hacia la izquierda o hacia la derecha, según el sentido del émbolo. Los ángulos de giro corrientes pueden ser de 45°, 90°, 180°, 290° hasta 720°. Es posible determinar el margen de giro dentro del margen total por medio de un tornillo de ajuste. En estos actuadores no se especifican por la fuerza entregada por el vástago, sino por el torque en el eje de salida.

El par de giro es función de la presión, de la superficie del émbolo y de la desmultiplicación.

Existen también algunos actuadores para giros rápidos, pero esfuerzos muy limitados en los que una paleta solidaria a un eje es la que genera el movimiento angular.



Esquema de un actuador giratorio
con piñón y cremallera.



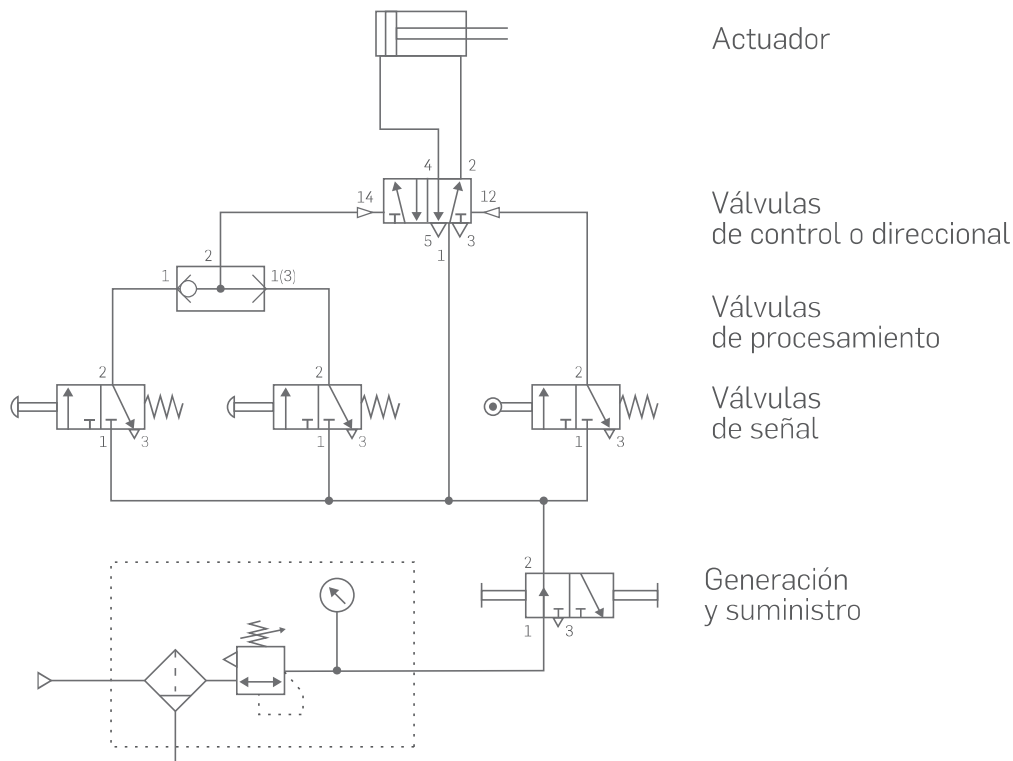
Corte de un actuador a paletas.
Gentileza de Festo.

CIRCUITOS NEUMÁTICOS BÁSICOS

Los circuitos neumáticos son instalaciones que se emplean para generar, transmitir y transformar la energía del aire comprimido en energía mecánica y movimientos.

Un circuito neumático está formado por los siguientes elementos:

- ▶ La generación y suministro de aire comprimido, es el dispositivo que comprime el aire de la atmósfera hasta que alcanza la presión necesaria para que funcione la instalación.
- ▶ La red de distribución que a su vez está compuesta por las cañerías y conductos, a través de los que circula el aire comprimido.
- ▶ Los elementos de control como las válvulas. En esta categoría encontramos a las válvulas de entrada de señal (por ejemplo, un pulsador), a las válvulas de procesamiento de señal (como las válvulas lógicas) y por último las válvulas de control o válvulas direccionales que son las que comandan a los actuadores.
- ▶ Los actuadores, como los cilindros y los motores: que son los encargados de convertir la energía del aire comprimido en energía mecánica para accionar distintos elementos.



