

**EFICIENCIA ENERGÉTICA EN SISTEMAS DE AIRE
COMPRIMIDO**

Memorias de presentación en PTP

FLUID & PIPE INGENIERIA

Ing. Francisco Narváez A.

Bogotá D.C.

Septiembre de 2018.

EFICIENCIA ENERGÉTICA EN SISTEMAS DE AIRE COMPRIMIDO

CONTENIDO

1-¿Qué es eficiencia energética?

2-¿Para qué sirve la eficiencia energética?

3-¿Qué es el aire comprimido?

4-¿Cómo se emplea el Aire Comprimido en la industria?

5-¿Cuáles son las deficiencias de los sistemas de AC que afectan la eficiencia energética?

6-¿Cómo prevenir y evitar las deficiencias de los sistemas de AC?

7-¿Cómo mejorar los sistemas industriales de AC?

8-¿Cómo capitalizar las oportunidades de mejora?

9-Conclusiones y Recomendaciones

10-Bibliografía y Referencias

FIN

1. ¿Qué es eficiencia energética?

La eficiencia en general es la capacidad de emplear bien los recursos y el grado de su correcta utilización. La eficiencia energética es una forma de optimizar el manejo y uso de los recursos energéticos.

La eficiencia energética para la industria, se puede definir como la razón entre la cantidad de un producido y la cantidad de energía gastada en su producción.

$$\text{Ef. En.} = \text{Energía consumida} / \# \text{ unidades producidas}$$

La energía más barata es la que no se consume. Las mejoras en eficiencia energética se traducen directamente en dinero ahorrado al reducir el consumo de energía sin reducir la producción. Según la comisión de energía de USA, dentro del costo de fabricación de un producto hasta el 35% corresponde a energía y de ese valor hasta el 6,3% corresponde al aire comprimido.

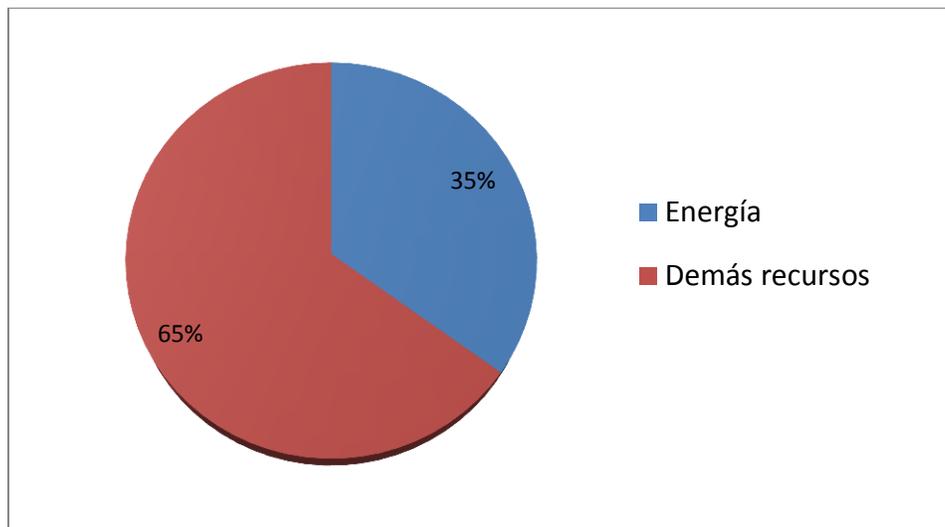


Fig.1 Energía empleada para fabricar un producto.

2. ¿Para qué sirve la eficiencia energética?

Se puede considerar como una forma inteligente de incrementar la competitividad y la productividad y así mejorar la rentabilidad de un negocio.

F & P

FLUID AND PIPE INGENIERIA LTDA. NIT 830042152-2 Calle 23 G # 82 - 82 Telefax. 263 83 73, Cel.313 8070398. BOGOTÁ D.C.
WWW.fluidandpipe.com / fluidandpipe@gmail.com

La eficiencia energética es una poderosa herramienta para reducir de la huella de carbono, al aplicarse en la industria, se reduce la producción de gases de efecto invernadero ayudando a detener el cambio climático. Además mejora las “Credenciales Ecológicas” de la empresa y le permite entrar en mercados donde estas son un factor determinante.

Muchos gobiernos ofrecen una serie de incentivos para ayudar en la realización de proyectos de eficiencia energética. El acceder a estos beneficios mejora sustancialmente la rentabilidad de los proyectos.

En Colombia están vigentes la exención del IVA y la reducción de la renta líquida y “se dan para las compras e importaciones de equipos, elementos y maquinaria destinados a proyectos, programas o actividades de reducción en el consumo de energía y/o eficiencia energética.” La Resolución 585 del 2 de octubre de 2017, establece procedimiento para acceder al beneficio tributario.

Consultar páginas WEB: MINMINAS: Ministerio de minas y energía --- UPME: Unidad de planeación minero energética --- PROURE: Programa de uso racional de la energía.

3. ¿Qué es el aire comprimido?

3.1 Definición. El aire comprimido es una valiosa fuente de potencia, es ampliamente empleado en toda clase de procesos tanto productivos como de apoyo a la producción. Se obtiene tomando aire de la atmosfera y al reducir su volumen se le imprime energía potencial como presión.

Después de la energía eléctrica y el agua, el aire comprimido es el servicio industrial más ampliamente utilizado, su uso es transversal a todo tipo de industria.

Un sistema de AC es un conjunto de equipos, instrumentos y elementos dedicados a Suministrar, Distribuir y Consumir el fluido.

F & P

FLUID AND PIPE INGENIERIA LTDA. NIT 830042152-2 Calle 23 G # 82 - 82 Telefax. 263 83 73, Cel.313 8070398. BOGOTÁ D.C.
WWW.fluidandpipe.com / fluidandpipe@gmail.com

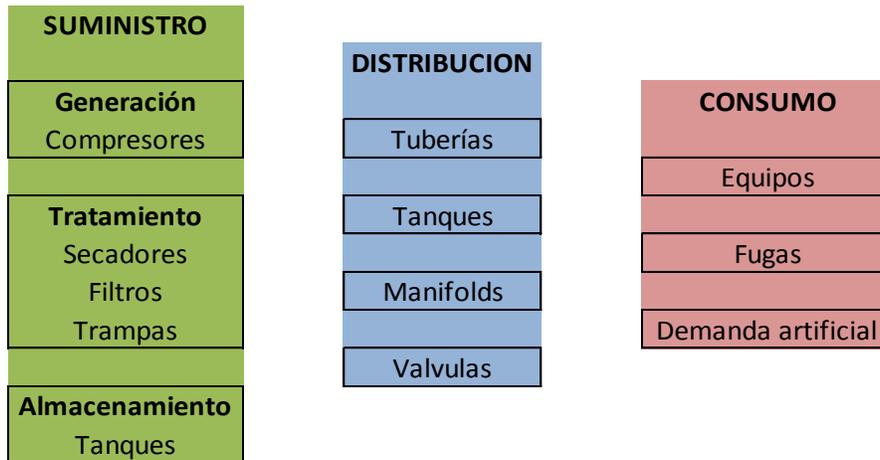


Fig.2 Partes constitutivas de un sistema industrial de aire comprimido.

