

Eficiencia Energética en sistemas de Aire Comprimido

FLUID & PIPE INGENIERIA S.A.S.

ING. FRANCISCO NARVAEZ A.

2018

CONTENIDO

- 1-¿Qué es eficiencia energética?
- 2- ¿Para que sirve la eficiencia energética?
- 3-¿Qué es aire el 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?



CONTENIDO

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?

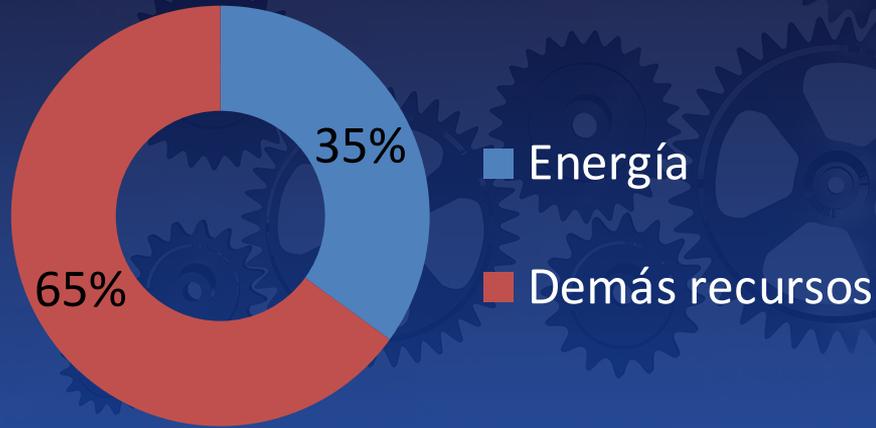


Fig. Energía empleada para fabricar un producto. (Fuente UEEC)

$$\text{Eficiencia Energética} = \frac{\text{Energía consumida}}{\text{\# unidades producidas}}$$

Eficiencia Energética = Ahorro de dinero



2-¿Para que sirve la eficiencia energética?



Beneficios tributarios para los proyectos de eficiencia energética y energías renovables

Unidad de Planeación Minero Energética - UPME



Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales

**Resolución 585 del
2 / Octubre / 2017.**

3-¿Qué es el aire comprimido?

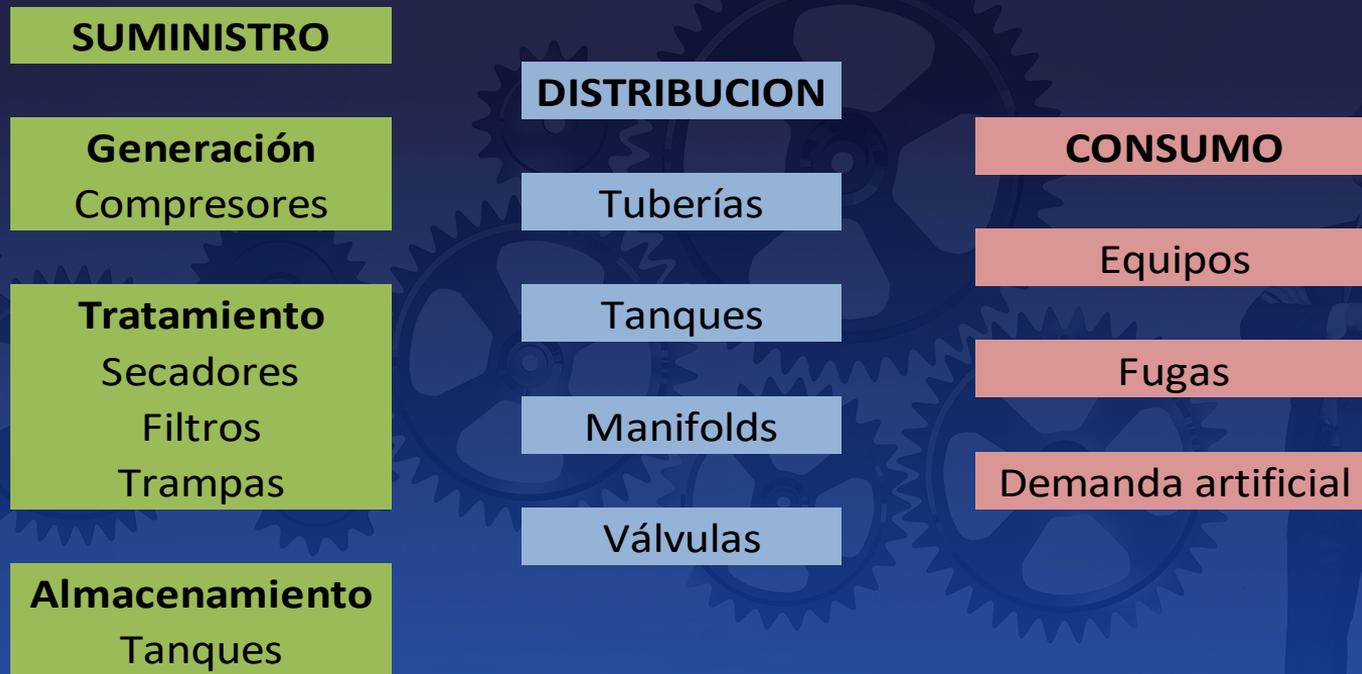


Fig. Partes constitutivas de un sistema industrial de aire comprimido.