- ▶ Las conexiones y tubos que si bien no tienen una simbología específica pero en la práctica son de vital importancia para evitar fugas de nuestro fluido vital.

Se los representa en forma gráfica y ordenada a los actuadores, elementos de mando, tratamiento de aire, etc. en una forma tal que sea fácil la lectura de los diferentes elementos y su forma simplificada de funcionamiento sin tener en cuenta el espacio geográfico en la máquina o dispositivo de los elementos.

En la actualidad existe una gran gama de controladores lógicos programables (PLC) con amplias prestaciones, y bajo costo disponibles para automatizar procesos por lo que ya no suelen utilizarse los viejos sistemas de lógica neumática y relés que se usaban para controlar las máquinas hasta principios de los años 90.

Actualmente los sistemas son mucho más sencillos gracias a estos PLCs por lo que tendremos sistemas de mando directo para pequeñas aplicaciones y mandos indirectos para los casos que la distancia del mando a la válvula direccional sea extensa.

A continuación, veremos dos sencillos ejemplos de mando descriptos anteriormente.

El aire comprimido en la industria alimentaria y en especial la farmacéutica se puede clasificar de la siguiente manera:

Contacto: Aire que entra en contacto directo con los ingredientes y / o productos terminados, materiales de embalaje, recipientes de almacenamiento o la maquinaria de fabricación / embalaje.

Sin contacto: Aire que nunca entrará en contacto con ingredientes, productos terminados, materiales de embalaje, recipientes de almacenamiento o la maquinaria de fabricación / embalaje.

Alto riesgo sin contacto: el aire que no debe entrar en contacto con ingredientes, productos terminados, materiales de embalaje, recipientes de almacenamiento o la maquinaria de fabricación / embalaje, pero puede hacerlo (por ejemplo: aire comprimido que sale a la atmósfera a través del escape de un cilindro neumático. El cilindro en la máquina de envasado podría entrar en contacto con el producto.

Dependiendo de esas categorías, se deben cumplir diferentes tipos de niveles de contaminación para la certificación ISO 8573-1.

Cantidad de partículas: los requisitos de pureza de las partículas son idénticos para Contacto, Sin contacto y Sin contacto: Alto riesgo. Se requerirá la misma cantidad de filtración de partículas para cada clasificación.

Agua residual: los requisitos de pureza para el vapor de agua son idénticos tanto para Contacto como Sin Contacto - Alto Riesgo. Esto requiere la instalación de secadores desecantes que entreguen un punto de rocío a presión (PDP) de -40°Ctd o inferior. Este requisito es esencial para combatir el crecimiento de microorganismos, ya que el aire comprimido con un punto de rocío de -26°Ctd o mejor inhibirá el crecimiento microbiológico. Los requisitos de pureza $+3^{\circ}\text{Ctd}$ para Sin contacto no inhibirán el crecimiento microbiológico.

Hidrocarburos: Normalmente si dice aceite por su traducción del inglés, pero el término más apropiado es hidrocarburos más que aceite. Los requisitos de pureza para el hidrocarburo total (líquido, aerosol y neblina) son efectivamente idénticos para Contacto, Sin contacto y Sin contacto alto riesgo con el mismo nivel de filtración requerido para cada clasificación.

Presión manométrica (barg)								
"ISO 8573-1 (Pa:Ag:Ac) Clase"	Partículas				AGUA			ACEITE
	"Por tamaño de partículas Cantidad máxima por m ³ "			Por masa	"Punto de rocío Vapor a presión"		Líquido	"Contenido total (Líquido, Aerosol o Vapor)"
	0.1 a 0.5 μm	0.5 a 1 μm	1 a 5 μm	mg/m ³	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{F}$	g/m ³	mg/m ³
0	Acorde a las especificaciones del usuario, clase 0 es más exigente que clase 1							
1	≤ 20.000	≤ 400	≤ 10		≤ -70	≤ -94		< 0.01
2	≤ 400.000	≤ 6.000	≤ 100		≤ -40	≤ -40		< 0.1
3		≤ 90.000	≤ 1.000		≤ -20	≤ -4		< 1
4			≤ 10.000		$\leq +3$	$\leq +45$		< 5
5			≤ 100.000		$\leq +7$	$\leq +7$		
6				0 a 5	$\leq +10$	$\leq +50$		
7				5 a 10			≤ 0.5	
8							0.5 a 5	
9							5 a 10	
X				> 10			> 10	> 5

Contaminantes microbiológicos y gaseosos como CO, CO₂, SO₂, NO_x e Hidrocarburos no están especificados.