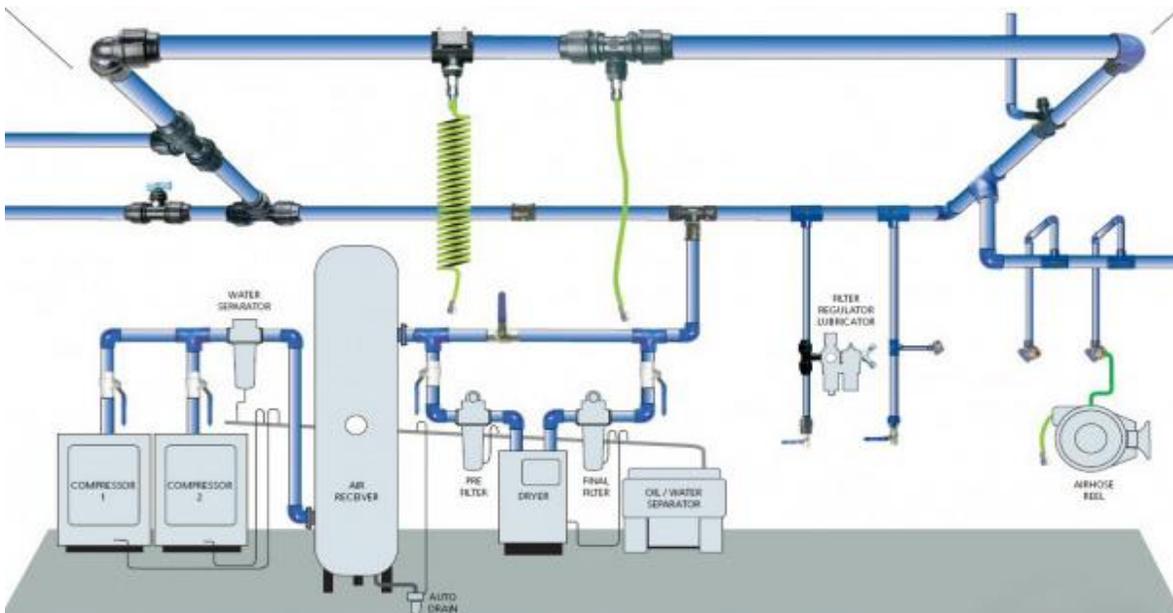


Fig.3 Equipos de un sistema industrial de aire comprimido.

3.2 Variables. En AC se manejan tres variables principales:

3.2.1 Flujo es la cantidad de AC que genera un compresor o que consume un equipo. El volumen de fluido que atraviesa una superficie por unidad de tiempo.

F & P

FLUID AND PIPE INGENIERIA LTDA. NIT 830042152-2 Calle 23 G # 82 - 82 Telefax. 263 83 73, Cel.313 8070398. BOGOTÁ D.C.
 WWW.fluidandpipe.com / fluidandpipe@gmail.com

3.2.1 Presión: Es el nivel de energía potencial suministrada por el compresor y que almacena el AC. La fuerza que ejerce el fluido sobre la unidad de área.

3.3.3 Calidad: Pureza del AC. Determina el nivel de contenido de tres contaminantes Agua, Aceite y partículas sólidas. La norma ISO 8573-1 fija las clases de calidad según los niveles de estos contaminantes, como se muestra a continuación.

CLASE	Impurezas sólidas (número máximo de partículas por m3) Para un tamaño máximo de partícula indicado en µm			Humedad Punto de rocío a presión °C	Máximo contenido aceite mg/m3
	0,1<d<=0,5	0,5<d<=1,0	1,0<d<=5,0		
0	Acordado entre suministrador y usuario, pero inferior a clase 1				
1	≤ 20000	≤400	≤10	≤ -70	≤ 0,01mg/m3
2	≤400000	≤60000	≤100	≤ -40	≤ 0,1mg/m3
3	-	≤90000	≤1000	≤ -20	≤ 1mg/m3
4	-	-	≤10000	≤ +3	≤ 5mg/m3
5	-	-	≤100000	≤ +7	-

3.3 Unidades. Recordemos las unidades de medida comúnmente empleadas al tratar los temas de AC:

	Flujo Volumétrico	Presión	Potencia	Temperatura
Sist. Anglo	CFM Pie cubico / minuto	PSI Libra / pulgada cuadrada	HP Caballo	F Grados Fahrenheit
Internacional	Lt / Min. Metro cubico / Hora	Bar Bar	KW Kilovatio	C Grados Centigrados
Equivalencias	1 CFM = 1,69 M3/Hr. 1 CFM = 28,3 Lt/Min	1 Bar = 14,5 PSI 1 PSI = 6,9 Kpa	1 HP = 0,74 KW	F = 1,8 C + 32 C = 0,55 (F - 32)

Fig.4 Unidades de medida más empleadas en aire comprimido y sus equivalencias.

El consumo eléctrico de los compresores es alrededor de 0,2 KW por cada 1 CFM generado a 100 PSI, los secadores refrigerativos consumen 0,01 KW, por cada CFM

F & P

FLUID AND PIPE INGENIERIA LTDA. NIT 830042152-2 Calle 23 G # 82 - 82 Telefax. 263 83 73, Cel.313 8070398. BOGOTÁ D.C.
WWW.fluidandpipe.com / fluidandpipe@gmail.com

tratado. Es decir la generación consume más del 95% de la energía eléctrica empleada en el sistema.

La eficiencia energética en los sistemas de aire comprimido se puede calcular de varias formas, que se aplican según el componente y se conocen como indicadores claves de desempeño o KPI (Key Performance Indicator) que se muestran a continuación:

Suministro.

$K_s = \text{Energía consumida} / \text{Cantidad de aire generado. (Ks = KW / CFM) (20KW/100CFM)}$

Distribución.

$K_d = \text{Presión perdida} / \text{Presión disponible. (Kd\% = PSI / PSI) (2\%)}$

Consumo.

$K_c = \text{Aire consumido} / \text{Cantidad de producto fabricado. (Kc = CFM / \# \text{Prod.}) (C/\text{Usuario})}$

Estos KPI son los más frecuentes en los sistemas de AC. Sirven para saber el estado actual sistema, para comparar el desempeño con estándares y con la competencia. Son útiles para fijar metas en los objetivos de ahorro energético.

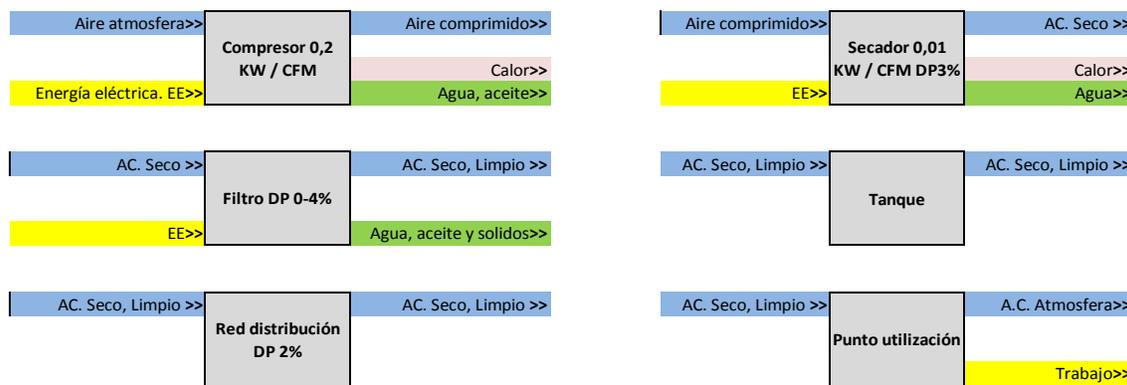


Fig.5 Entradas, salidas y eficiencia energética de los componentes de un sistema de aire comprimido.

4. ¿Cómo se emplea el Aire Comprimido en la industria?

El AC es uno de los servicios industriales que más consume energía eléctrica, los compresores de aire son muy ineficientes desde el punto de vista energético, casi el 80% de la energía la transforman en calor y solo el 20% se transforma en presión, es común que solo el 10% de la energía consumida llegue al usuario final. En la industria el AC utiliza en promedio el 18% de la energía eléctrica consumida.

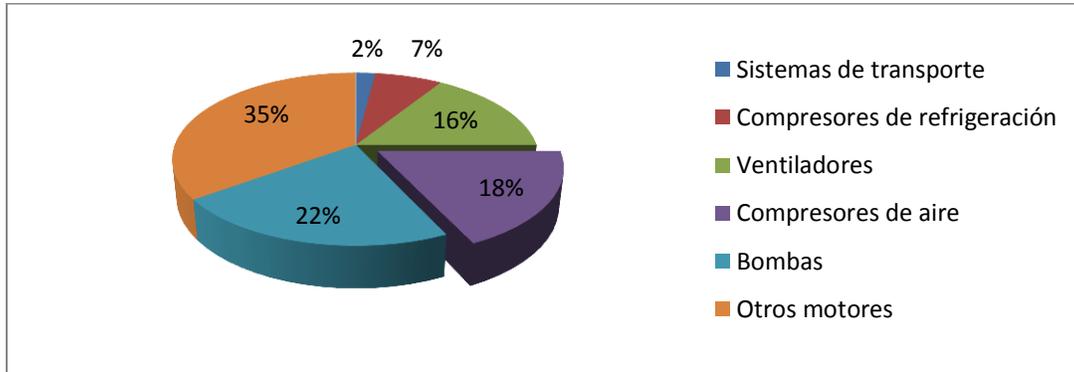


Fig.6 Cantidad de energía utilizada por los compresores de aire en relación al total de la energía eléctrica consumida por la industria en USA. (Fuente SAVE II 2014)

En Colombia, según estudio realizado por la UPME, el consumo de energía eléctrica empleado en generación de aire comprimido en la industria varía entre el 4% y el 29% según el sector. En la siguiente grafica se ilustra para algunos sectores.