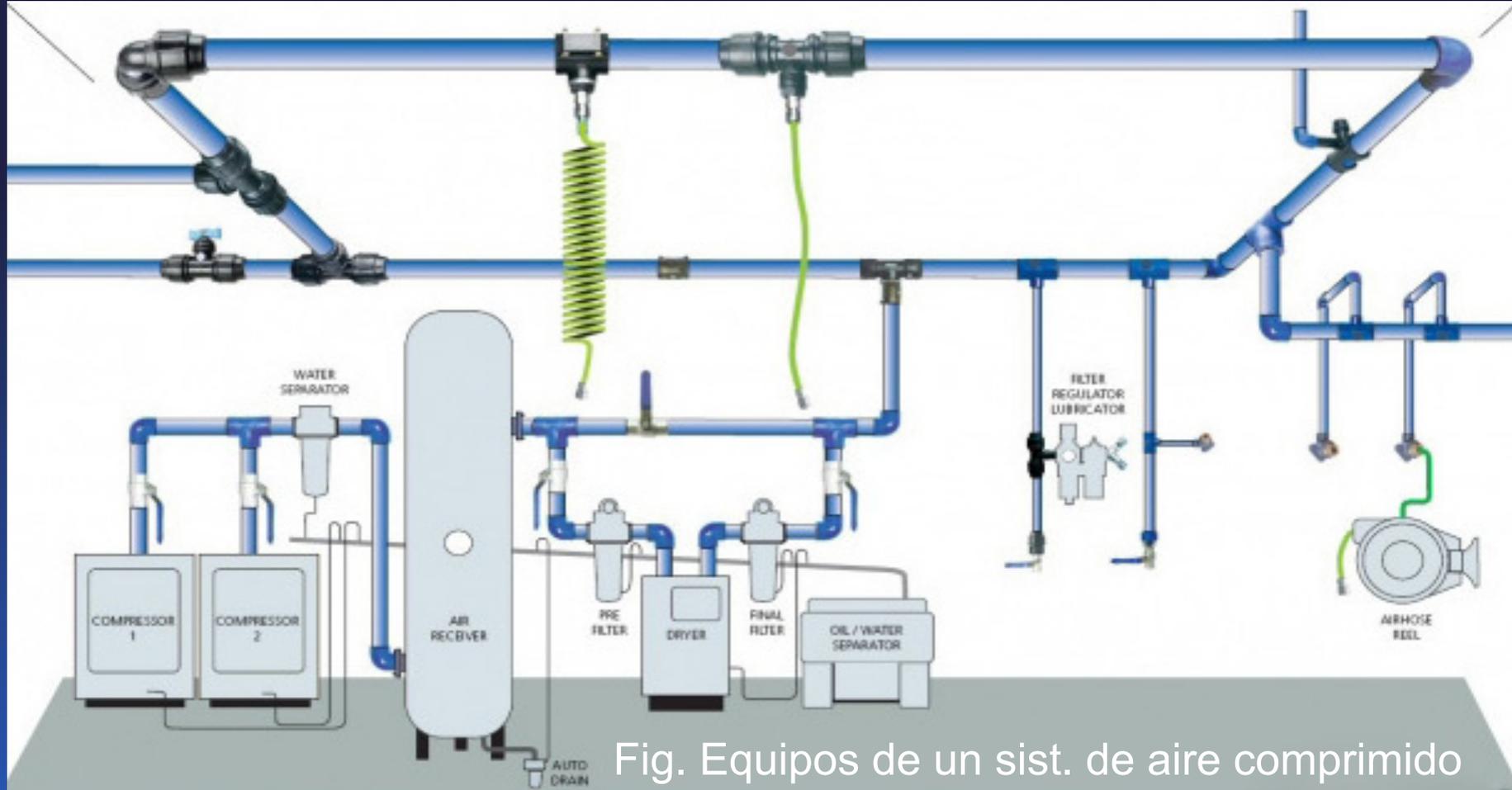


Fig. Equipos de un sist. de aire comprimido

Flujo es la cantidad de AC que genera un compresor o que consume un equipo.

Es el volumen de fluido que pasa por una superficie unidad de tiempo. Unidades: CFM, Lt / Min.

Presión es el nivel de energía potencial suministrada por el compresor y que almacena el AC.

Es la fuerza que ejerce el fluido por unidad de área. Unidades: PSI, Bar.

F & P

Calidad es la pureza del AC.

Determina el nivel de contenido de tres contaminantes
Agua, Aceite y Partículas. La norma ISO 8573 fija los tipos
de calidad según los niveles de estos contaminantes.



CLASE	Impurezas sólidas (número máximo de partículas por m ³) Para un tamaño máximo de partícula indicado en µm			Humedad Punto de rocío a presión °C	Máximo contenido aceite mg/m ³
	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/m ³
2	≤400000	≤60000	≤100	≤ -40	≤ 0,1mg/m ³
3	-	≤90000	≤1000	≤ -20	≤ 1mg/m ³
4	-	-	≤10000	≤ +3	≤ 5mg/m ³
5	-	-	≤100000	≤ +7	-

Fig. Norma ISO 8573 clases de calidad de aire comprimido.

Flujo Volumétrico

Presión

Potencia

Anglo	CFM Pie cubico / minuto	PSI Libra / pulgada cuadrada	HP Caballo
Internacional	Lt / Min. Litros / Minuto	Bar Bar	KW Kilovatio
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