CAPITULO 05

EFICIENCIA ENERGÉTICA EN SISTEMAS DE AIRE COMPRIMIDO

ECONOMÍA DE UN SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO

El aire es gratis, pero comprimido y tratado es muy costoso, a quienes no prestan atención a ese detalle está dedicado este capítulo.

Se define como eficiencia energética al uso eficiente de la energía. Esta busca proteger al medio ambiente mediante la reducción de la intensidad energética utilizada habituando al usuario a consumir lo necesario y no más.

El uso eficiente de la energía es optimizar procesos para mejorar la producción con el mismo consumo o menor consumo de energía.

Expresado matemáticamente podemos decir:

eficiencia = resultado / costo.

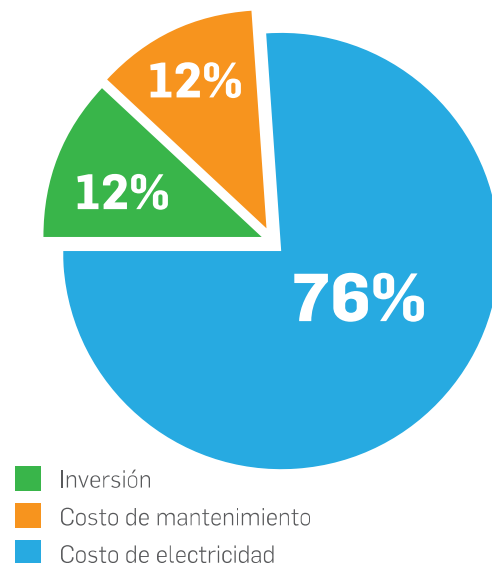
De esta manera podemos decir que aumentar la eficiencia se trata de usar menos aire comprimido en el mismo proceso o bien usarlo mejor consumiendo menos energía eléctrica y optimizando sus usos.

Ha sido estudiado y documentado ampliamente por distintos fabricantes de equipos y por el Compressed Air Challenge de USA que a lo largo de la vida útil de un compresor, el 76% del costo de operación del sistema representa la energía consumida para mover el equipo, 12% es la inversión inicial en equipo y 12% el mantenimiento a lo largo de la vida útil.

Si bien estos porcentajes pueden variar levemente según el equipo y el fabricante, usted puede notar que la gran porción de la torta es el costo de la energía para su funcionamiento, en resumidas palabras con un sistema eficiente podrá:

- ▶ Reducir el consumo de energía.
- ▶ Incrementar la productividad.
- ▶ Mejorar la confiabilidad del sistema.
- ▶ Reducir las paradas no programadas.

Al mismo tiempo que se reducen los costos de operación y se tiene un sistema más amigable con el medio ambiente.