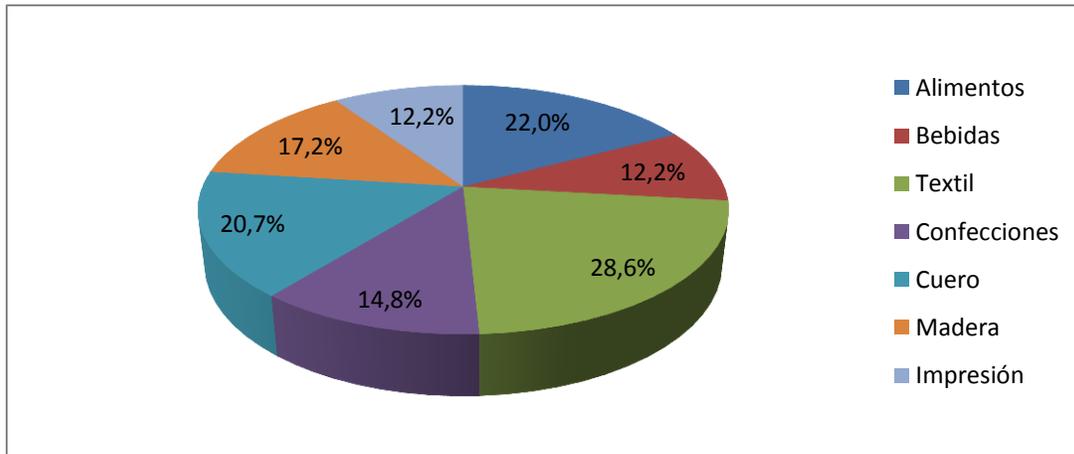


Fig.7 Fracción de energía eléctrica utilizada por los compresores de aire, por sector, en relación a la consumida por los servicios industriales. (Fuente: UPME Informe caracterización del consumo de energía en la industria. Colombia 2014)

El AC es probablemente la forma de energía más costosa disponible en una planta, pero también es una fuente limpia, fácilmente utilizable, rápidamente disponible y segura.

En la instalación y operación de los sistemas de AC, los costos energéticos son de lejos, los más elevados en que se debe incurrir a lo largo de la vida útil del sistema, a continuación se muestran los costos típicos en % y en pesos de un compresor de aire de 100 HP durante cinco años de operación, tres turnos 8760 Hr, \$450 / KW Hr. antes del Overhaul.

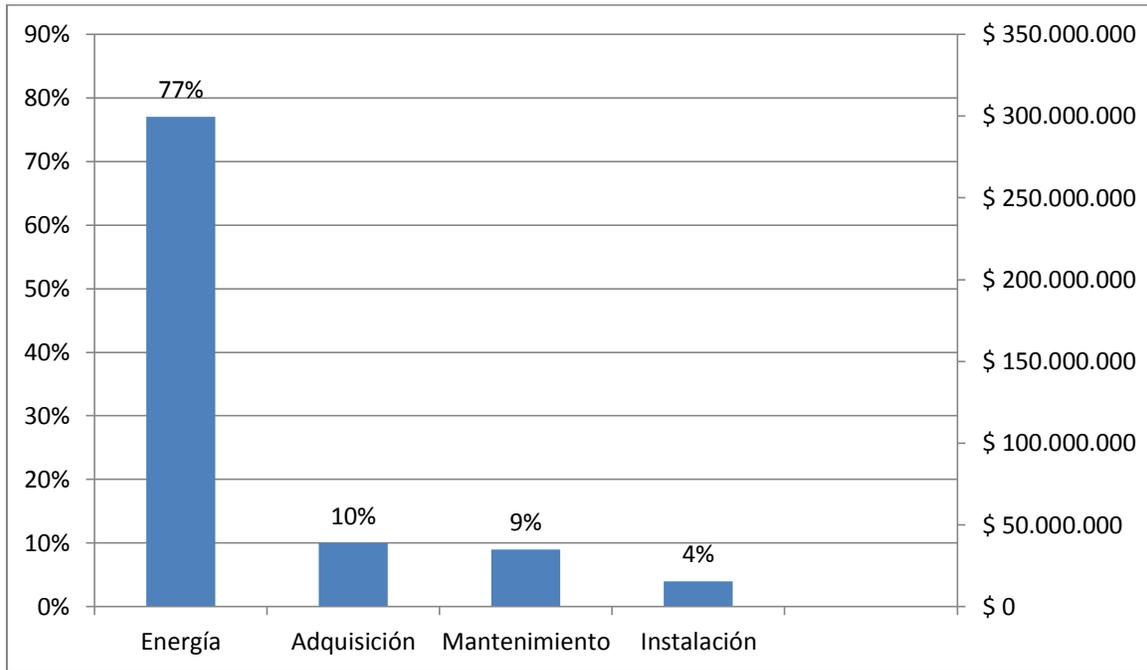


Fig.8 Costos de un compresor de aire de 100 HP de tornillo lubricado en 5 años de operación.

La inversión inicial por adquisición de equipos es solo el 10%, mientras el consumo energético es el 77% del valor total del proyecto. Por esto las compras deben orientarse a la eficiencia energética de los equipos más que al valor de los mismos.

5. ¿Cuáles son las deficiencias de los sistemas de AC que afectan la eficiencia energética?

El departamento de energía de USA estima que los sistemas de AC desperdician alrededor del 50% de la energía eléctrica que consumen, empleando solo el 50% en la producción; Lo que muestra las grandes oportunidades de ahorro en estos sistemas, además se encontró que las fugas son la mayor fuente de desperdicio de energía, seguidas por la demanda artificial y el uso inapropiado como veremos en la siguiente gráfica.

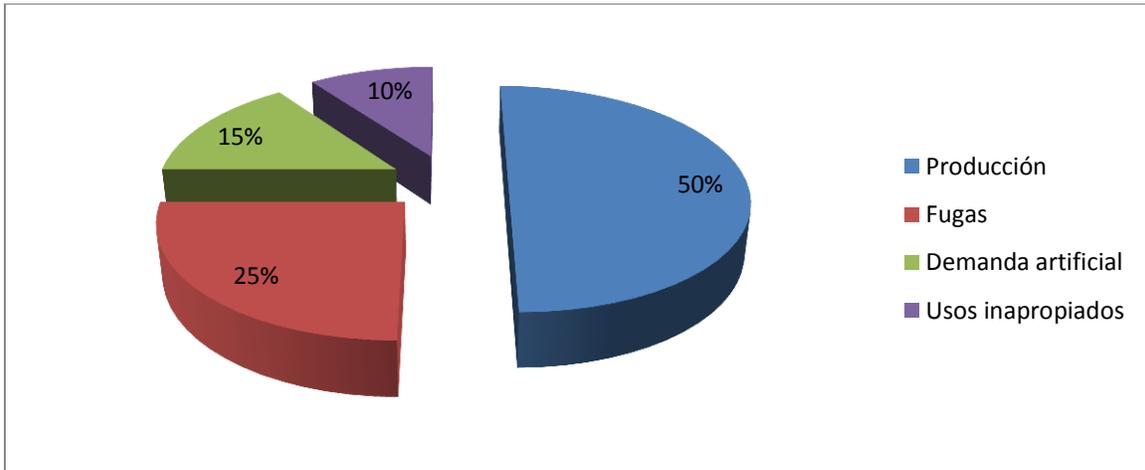


Fig.9 Como se utiliza la energía del AC generado en las plantas industriales (Fuente: Departamento de Energía USA 2016)

Además se pueden presentar deficiencias en el modo de control de los compresores que implican un desperdicio de la energía dedicada a producción. Los compresores alcanzan su máxima eficiencia con factores de carga del 90%, cuando trabajan en vacío consumen el 20% de la energía de carga plena. La energía requerida para mantener funcionando el motor durante los periodos de vacío se puede considerar como un desperdicio.