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

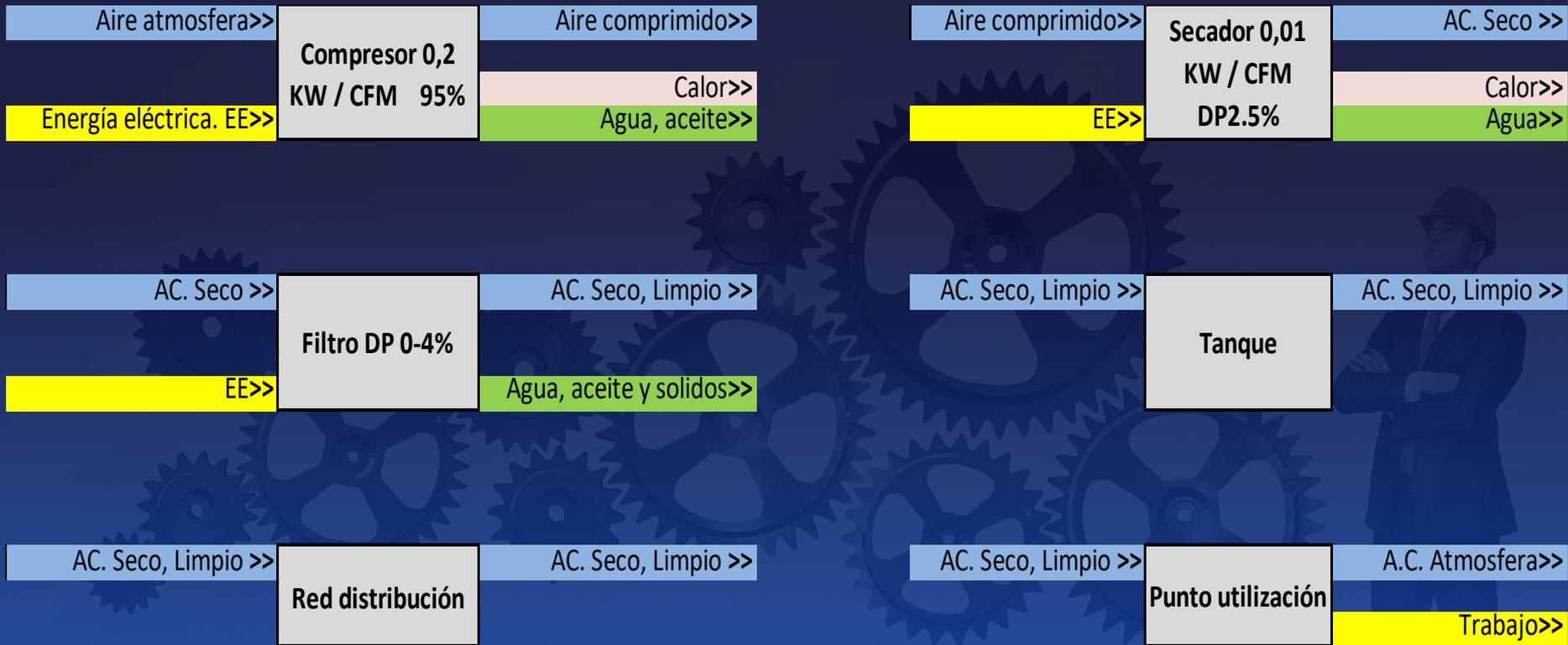
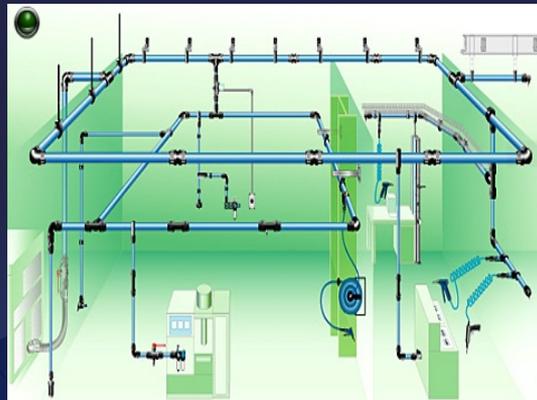


Fig. Diagrama de bloques de un sistema de AC.



Indicador Suministro.
 $K_s = \text{Energía consumida} / \text{Cantidad de AC generado.}$
(KW/CFM).
Vlr. Ref. 20 KW / 100 CFM

Indicador red Distribución.
 $K_d = \text{Presión perdida} / \text{Presión disponible} (\%).$
Vlr. referencia 2%

Indicador consumo.
 $K_c = \text{Aire consumido} / \text{Cantidad de producto fabricado.}$
(CFM / #).
Vlr. Ref. propio del usuario.

Fig. Indicadores de eficiencia energética de un sistema de AC. KPI

4-¿Cómo se usa el AC en la industria?

Eficiencia Energética compresor de aire = 20%

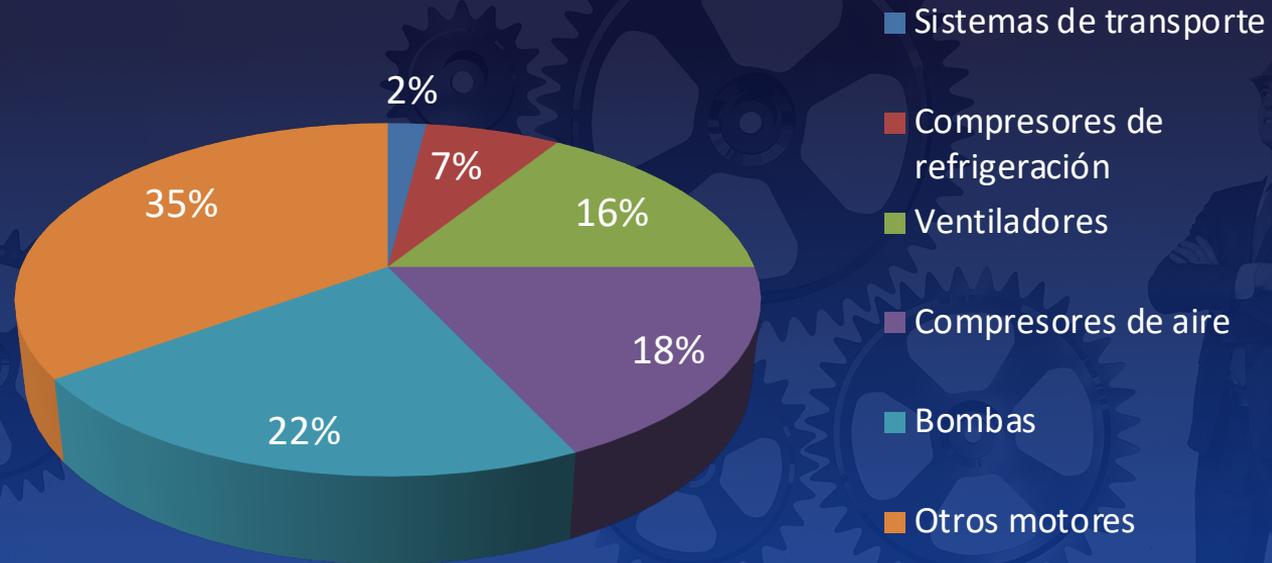


Fig. Cantidad de energía utilizada por los compresores de aire en relación al total de la energía eléctrica consumida por la industria en USA. (Fuente SAVE II 2014)