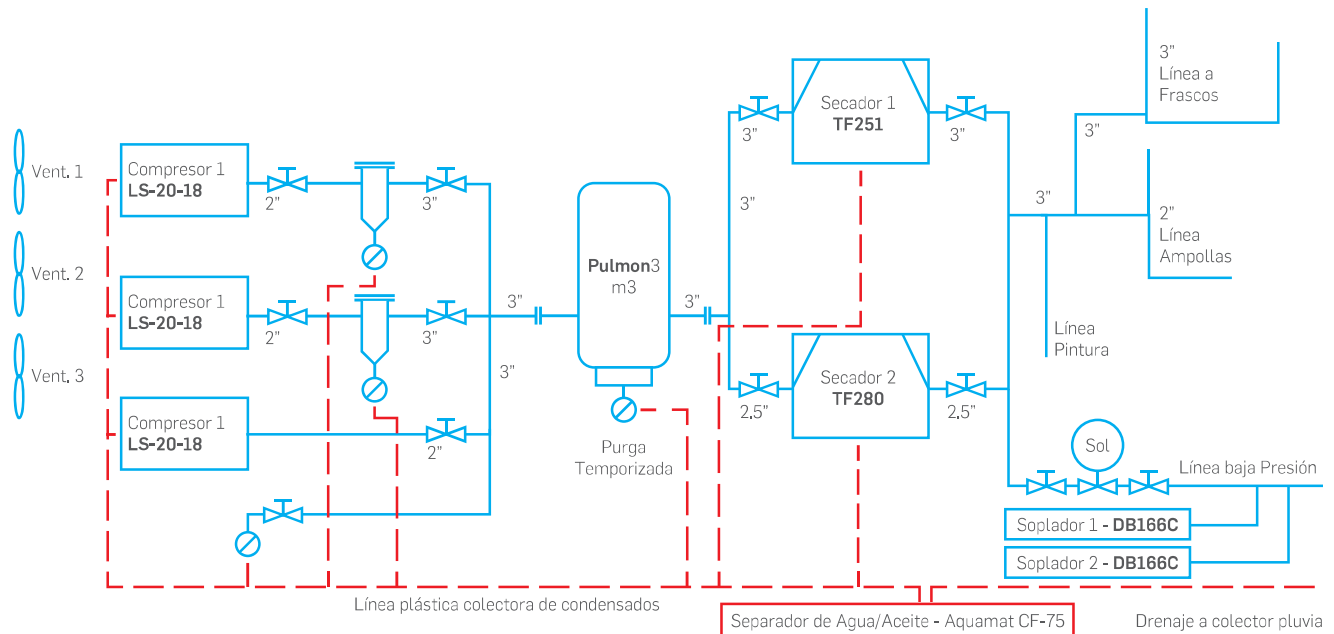


Como puede apreciarse en el esquema anterior se trata de una sencilla instalación con dos compresores a tornillo bañados en aceite con controles del equipo (sin control maestro), secadores y filtros sin tanque.

Este diagrama junto con los datos de los equipos nos empieza a brindar mucha información de nuestra instalación aún sin haber hecho ninguna medición, ya que nos permitirá ver si todos los compresores alimentan a un solo secador o cada secador es alimentado por un único compresor o si cada secador tiene la capacidad adecuada de tratar el aire necesario en la planta. Lo mismo ocurre para los filtros.

También veremos si la ubicación del tanque es adecuada, si cada equipo tiene su correspondiente cuadro válvulas de control y aislación para poder sacarlo de servicio sin afectar al resto de los equipos en operación de la planta general.

El siguiente caso es el de una empresa que tenía problemas de humedad en el sistema de aire comprimido. Luego de relevado el sistema se encuentra que la configuración del sistema es la siguiente:



Analizando los manuales de los equipos vemos que los compresores nominalmente entregan 21 m³/min, los secadores rinden 25 y 28 m³/min. A simple vista la instalación está adecuadamente diseñada, pero verificando en detalle los manuales y catálogos de los secadores podemos ver que no han tenido en cuenta en este caso los factores de utilización o de-rate de los equipos.

Estos factores de corrección son suministrados por los fabricantes para las distintas condiciones de uso. Aplicando dichos factores al caudal nominal encontramos que para las condiciones actuales de uso de este sistema el rendimiento de los equipos queda en 15.9 y 17.7 m³/min por lo cual se explica la existencia de humedad ya que estos valores están debajo de los 21 entregados por el compresor.

Estos dos casos nos demuestran la importancia de realizar este diagrama y análisis de la instalación desde el cual parten todos los estudios de capacidad de equipos, dimensionamiento de cañerías o incluso plantear el re-dimensionamiento de un sistema.

En cuarto lugar, debemos trazar un perfil de presión del sistema, aquí debemos armar además la línea de base registrando los consumos eléctricos y su evolución junto con caudales y caídas de presión de sistema factores importantes para ver la eficiencia y consumos de la instalación. Para esto, como dijimos anteriormente es necesaria la implementación de cierto instrumental de medición que permitan monitorear y almacenar los datos para hacer un posterior análisis y elaboración de sus propios indicadores.

“Lo que no se mide, no se puede mejorar” esta frase es atribuida frecuentemente a Peter Drucker y pone de manifiesto la importancia de la medición. En realidad, la frase corresponde a William Thomson Kelvin conocido como Lord Kelvin, físico y matemático británico (1824 – 1907) quien expuso: “Lo que no se define no se puede medir. Lo que no se mide, no se puede mejorar. Lo que no se mejora, se degrada siempre.”

Hay algunas plantas que cuentan con equipos modernos que tienen cierta instrumentación, si es su caso, aprovéchelo. Veamos el siguiente ejemplo de un usuario con un moderno compresor con tecnología de velocidad variable (VSD). Aprovechando un día de parada de planta, se puso en marcha el equipo para conocer el nivel de fugas de la planta.