Para reducir los costos de energía consumida por los compresores de aire se debe en consecuencia eliminar los desperdicios así:

- Corregir fugas. Para evitar las pérdidas de flujo y presión.
- Reducir presión de operación. Para eliminar la demanda artificial.
- Evitar uso inapropiado. Reemplazado el AC por otra fuente de energía mas eficiente.
- Implementar una estrategia eficiente de control de los compresores. Que ajuste la cantidad de aire generada con la cantidad de aire consumida empleando la menor cantidad de energía.

5.1 Las fugas. Son escapes o pérdidas no deseadas de flujo de AC. Causan una reducción de la presión del sistema originando una operación deficiente de la planta; Obligan a los compresores a generar y a los secadores a secar mayor cantidad de aire y a trabajar a mayor presión, originando mayor consumo de energía eléctrica, de repuestos y de servicio técnico, acortando a la vez, la vida útil de los equipos.

F & P

FLUID AND PIPE INGENIERIA LTDA. NIT 830042152-2 Calle 23 G # 82 - 82 Telefax. 263 83 73, Cel.313 8070398. BOGOTÁ D.C.
WWW.fluidandpipe.com / fluidandpipe@gmail.com

Origen de las fugas. La instalación incorrecta de las tuberías como mala alineación, ajuste inadecuado de las juntas, ausencia de loops de dilatación y de juntas anti vibración, uso de un sellante inadecuado o mal aplicado y otras. El deterioro por uso normal como oxidación o vibración y el daño por uso anormal como golpes, cargas indebidas y la falta de mantenimiento.

La cantidad de aire que se pierde por las fugas es proporcional al tamaño del orificio y la presión de operación del sistema; El costo asociado es dramáticamente alto. En la siguiente tabla se muestran en función del diámetro del orificio y en función de la presión, como varían los flujos perdidos por las fugas y los costos del consumo de energía eléctrica asociados a la generación del aire comprimido que se pierde.

	Diámetro del orificio			
Pulgadas	1/64"	1/16"	1/8"	1/2"
Milímetros	0,40	1,59	3,18	12,70

Presión PSI	Descarga CFM			
80	0,3	5,3	21,3	341,6
100	0,4	6,5	26,0	413,3
120	0,5	7,6	30,4	485,9

Presión PSI	Consumo de energía eléctrica KW			
80	0,07	1,07	4,26	68,32
100	0,08	1,29	5,19	82,67
120	0,10	1,52	6,08	97,19

Presión PSI	Costo al año (8760 Hr. \$500 / KWHr)			
80	\$ 295.738	\$ 4.676.351	\$ 18.668.436	\$ 299.249.484
100	\$ 351.188	\$ 5.655.982	\$ 22.734.828	\$ 362.093.724
120	\$ 425.123	\$ 6.654.096	\$ 26.616.384	\$ 425.677.308

Fig.10 Costo de las fugas de AC en función del diámetro y de la presión.

Las fugas son imposibles de ver y muy difíciles de escuchar debido al ruido de fondo y a las altas frecuencias que emiten. Para detectarlas se emplean métodos que las hacen audibles o visibles. La forma tradicional es mediante la aplicación con una brocha de agua saponificada sobre c/u de las juntas o acoples, lo que puede resultar inefectivo si la fuga no se localiza en una junta. Otra forma es mediante un detector ultrasónico que reconoce los silbidos de ultra frecuencia emitidos por las fugas y los convierte en una señal audible, con indicación visual de su presencia y su localización. Este método es mucho más fácil y

F & P

FLUID AND PIPE INGENIERIA LTDA. NIT 830042152-2 Calle 23 G # 82 - 82 Telefax. 263 83 73, Cel.313 8070398. BOGOTÁ D.C.
WWW.fluidandpipe.com / fluidandpipe@gmail.com

confiable pues permite hacer un barrido total de las líneas de distribución. Una vez detectadas las fugas deben ser marcadas y en lo posible, corregidas.

Corregir una fuga puede ser tan simple como ajustar una junta o tan complicado como desarmar un tramo de tubería para ajustar o remplazar un elemento defectuoso.

Una forma de reducir las fugas, sin corregirlas, es disminuir la cantidad de aire que se pierde, esto se hace bajando la presión de operación del sistema, lo que está ilustrado en la figura anterior.

TIP. La generación de 1 CFM a 100 PSI, cuesta \$ 1.000.000 al año. Es decir una fuga de 1 CFM cuesta \$ 1.000.000 al año.

5.2 La demanda artificial se origina en la presión a que está ajustado el sistema por encima de los valores necesarios reales para que funcione correctamente. Esto impacta fuertemente el consumo de energía eléctrica porque obliga a los compresores a emplear más potencia para generar el mismo flujo de aire.

Las redes de tuberías mal diseñadas o mal instaladas son causantes de demanda artificial. Las deficiencias más comunes son: el pobre dimensionamiento, el trazado ineficiente, el uso innecesario de accesorios y la selección de los materiales con alto coeficiente de fricción. También hay deficiencias en operación y mantenimiento, como la reducción de área de las tuberías por oxidación, válvulas o elementos que restringen el flujo innecesariamente. Todos dan origen a caídas de presión que deben ser compensadas con la operación del sistema a una mayor presión. Un la siguiente tabla se ilustra con un ejemplo, cuanto puede costar utilizar una tubería sub dimensionada.

Datos calculados con 50 CFM al fluir por 50 M de tubería C.S. Sch.40			
Diámetro tubería	Presión de línea PSI		
	80	100	120
1/2"	22,5	18,6	15,9
1"	1,40	1,16	0,99
1 1/2"	0,14	0,12	0,10
1/2"	\$ 4.562.516	\$ 3.772.850	\$ 3.212.689
1"	\$ 284.389	\$ 235.168	\$ 200.252
1 1/2"	\$ 29.241	\$ 24.180	\$ 20.590
	Perdida de presión en PSI.		
	Costo anual de la perdida presión, 8760 Hr, \$500 KWHr.		

Fig.11 Costos de la demanda artificial originada en las pérdidas de presión.

Ante cualquier problema, la solución más común que adoptan los encargados del sistema de AC, es subir la presión de operación, lo que puede tener un efecto contraproducente, dado que al incrementar la presión se incrementa la cantidad de aire perdido por las fugas, se reduce la cantidad de aire generado por los compresores y se pueden originar nuevas fugas.

Para corregir la demanda artificial se debe determinar la presión mínima de operación del sistema, esto se hace determinando la presión óptima de c/u de los consumidores, siendo la más elevada de estas la mínima del sistema. Aquí se deben tomar decisiones en cuanto a sectorizar la red por presiones, instalar reguladores de presión individuales o trabajar con varias redes independientes a diferentes presiones, lo que resulte más viable tanto técnica como económicamente.



Fig.12 Rugosidad incrementada y reducción de diámetro interior de tubería CS en servicio con aire húmedo, origina demanda artificial.

TIP. La pérdida de presión de 2 PSI, implica un consumo de energía adicional del compresor del 1%.

5.3 El uso inapropiado. Se considera uso inapropiado cuando se pueden emplear otras fuentes de energía más eficientes y seguramente más baratas, en lugar de AC. Los siguientes ejemplos muestran varias oportunidades de ahorro en este sentido.

F & P

FLUID AND PIPE INGENIERIA LTDA. NIT 830042152-2 Calle 23 G # 82 - 82 Telefax. 263 83 73, Cel.313 8070398. BOGOTÁ D.C.
 WWW.fluidandpipe.com / fluidandpipe@gmail.com

Uso inapropiado	Alternativa mas eficiente
Agitación tanques para fluidificación	Sopladores media presión, agitadores mecánicos
Aspiración o arrastre de otro gas	Sopladores baja presión.
Transporte de fase diluida	Sopladores alta presión
Generación de vacío	Bombas de vacío
Ventilación de personas o tableros eléctricos	Ventiladores eléctricos
Barrido del piso de instalaciones	Escobas, traperos
Bombas neumáticas de diafragma	Bombas eléctricas de diafragma

Fig.13 Uso inapropiado del AC y alternativas más eficaces

El criterio sería usar la fuente de más baja presión que sea factible. En la gráfica que siguen se ilustra este hecho.