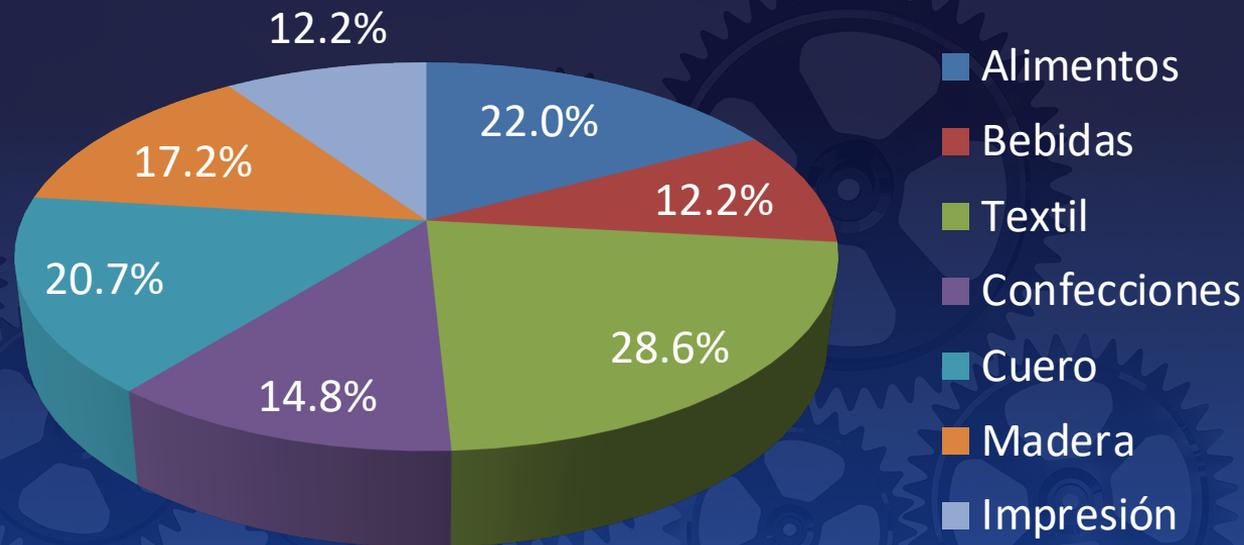


Fig. Fracción de energía eléctrica usada por compresores de aire, en relación al consumo de servicios industriales. (Fuente: UPME Informe caracterización consumo de energía en la industria. Colombia 2014)

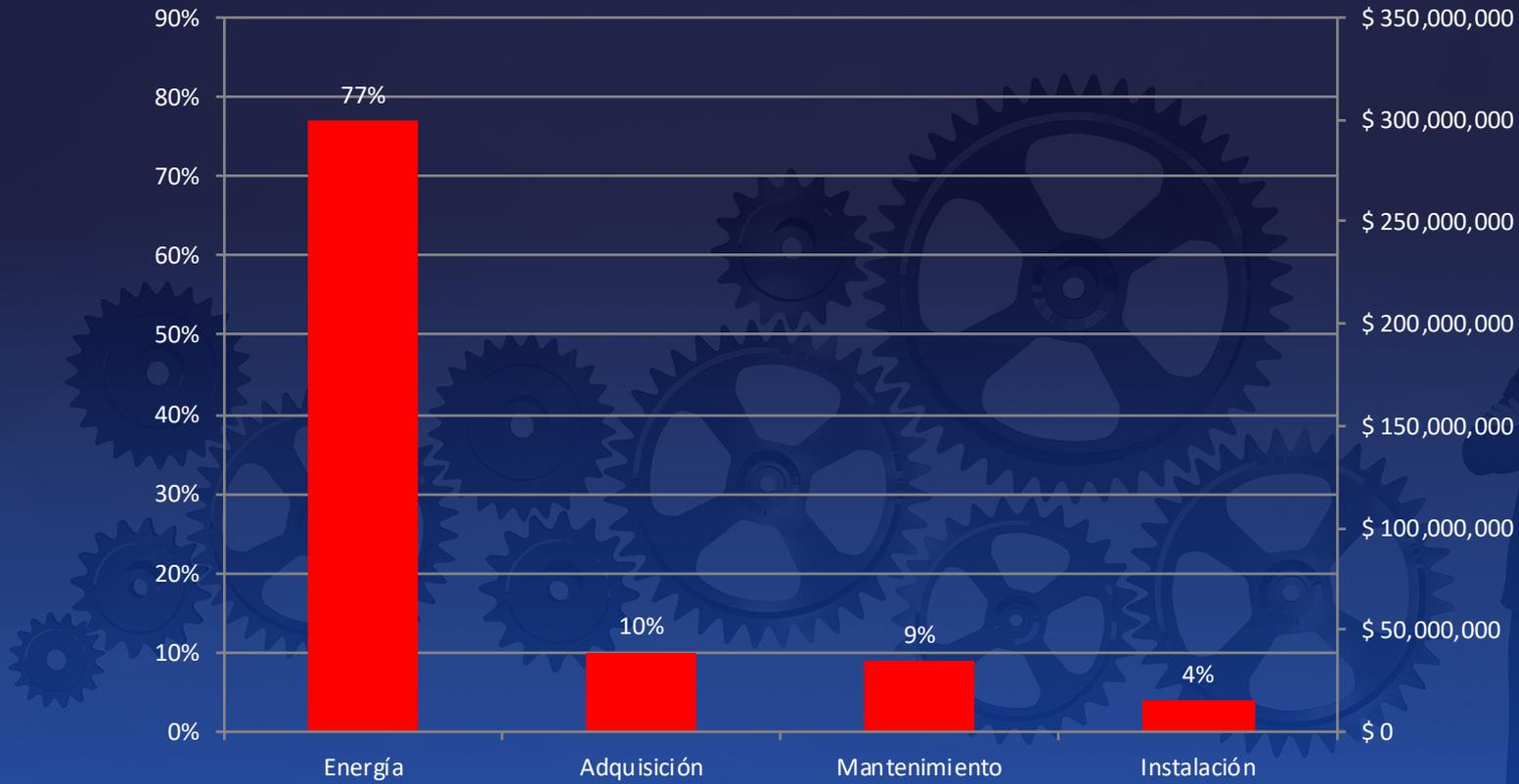
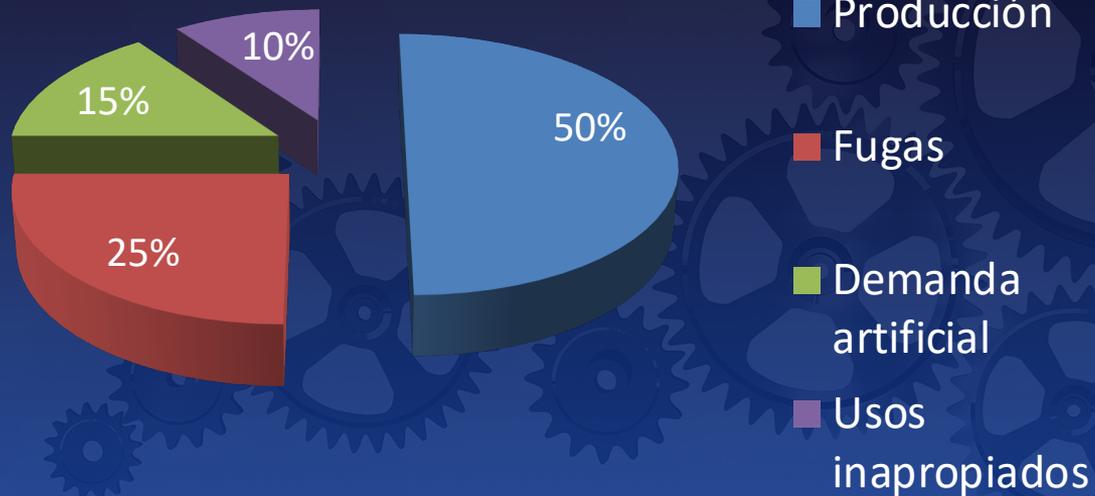


Fig. Costos de un compresor de aire de 100 HP de tornillo lubricado en 5 años de operación.