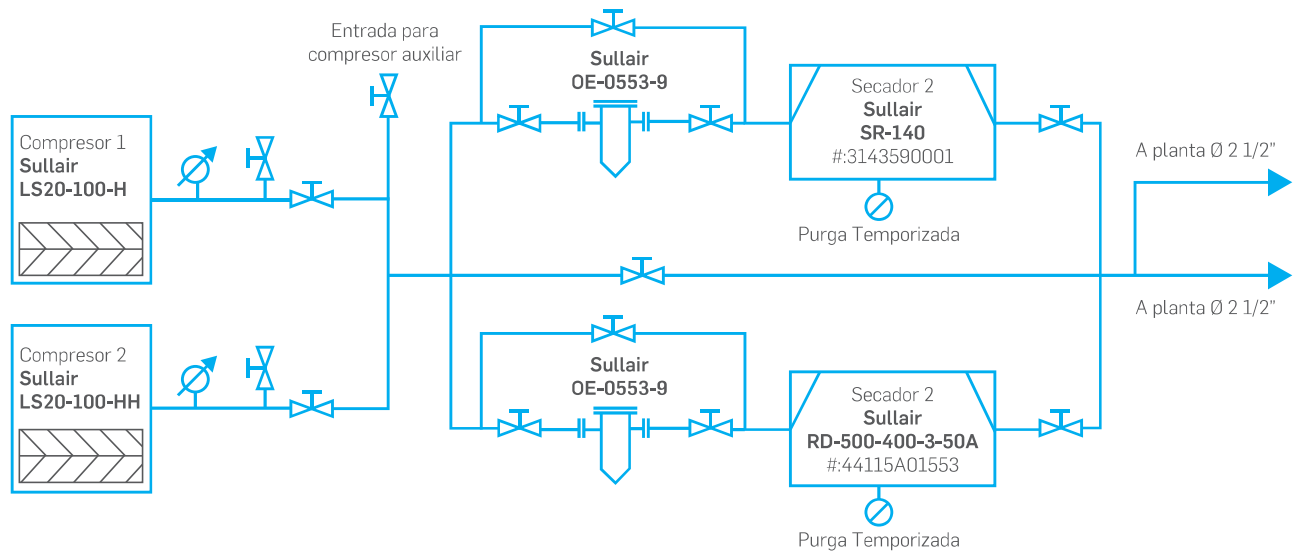
Revise los puntos que demandan alta presión, evalúe los requerimientos reales y alternativas posibles para reducir el consumo en alta presión. Revise los usos inapropiados y las fugas.

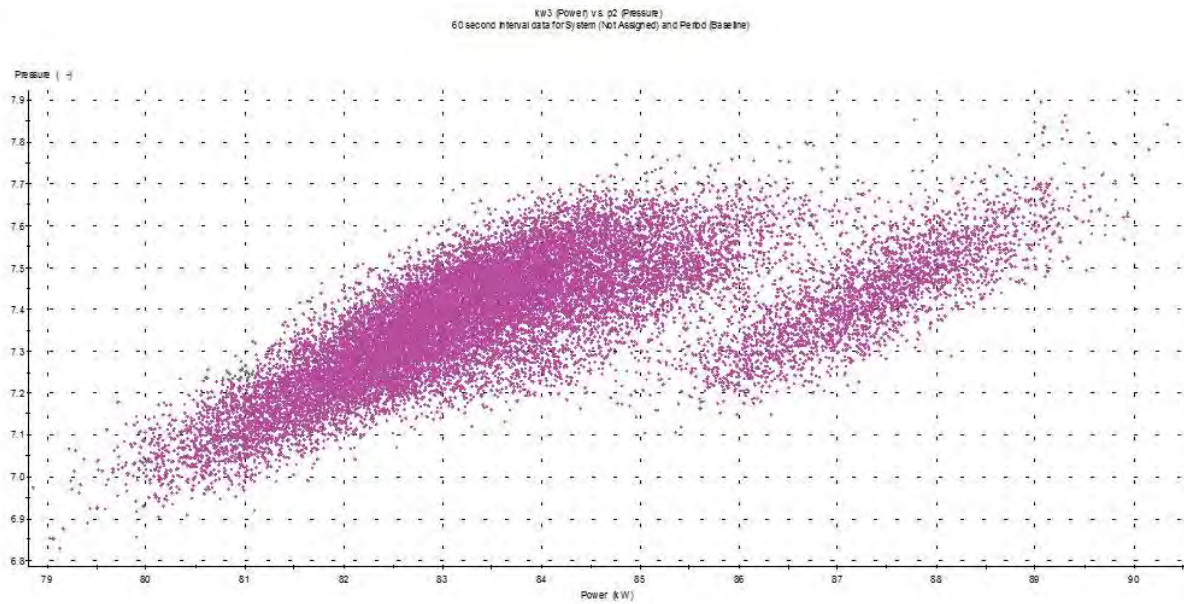
Datos como estos podrán ayudarle a tomar control de su sistema de aire comprimido y entender si el tratamiento de aire está bien dimensionado o no, cuál es su estado de funcionamiento y falencias, cual es la dinámica de su sistema, la eficiencia de los sistemas de control tener alarmas de fugas del sistema o saber en qué momentos le falta aire comprimido a la planta y como solucionarlo. No siempre es necesario comprar equipos nuevos.