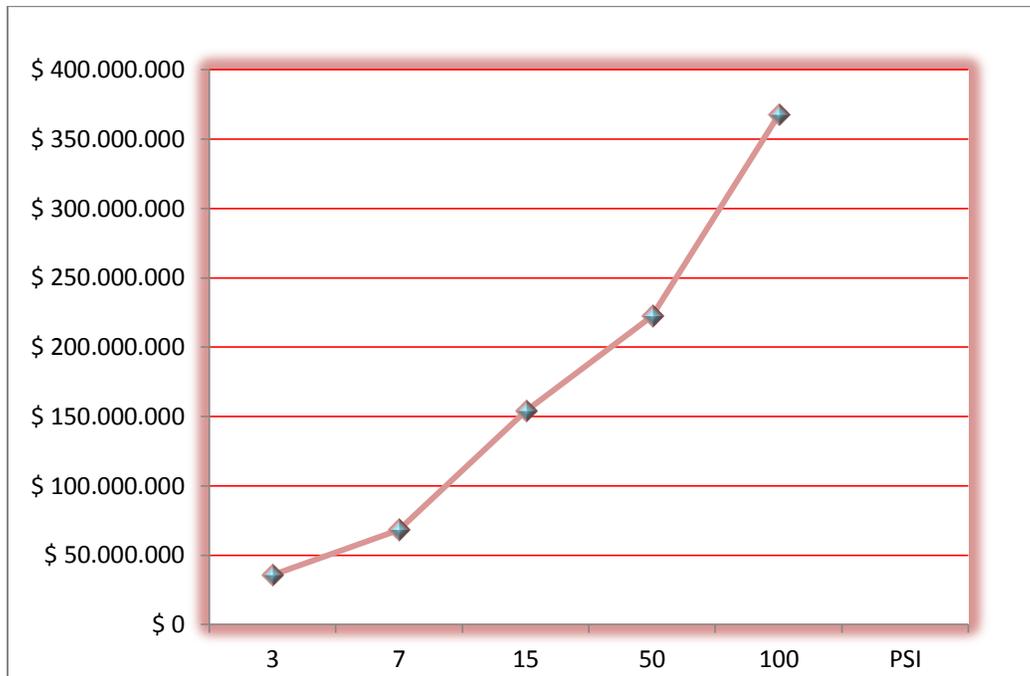


Fig.14 Costo anual de la energía eléctrica en producir 500 CFM en función de la presión. 8760 Hr y \$500/KWHr.

5.4 Control ineficiente de los compresores. Al encender un motor eléctrico consume una cantidad pico de energía que en gran proporción se transforma en calor. Los motores comúnmente usados en los compresores de aire tienen una temperatura de trabajo límite, que no permite apagarlos y encenderlos tan seguido como sería conveniente desde el punto de vista de ahorro de energía. Entonces para que el compresor esté disponible para suministrar AC, se deja encendido el motor durante los periodos de carga nula que tengan frecuencia superior a la permitida por sus características.

F & P

FLUID AND PIPE INGENIERIA LTDA. NIT 830042152-2 Calle 23 G # 82 - 82 Telefax. 263 83 73, Cel.313 8070398. BOGOTÁ D.C.
WWW.fluidandpipe.com / fluidandpipe@gmail.com

Las deficiencias en el control se originan por: Los operadores no saben regular el control de los compresores; Los controles no tienen la capacidad de ajustar eficientemente la generación a la demanda; Los compresores no han sido correctamente seleccionados.

Para evitar estas deficiencias lo ideal es partir desde la fase de diseño, haciendo selección según tipo, tamaño y número de compresores que permita trabajar eficientemente a todos los niveles de carga. Si la planta ya está operando y se quiere mejorar la eficiencia energética, lo indicado es hacer un análisis del consumo, observando su comportamiento en el tiempo para establecer una línea base y de ella obtener la información sobre la mejor estrategia de control ejecutable con los equipos actuales. Para sistemas complejos lo mejor es emplear un tablero de control maestro, que se comunica con los controles locales y utiliza sensores de presión, de flujo, de potencia y un programa toma las decisiones de apagar, encender o dejar en espera a cada equipo. Este tipo de solución requiere de equipos especializados y personal experto.

En todo caso la solución a este tipo de deficiencias y el costo involucrado en realizar las mejoras, dependen del tamaño y grado de complejidad del sistema de AC.

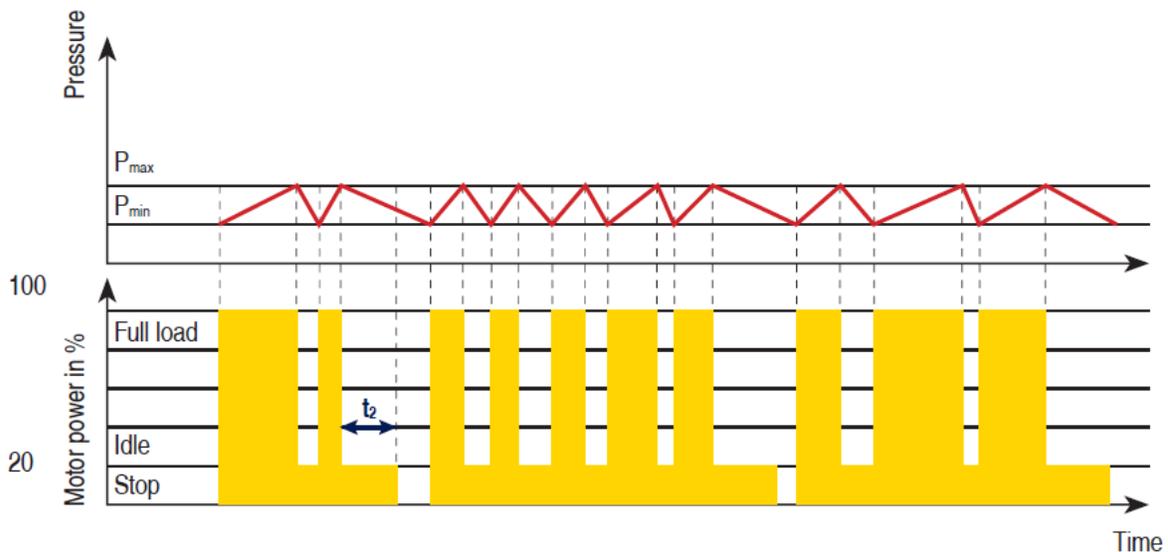


Fig.15 Control dual start / stop con periodos de trabajo en vacío fijos. (Fte. Kaeser compressed air eng. guide)

6. ¿Cómo prevenir y evitar las deficiencias de los sistemas de AC.?

Se trata de prevenir y evitar las malas prácticas a todo nivel.

6.1 Malas prácticas de diseño y montaje. El proyecto de un sistema de AC tiene un fuerte componente técnico que requiere la participación de ingenieros expertos para lograr los mejores resultados y responder adecuadamente a las necesidades del usuario. No se trata de comprar la solución más barata, sino de adquirir la más eficiente y efectiva, que resulta ser finalmente la mejor. No es raro encontrar empresas constructoras de plantas industriales que encargan los diseños de los sistemas de AC a los encargados de las instalaciones hidrosanitarias, con resultados catastróficos para el usuario. El dinero que deja de pagar el constructor al ahorrarse la ingeniería y hacer un montaje barato, lo paga con creces el usuario en consumo de energía y en las pérdidas de productividad y confiabilidad de sus instalaciones.

6.2 En las malas prácticas comerciales. Los representantes de las marcas de equipos ofrecen asesorías “gratuitas” sobre la solución de problemas de los sistemas de AC, esto con el fin de orientar la solución a la venta de sus equipos, sin tener en cuenta las soluciones más sencillas y de menor costo que se deben considerar previamente.