5-¿Cuáles son las deficiencias de los sistemas de AC ?



Adicionalmente deficiencias en control pueden producir desperdicio del 20% de la energía dedicada a producción.

Para reducir costos energía:

- Corregir fugas.
- Evitar uso inapropiado.
- Reducir presión operación.
- Estrategia eficiente control.

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

	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 - FUGAS			
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

	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

	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

Una fuga de 1 CFM (a100 PSI) = \$ 1.000.000 al año.



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

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.

Una perdida de presión de 2 PSI = Incremento del 1% de potencia consumida por motor del compresor.

Fig. Costo de la demanda artificial originada en las perdidas de presión



Fig. Tubería C.S. en servicio con aire húmedo, origina demanda artificial

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
Limpieza uniformes, Barrido del piso	Escobas, traperos
Bombas neumáticas de diafragma	Bombas eléctricas de diafragma

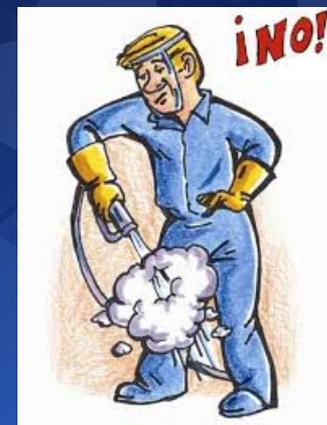


Fig. Uso inapropiado del AC y alternativas mas eficientes

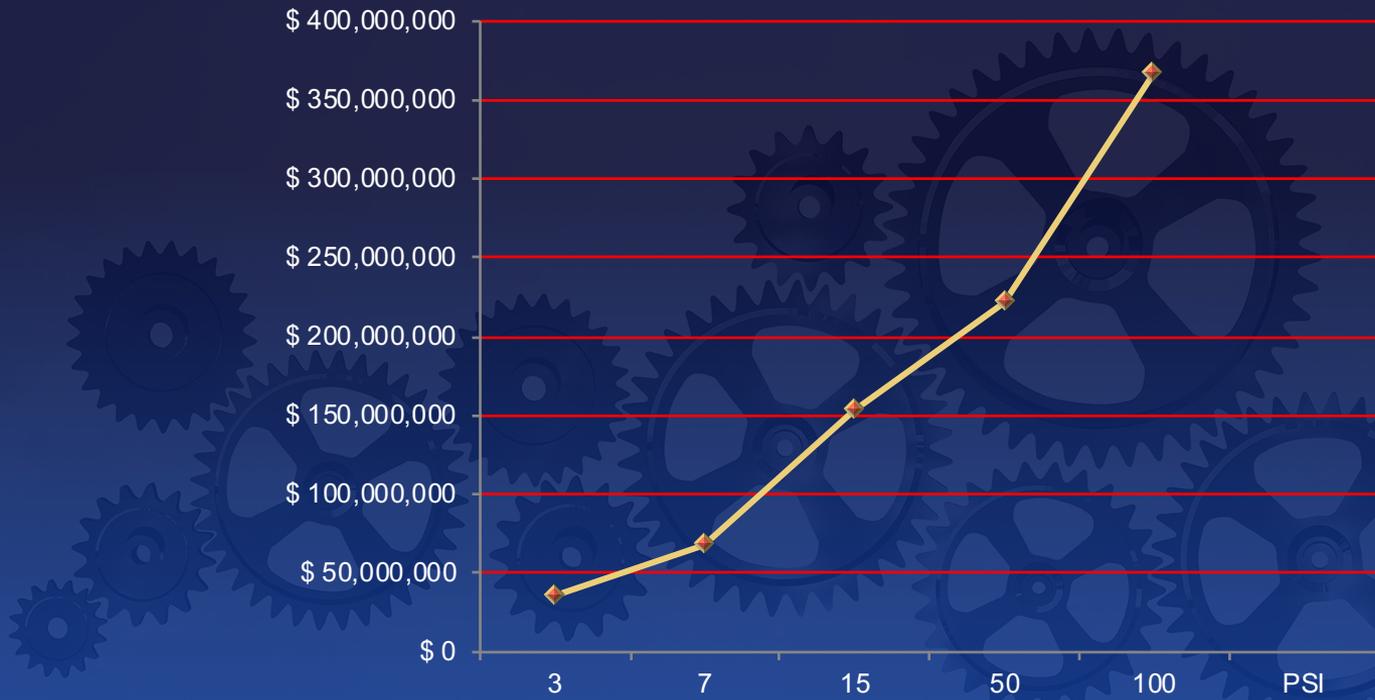


Fig. Costo anual energía eléctrica para producir 500 CFM en función de la presión. 8760 Hr. y \$500 / KWHr.