¿DÓNDE REALIZAR LAS MEDICIONES?

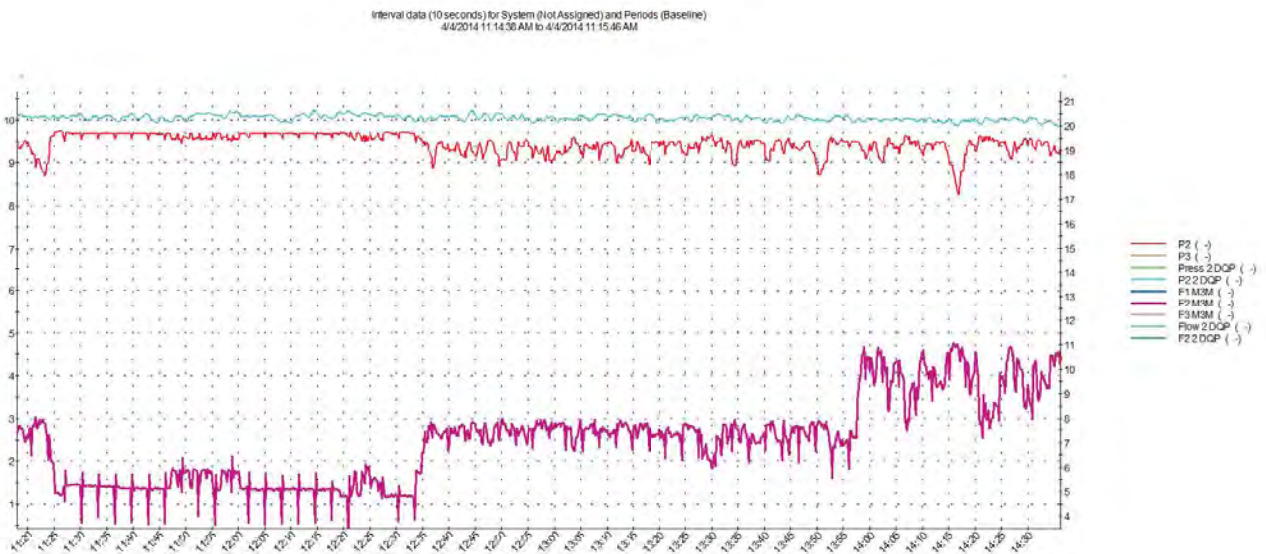
Si bien cada planta tendrá una configuración completamente distinta a otra, hay puntos comunes para realizar las mediciones básicas. Las mediciones más avanzadas deben ser planteadas en función de la necesidad de encontrar o medir determinados síntomas de anomalías.

Tomemos como ejemplo la siguiente instalación:





La correlación entre potencia y presión denota un problema.



La correlación entre presión y caudal en la línea principal denota un problema que no siempre se corrige agregando mas equipos.

Por último, recuerde que implementar distintas mejoras como las que se han mencionado a lo largo de esta guía le permitirá contar con un sistema confiable y eficiente al tiempo que reduce los costos operativos de la planta generando además una reducción del impacto al medio ambiente ya que reducirá las emisiones de CO2 a la atmósfera.

No existen recetas únicas del tipo cambie X, suba Y y arregle Z, todas las plantas tienen sus procesos y complejidades por cuanto entenderlas es sumamente importante.

HAY MUCHO MÁS, ES SOLO EL COMIENZO Y RECUERDE QUE ESTO SOLO UNA GUÍA DE SUPERVIVENCIA...