6.3 Malas prácticas de operación y mantenimiento. Para la correcta operación de un sistema AC es necesaria la capacitación del personal, no solo sobre los equipos de AC, sino sobre todo el conjunto. Es fácil encontrar puntos de utilización para barrer el piso o para limpiar la ropa en los cambios de turno, es frecuente que se posponga el cambio de elementos filtrantes, también es común encontrar válvulas defectuosas o que están parcialmente cerradas sin necesidad y drenajes a tubería abierta de ½” y sin regulación.

7. ¿Cómo mejorar los sistemas industriales de AC?

En Colombia la UPME ha realizado estudios sobre las diferentes opciones de mejora de la eficiencia energética y sus correspondientes potenciales de ahorro, a continuación veremos una guía de priorización, en donde clasifican las opciones en tres tipos:

A: Baja inversión y tiempo de recuperación menor de un año.

B: Inversión moderada y tiempo de recuperación entre uno y tres años

C: Alta inversión y tiempo de recuperación mayor tres años.

OPCIONES IDENTIFICADAS DE EFICIENCIA ENERGETICA EN ENERGIA ELECTRICA							
Equipo o Proceso	A	B	C	MEDIDA	Potencial de ahorro %	% de equipos en potencia a los que aplica	% ya aplicado
Instalaciones eléctricas	X			Buenas practicas en puestas a tierra y protecciones, en general cumplimiento RETIE	3 a 5%	100	30
		X		Calidad de la energía, energía reactiva y distorsión armónica.	3 a 5%	100	30
Motores ventiladores y bombas	X			Buenas practicas de mantenimiento	3 a 10%	70	15
		X		Variadores de frecuencia en ventiladores y bombas	35%	60	10
		X		Variadores de frecuencia en otros motores, bandas transportadoras, molinos de proceso, etc.	15%	60	10
			X	Sustitución de motores por eficientes	2 a 7%	40	3
Aire comprimido	X			Buenas practicas en operación y mantenimiento, control de fugas	20 a 30%	70	10
			X	Variadores y automatización de on / off cascada.	5%	70	30
		X		Reducción de la presión de descarga del compresor	2 a 8%	70	5
Iluminación		X		Sustitución a tecnologías eficientes luminarias de Hg 400W x 4*54to led 150W	50 a 60%	50	10
	X			Buenas practicas, sensores, interruptores, horarios, zonificación	5 a 15%	80	20
Calor directo	X			Aislamiento de equipos con resistencia eléctrica de calefacción	5 a 10%	60	10
	X			Mantenimiento y reposición de aislamientos	5%	70	10
Automatización		X		Calibrar los puntos de ajuste (set points) de la planta, instalación de medidores, sensores, y PLC en todos los procesos.	10%	80	5
			X	Control en toda la planta	5%	80	5
Refrigeración	X			Buenas practicaS de mantenimiento, puesta a punto del sistema, ajuste de la temperatura del evaporador y condensador, control de fugas y aislamiento de tuberías.	10%	100	30
			X	Control de la presión de succión y automatización del proceso.	1 a 8%	60	5

Fig.16 Opciones identificadas de mejora de eficiencia energética en energía eléctrica. (Fuente UPME CORPOEMA 2014)

Para el AC se muestran tres opciones, las opciones tipo A son las de mayor impacto en el ahorro y al vez son las de menor costo de inversión.

A continuación se muestra una forma de atacar las deficiencias mediante un plan de acción que incluye diferentes medidas.

F & P

FLUID AND PIPE INGENIERIA LTDA. NIT 830042152-2 Calle 23 G # 82 - 82 Telefax. 263 83 73, Cel.313 8070398. BOGOTÁ D.C.
WWW.fluidandpipe.com / fluidandpipe@gmail.com

MEDIDA #1. OBJETIVO Prevenir y evitar las malas practicas de operación y mantenimiento	Meta Reducir los costos de operación y mantenimiento 5% y mantenerlos.
Descripción Capacitar al personal en los diferentes niveles de responsabilidad en la operación y mantenimiento del sistema de AC.	
Actividades Dictar curso inicial y luego cursos de actualización anual o según se requieran. Hacer evaluacion y retroalimentacion despues de cada capacitacion.	Responsables Jefe de planta

MEDIDA #2. OBJETIVO Corregir el desperdicio de AC originado en las fugas.	Meta Reducir consumo de AC en 20% y mantenerlo.
Descripción Las fugas pueden llegar a ser el 25% del consumo de AC y de energia por lo tanto deben ser corregidas.	
Actividades Localizar, marcar, priorizar y corregir fugas. Establecer rutina de revision periodica de fugas.	Responsables Encargados del sist. de AC en coordinación con producción.

MEDIDA #3. OBJETIVO Corregir el desperdicio de energia por sobre presion del sistema	Meta Reducir presión de operación hasta que sea máximo 10 PSI mayor que la presión de descarga del compresor.
Descripción Los equipos consumidores deben trabajar a presion optima que se encuentra en los manuales de operación.	
Actividades Determinar nivel de presión optima de cada equipo consumidor. Determinar el uso de reguladores de presion locales o por sectores. Instalar reguladores de presion en los lugares determinados.	Responsables Encargados sist. AC en coordinación con producción.

MEDIDA #4. OBJETIVO Corregir el uso inapropiado del AC.	Meta Reducir el consumo de aire 5%.
Descripción Cuando el AC no es eficiente o necesario como fuente de potencia se debe considerar la mejora tecnologica o el cambio de fuente.	
Actividades Localizar puntos de uso inapropiado y evaluar posibilidades de ser mejorados o reemplazados, según viabilidad y costo. Revisar especialmente los puntos de soplado.	Responsables Encargados sist. AC en coordinación con producción.

8. ¿Cómo capitalizar las oportunidades de mejora?

Es muy difícil, sino imposible, gestionar o mejorar algo que no se conoce. Para lograr la mejora en la eficiencia energética de nuestro sistema de AC proponemos el siguiente plan de acción:

8.1 Conocer los sistemas AC. Recibiendo capacitación técnica básica sobre funcionamiento, instalación, operación y mantenimiento.

8.2 Identificar en planta c/u de los componentes del sistema. Levantamiento ordenado de datos, como presiones de operación, flujos consumidos, calidades de aire requeridas, planos de distribución y ubicación en planta, diagramas de tubería e instrumentación. Esta información se puede obtener de catálogos o haciendo levantamiento en campo. Inventario técnico.

8.3 Evaluación del desempeño. Mediante estudios y/o auditorias. Estas evaluaciones se pueden realizar con diferentes niveles, el alcance depende de los requerimientos del usuario, pero se pueden proponer los siguientes:

8.3.1 Evaluación por Inspección visual. El experto en sistemas AC, junto con el encargado de su operación, hacen recorrido de las instalaciones tomando nota de las oportunidades de mejora detectadas por simple observación. No se utilizan instrumentos de medición (excepto los instalados en el sistema) y se realiza un registro fotográfico y una evaluación económica de los ahorros potenciales de las opciones de mejora de mayor impacto económico. El siguiente ejemplo ilustra este tipo de evaluaciones.

F & P

FLUID AND PIPE INGENIERIA LTDA. NIT 830042152-2 Calle 23 G # 82 - 82 Telefax. 263 83 73. Cel.313 8070398. BOGOTÁ D.C.
 WWW.fluidandpipe.com / fluidandpipe@gmail.com

Reducción de diámetro en las conexiones de entrada y salida de AC		
Ubicación	Sección	Equipo
Planta 1	Cuarto de compresores	Secador refrigerativo #2
Observaciones		
Secador conectado exclusivamente a compresor de 650 CFM, d2 1/2"		
Secador sin placa ni catalogo, in / out d1 1/4"		
Mejora: Verificar capacidad de secado, Por el diámetro de conexión parece insuficiente. Presencia agua en tubería lo confirma.		
Posibles consecuencias:		
Secado insuficiente. Presencia de agua en las tuberías		
Pérdida de presión por encima de valor estándar de 2,5 PSI.		
Pérdida de presión de esta instalación PSI		4,5
Horas de trabajo al año		8760
Costo del Kilovatio hora		\$ 450
Costo anual de las perdidas de presión		\$ 3.252.150
Mas el daño por humedad de las htas. Neumáticas.		



Fig.17 Registro, evaluación e ilustración de una oportunidad de mejora en un sistema de AC.