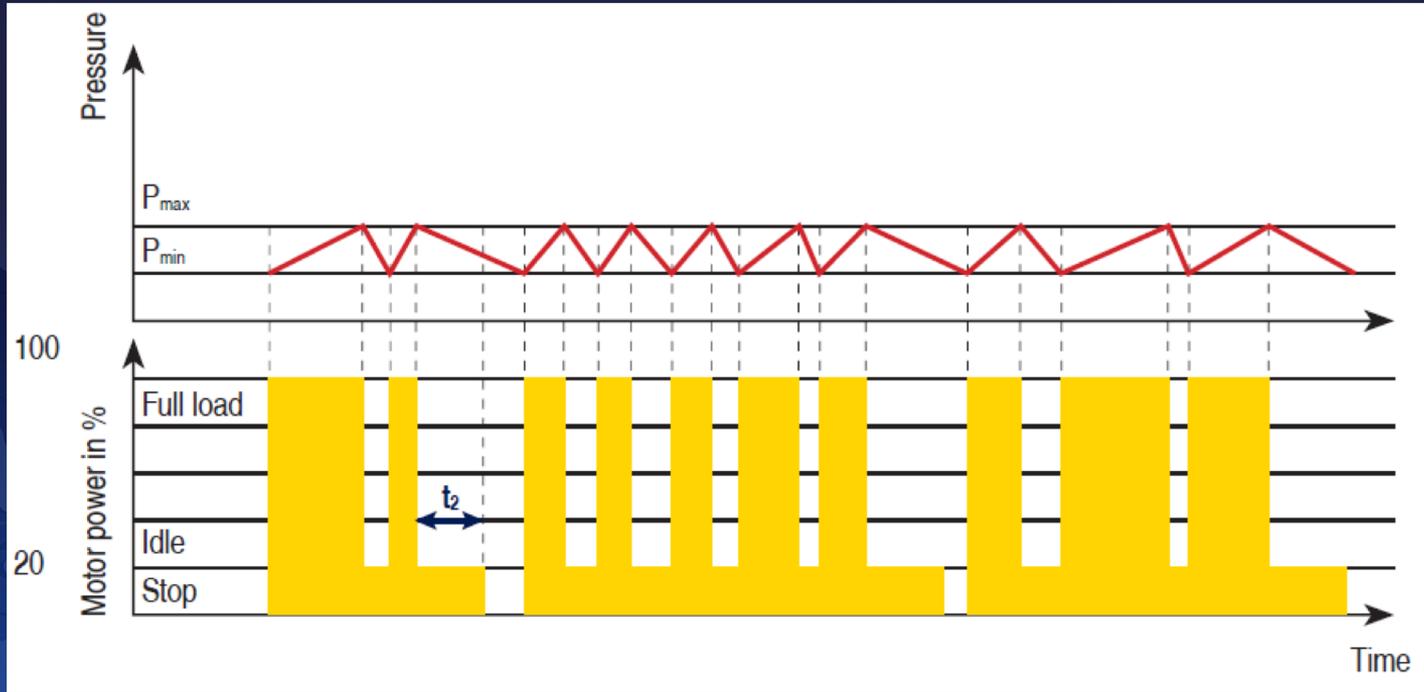


Fig. Control dual start/stop con tiempos fijos de trabajo en vacío (Kaeser comp. Air eng. guide)

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

Prevenir y evitar las malas practicas

Malas practicas de diseño y montaje

Malas practicas comerciales

Malas practicas de operación y mantenimiento



7-¿Cómo mejorar los sistemas de AC ?

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

Cada \$1 que se invierte en planeación e ingeniería ahorran \$10 en montaje y \$100 en operación.

Fig. Opciones identificadas mejora eficiencia energética energía eléctrica. (Fte. UPME CORPOEMA 2014)

MEDIDAS DE BUENAS PRACTICAS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

MEDIDA #1

OBJETIVO

Prevenir y evitar las malas practicas de operación y mantenimiento

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.

Meta

Reducir los costos de operación y mantenimiento 5% y mantenerlos.

Responsables

Jefe de planta

Fig. Ejemplo de medida de eficiencia energética para un sistema de AC.

MEDIDAS DE BUENAS PRACTICAS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

MEDIDA #2

OBJETIVO

Corregir el desperdicio de AC originado en las fugas.

Descripción

Las fugas pueden llegar a ser el 25% del consumo de AC y de energía por lo tanto deben ser corregidas.

Actividades

Localizar, marcar, priorizar y corregir fugas.
Establecer rutina de revisión periódica de fugas.

Meta

Reducir consumo de AC en 20% y mantenerlo.

Responsables

Encargados del sist. de AC en coordinación con producción.

Fig. Ejemplo de medida de eficiencia energética para un sistema de AC.

MEDIDAS DE BUENAS PRACTICAS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

MEDIDA #3

OBJETIVO

Corregir el desperdicio de energía por sobre presión del sistema

Descripción

Los equipos consumidores deben trabajar a presión óptima que se encuentra en los manuales de operación.

Actividades

Determinar nivel de presión óptima de cada equipo consumidor.
Determinar el uso de reguladores de presión locales o por sectores.
Instalar reguladores de presión en los lugares determinados.

Meta

Reducir presión de operación hasta que sea máximo 10 PSI mayor que la presión de descarga del compresor.

Responsables

Encargados sist. AC en coordinación con producción.

Fig. Ejemplo de medida de eficiencia energética para un sistema de AC.

MEDIDAS DE BUENAS PRACTICAS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

MEDIDA #4

OBJETIVO

Corregir el uso inapropiado del AC.

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.

Meta

Reducir el consumo de aire 5%.

Responsables

Encargados sist. AC en coordinación con producción.

Fig. Ejemplo de medida de eficiencia energética para un sistema de AC.

8-¿Cómo capitalizar las oportunidades de mejora?

-Capacitación.

Funcionamiento, instalación, operación, mantenimiento.

-Identificación y registro.

Inventario técnico, Levantamiento de planos.

-Evaluación del desempeño.

Estudios, auditorias, mediciones, oportunidades de mejora.

-Realización.

Priorización, ejecución, sostenimiento.



-Tipos de Evaluación

Evaluación por inspección visual.

Un día, no instrumentos, experto solo.

Evaluación con levantamiento de datos.

Una semana, Instrumentos y software sencillos, experto y auxiliar.

Evaluación compleja.

Varias semanas, instrumentos y software especializado, experto y auxiliares.



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"		
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 y equipos.		
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 pérdidas de presión		\$ 3.252.150
Mas el daño por humedad de las htas. Neumáticas.		



Fig. Evaluación por inspección visual de oportunidad de mejora en sistema AC.

Filtro coalescente con instalación inadecuada

Ubicación	Sección	Equipo
Bodega	Cuarto de compresores	Filtro coalescente
Observaciones		
Valvulas sin manija, con fugas de aire, instalado sobre el Bypass, elemento filtrante saturado y sin drenaje. Reduccion de diametro.		
Mejora: Cambiar elemento filtrante, instalar drenaje, pasar el filtro a la tubería principal. Corregir fugas. Instalar manijas.		
Posibles consecuencias:		
Caída de presión y caudal del sistema		
No esta cumpliendo su funcion. DP max. 4 PSI.		
Perdida 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. Evaluación por inspección visual de oportunidad de mejora en sistema AC.