Filtro coalescente con instalación inadecuada		
Ubicación	Sección	Equipo
Bodega	Cuarto de compresores	Filtro coalescente
Observaciones		
Equipo en uso, con fugas de aire, instalado sobre el Bypass, con el elemento filtrante saturado y sin drenaje. Reduccion de diametro.		
Mejora: Cambiar elemento filtrante, instalar drenaje, pasar el filtro a la tubería principal. Corregir fugas.		
Posibles consecuencias:		
Caída de presión y caudal del sistema		
No esta cumpliendo su funcion.		
Pérdida de presión de esta instalación PSI		9
Horas de trabajo al año		8760
Costo del Kilovatio hora		\$ 385
Costo anual de las perdidas de presión		\$ 5.058.900
Mas el costo del caudal perdido en las fugas.		



Fig.18 Registro, evaluación e ilustración de una oportunidad de mejora en un sistema de AC.

8.3.2 Evaluación con levantamiento de datos. Se debe obtener la información que permita hacer los análisis, cálculos y estimaciones requeridos, para establecer los KPI actuales. Se emplean instrumentos de medición sencillos como manómetros y flujómetros análogos y

F & P

FLUID AND PIPE INGENIERIA LTDA. NIT 830042152-2 Calle 23 G # 82 - 82 Telefax. 263 83 73, Cel.313 8070398. BOGOTÁ D.C.
 WWW.fluidandpipe.com / fluidandpipe@gmail.com

medidores monofásicos de consumo de potencia en los compresores. Para facilitar el manejo de la información se separa en tres paquetes correspondientes al dado de suministro, red de distribución y lado del consumo.

8.3.2.1 Lado suministro:

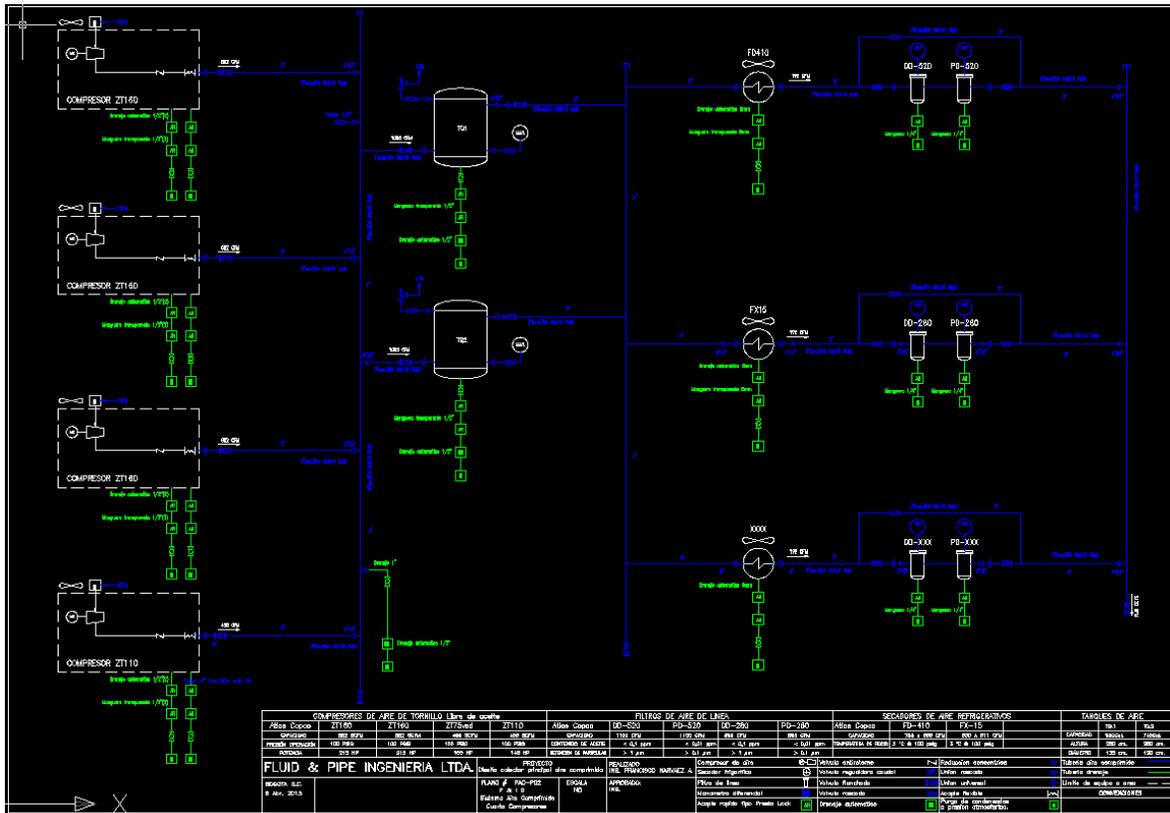


Fig.19 Diagrama de tuberías e instrumentación (P&ID) de un cuarto de compresores.

8.3.2.2 Tuberías de distribución

Se debe hacer levantamiento y digitalización de los planos de todas las tuberías de distribución, desde las conexiones a los equipos de suministro hasta la válvula de corte de los puntos de utilización. Estos planos deben incluir información como: Diámetros, materiales, tipos de junta, soporteria e instrumentación y la ubicación real de c/u de los equipos de suministro y puntos de utilización. Resulta de mucha utilidad montar el plano de tuberías sobre el plano arquitectónico para obtener una imagen del sistema completo y visualizar fácilmente los problemas y posibles soluciones.

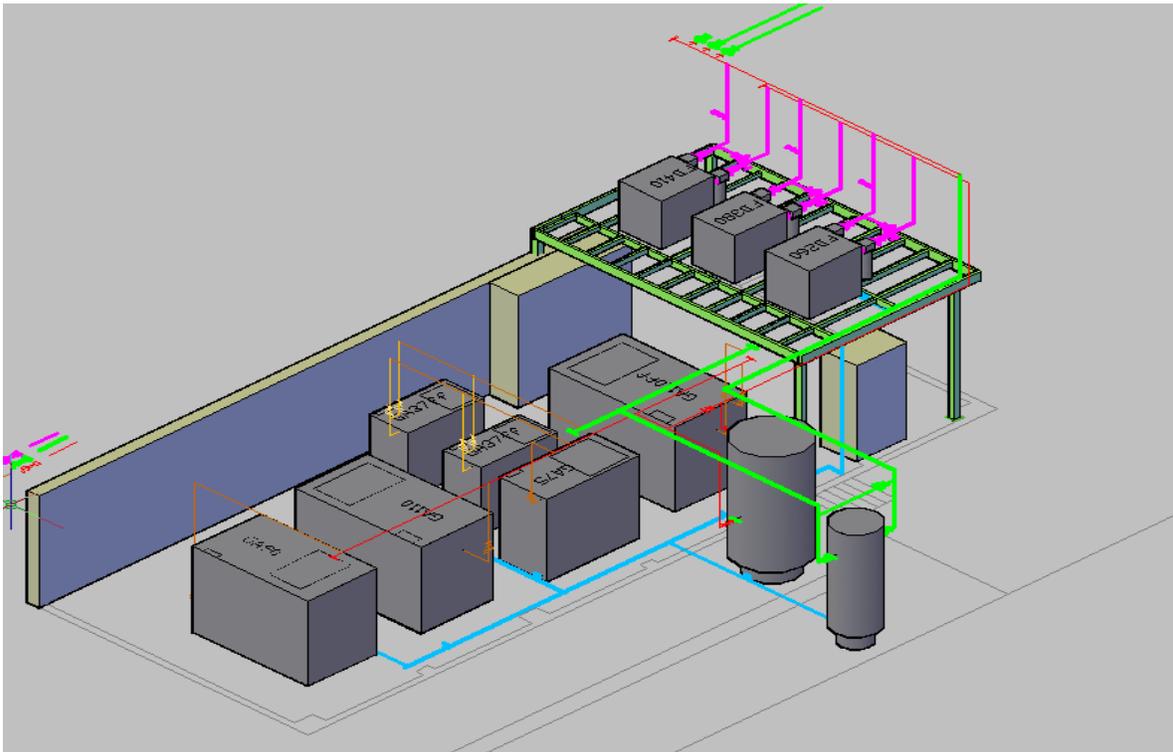


Fig.20 Plano de distribución de equipos y tuberías de un cuarto de compresores.