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. Formato para recolección y registro de datos en evaluación del sistema de AC.

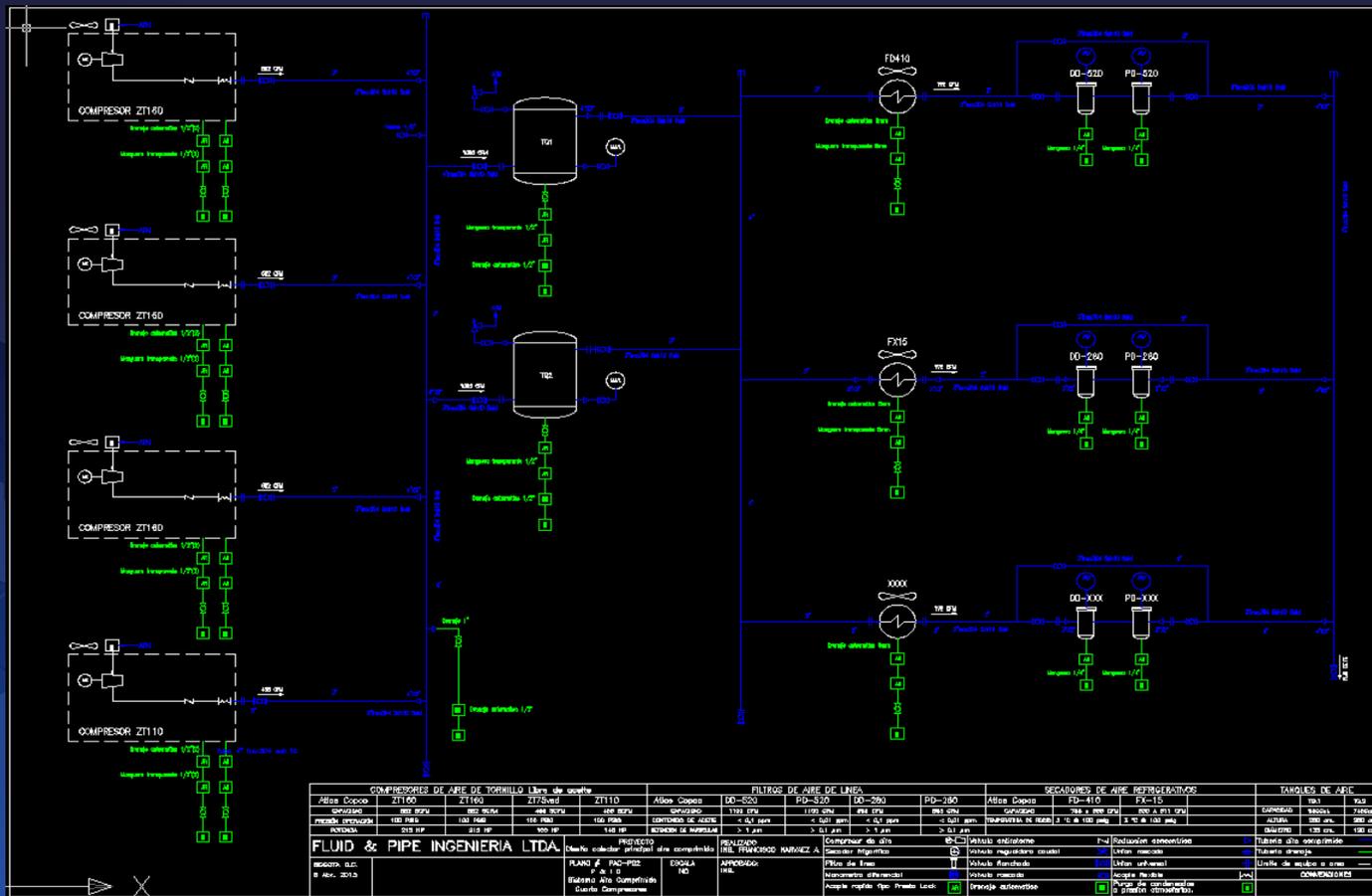


Fig. Evaluación con levantamiento de planos y de datos

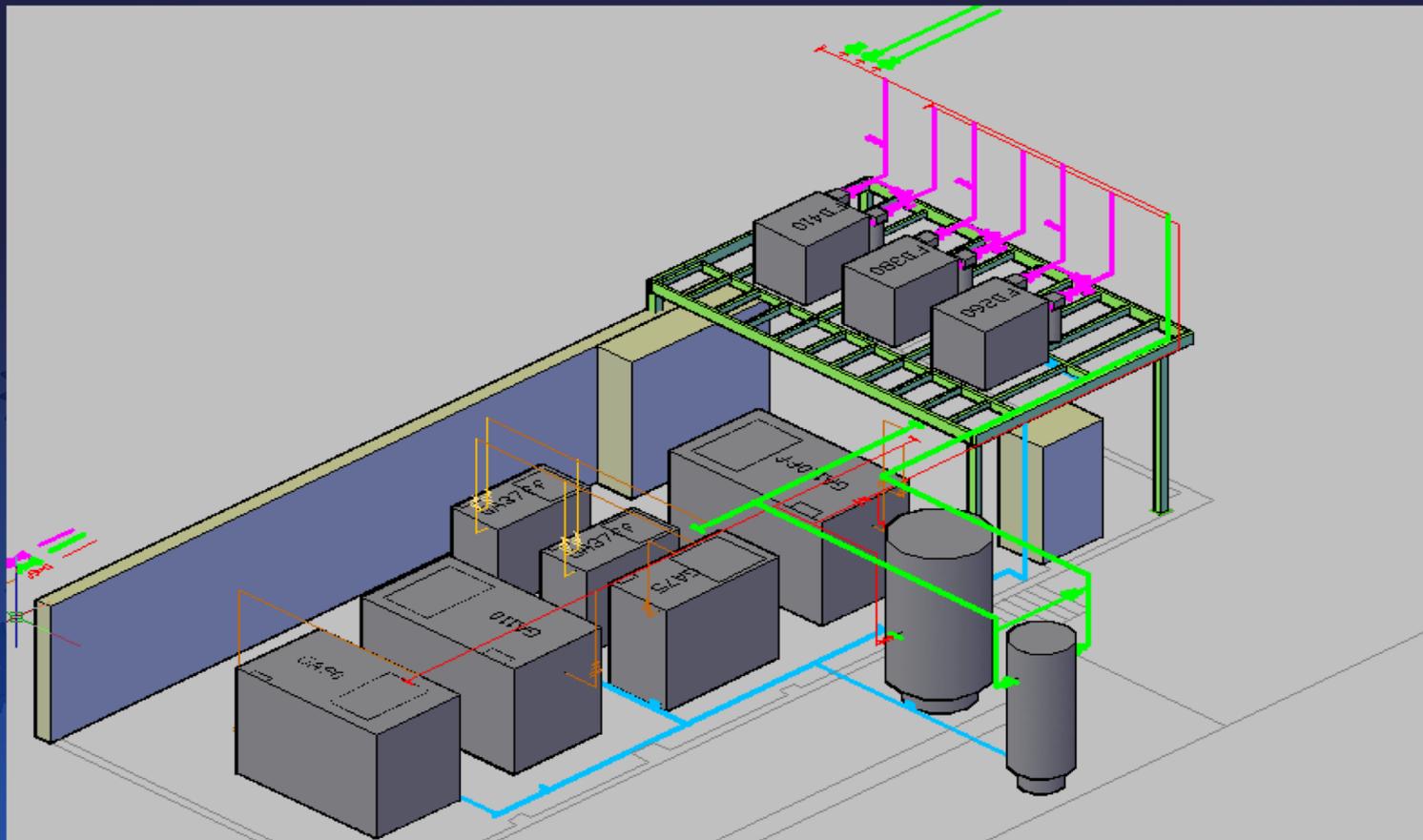


Fig. Evaluación con levantamiento de planos y de datos.

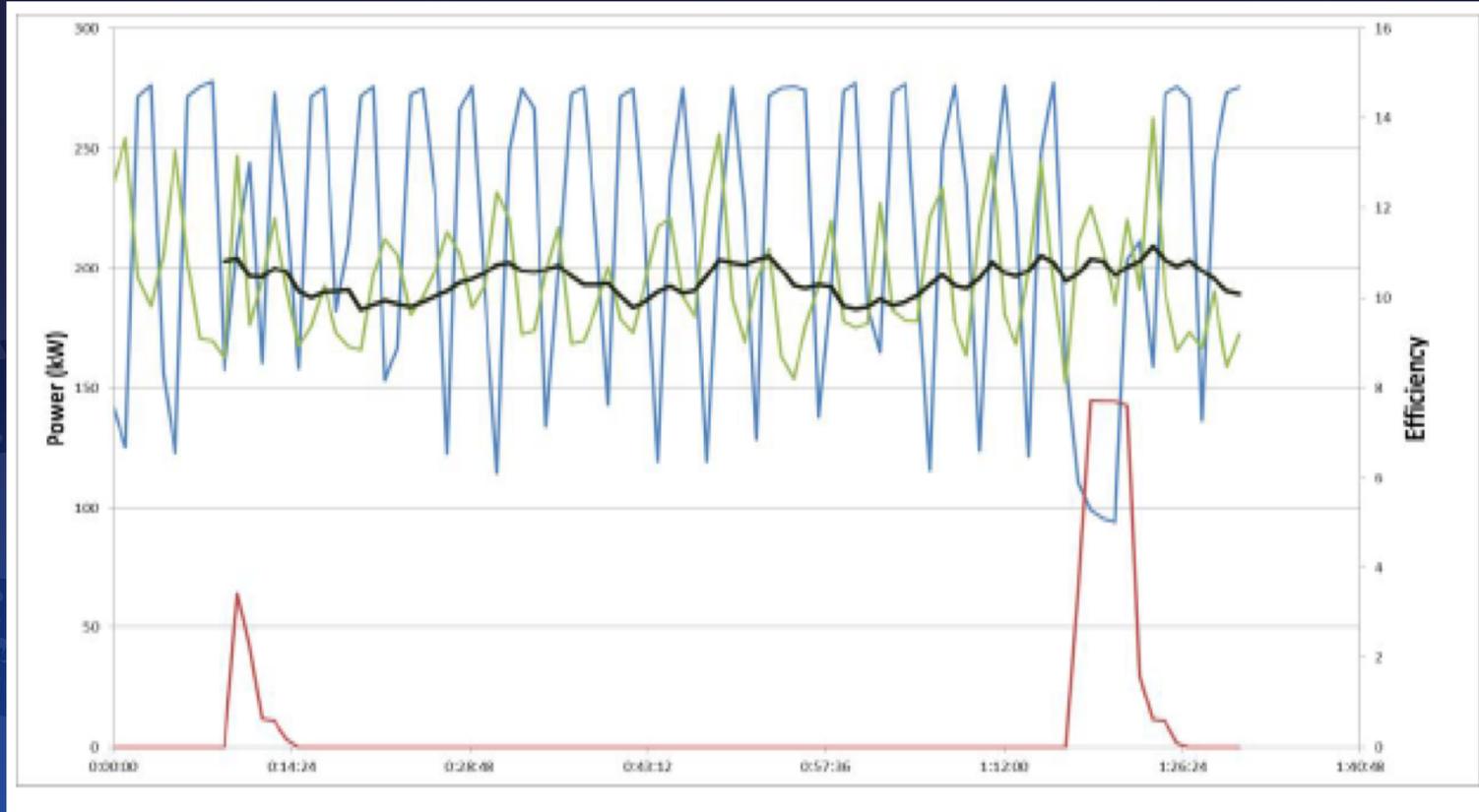


Fig. Evaluación compleja. Grafica obtenida con un data logger multicanal. (Fte: VP Instruments)

$$S = A * P * V * T$$

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)

Fig. Estimación del potencial de ahorro anual.

9-Conclusiones y recomendaciones

Prevenir.

Diseño, compras técnicas, montaje, puesta en marcha.

Plan de acción.

Capacitación, Identificación, Evaluación, Realización.

Asesoría y auditoria Independientes.

10-Referencias y bibliografía.

-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.

CORPOEMA. UPME. 2017.

-Compressed air engineering.

Kaeser compressors. 2017.

-Manual de aire comprimido.

Atlas Copco. 2014.

GRACIAS

FLUID & PIPE INGENIERIA S.A.S.
Sistemas de Aire Comprimido

ING. FRANCISCO NARVAEZ A.

Tel. 2638373, Cel. 313 8070398

Fluidandpipe@gmail.com

Bogotá D.C.



F & P