8.3.2.3 Lado consumo

En el lado de consumo se encuentran todos los equipos que requieren AC para su funcionamiento, usualmente c/u tiene conexión individual a la tubería de distribución y una válvula de corte. Alguna información puede tomarse de los catálogos, pero es más confiable si la tomamos directamente de la placa del equipo y aun mejor si podemos medirla durante la operación normal. En seguida se muestra un formato típico para la recolección de estos datos.

Listado equipos consumidores			Presión	Diámetro conexión	Flujo medido	Frecuencia	Duración del ciclo	Calidad requerida	Grado utilización	Cantidad
Ítem	Ubicación	Identificación	PSI	D (Pul)	CFM	Ciclos/min.	Seg.	ISO	%	#
1										
2										
3										
4										
5										

Fig.21 Formatos para la recolección y registro de datos en evaluación del sistema de AC.

F & P

FLUID AND PIPE INGENIERIA LTDA. NIT 830042152-2 Calle 23 G # 82 - 82 Telefax. 263 83 73, Cel.313 8070398. BOGOTÁ D.C.
WWW.fluidandpipe.com / fluidandpipe@gmail.com

Adicionalmente se puede realizar la localización, marcación y corrección de las fugas, inspeccionado una a una las juntas de tubería y los acoples de los equipos. En caso de efectuar este trabajo es conveniente hacer medición de consumo de energía de los compresores antes y después de corregir las fugas.

8.3.3 Evaluación compleja. Debe hacerse posteriormente a la evaluación con levantamiento de datos. Se emplean instrumentos de medición como sondas de presión y flujómetros digitales con registradores electrónicos de datos (logger) y software especializado en sistemas de AC. Los instrumentos se instalan durante al menos una semana y se obtienen las curvas del comportamiento de la presión, el flujo y la potencia contra el tiempo. En algunas evaluaciones a solicitud del cliente se puede hacer seguimiento a la calidad del AC en cuanto a su contenido de humedad, partículas sólidas y/o contenido de aceite.

Se efectúa también la detección y marcación de las fugas con un detector ultrasónico. Las deben ser corregidas previamente a las demás operaciones.

En este tipo de evaluaciones también se puede incluir la revisión del programa de mantenimiento de los equipos de suministro y de la red de distribución.

Dentro del alcance se suele incluir el establecimiento de un programa de monitoreo y control para mantener en el tiempo la eficiencia ganada.

La ilustración que sigue muestra una gráfica típica obtenida durante este tipo de evaluación.

F & P

FLUID AND PIPE INGENIERIA LTDA. NIT 830042152-2 Calle 23 G # 82 - 82 Telefax. 263 83 73, Cel.313 8070398. BOGOTÁ D.C.
WWW.fluidandpipe.com / fluidandpipe@gmail.com

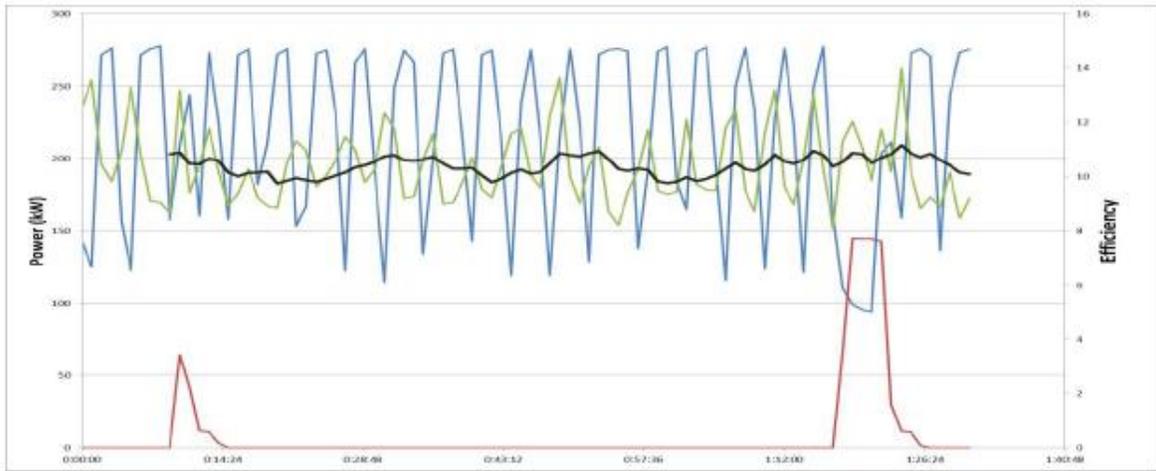


Fig.22 Grafica obtenida con un data logger multicanal. Todas las señales son obtenidas simultáneamente lo que permite encontrar relaciones y efectuar un análisis complejo. (Fuente: VP Instruments)

8.4 Realización o Implementación de las oportunidades de mejora. Encontradas durante las evaluaciones. Se debe priorizar el orden de ejecución iniciando con las medidas de baja inversión y periodo de recuperación menor a un año, seguidas por las medidas de valor de inversión medio y tiempo de recuperación entre uno y tres años y por ultimo las medidas de alta inversión y tiempo de retorno mayor de tres años. Es muy importante elaborar un plan de sostenimiento de las mejoras, que puede ser monitoreando periódicamente los KPI y tomado acciones para mantenerlos en los niveles deseados.

8.5 Estimar el potencial de ahorro

Como se vio anteriormente el potencial de ahorro de energía en los sistemas de AC. Es del 50% de la energía consumida por los compresores. Para estimar el ahorro en pesos que podríamos obtener en nuestras plantas se puede emplear la siguiente formula:

$$S = A * P * V * T \quad \text{en donde:}$$

S = Valor del ahorro anual en pesos.

A = 50% potencial de ahorro de la energía consumida por compresor.

P = Potencia del compresor (KW)

V = Valor en pesos del Kilovatio Hora (\$/KW.Hr.)

T = Tiempo de trabajo del compresor al año. (Hr. / Año)

9. Conclusiones y Recomendaciones

La mejor práctica es prevenir las malas prácticas. Si el proyecto está en las fases preliminares, es ahí en donde se pueden evitar los futuros problemas de baja eficiencia energética.

Se debe contar con personal competente en diseño de sistemas de AC, hacer las compras técnicas con la adecuada asesoría independiente, el montaje e instalación con personal capacitado en sistemas de servicios industriales y el arranque por un equipo multidisciplinario especialmente designado para el efecto. (Commissioning)

Implementar un plan de acción progresivo que contenga los pasos recomendados de Capacitación, Identificación, Evaluación y Realización.

La asesoría técnica es muy importante antes de hacer alguna modificación o compra de equipos. Las asesorías de tercera parte son más las indicadas por su independencia e imparcialidad. Se deben evitar o recibir con reserva las asesorías que ofrecen los comercializadores de equipos que suelen ser incompletas y sesgadas.

La capacitación del personal es parte fundamental en el éxito de todo proyecto y debe ser siempre el primer paso en un plan de acción de mejora.

10. Bibliografía y Referencias.

-Improving compressed air system performance.

U.S. Department of energy. 2016.

-Compressed air energy efficiency guide

CEA Technologies Inc. CEATI. 2007.

-Compressed air as energy carrier. Hesse.

Festo. 2012.

-Identificación y priorización de alternativas de eficiencia energética. Informe final

F & P

FLUID AND PIPE INGENIERIA LTDA. NIT 830042152-2 Calle 23 G # 82 - 82 Telefax. 263 83 73, Cel.313 8070398. BOGOTÁ D.C.
[WWW.fluidandpipe.com](http://www.fluidandpipe.com) / fluidandpipe@gmail.com

CORPOEMA. UPME. 2017.

-Compressed air engineering guide.

Kaeser compressors. 2017.

-Manual de aire comprimido.

Atlas Copco. 2014.

FLUID & PIPE INGENIERIA S.A.S.

Sistemas de Aire Comprimido

ING. FRANCISCO NARVAEZ A.

Tel. 2638373, Cel. 313 8070398, Bogotá D.C.

Fluidandpipe@gmail.com