

UNIDAD DE GESTIÓN DEL PROYECTO



# Curso de capacitación: EFICIENCIA ENERGÉTICA EN SERVICIOS AUXILIARES: Redes de aire comprimido

**Expositor: Ing. Victor Arroyo – Consultor Nacional Proyecto ZIS**  
Lima, 08 al 22 de julio de  
2021

Operado por:



Punto focal The GEF:



Financiado por:



Implementado por:



# MÓDULO 1

## Eficiencia en redes de aire comprimido

1. Introducción
2. Componentes de una red de aire comprimido
3. Evaluación de una red de aire comprimido
4. Oportunidades de eficiencia energética
5. Caso de estudio
6. Preguntas

# M-1: Introducción

---

Un sistema de aire comprimido (SAC) entrega aire a una presión mayor que la existente para diferentes aplicaciones:

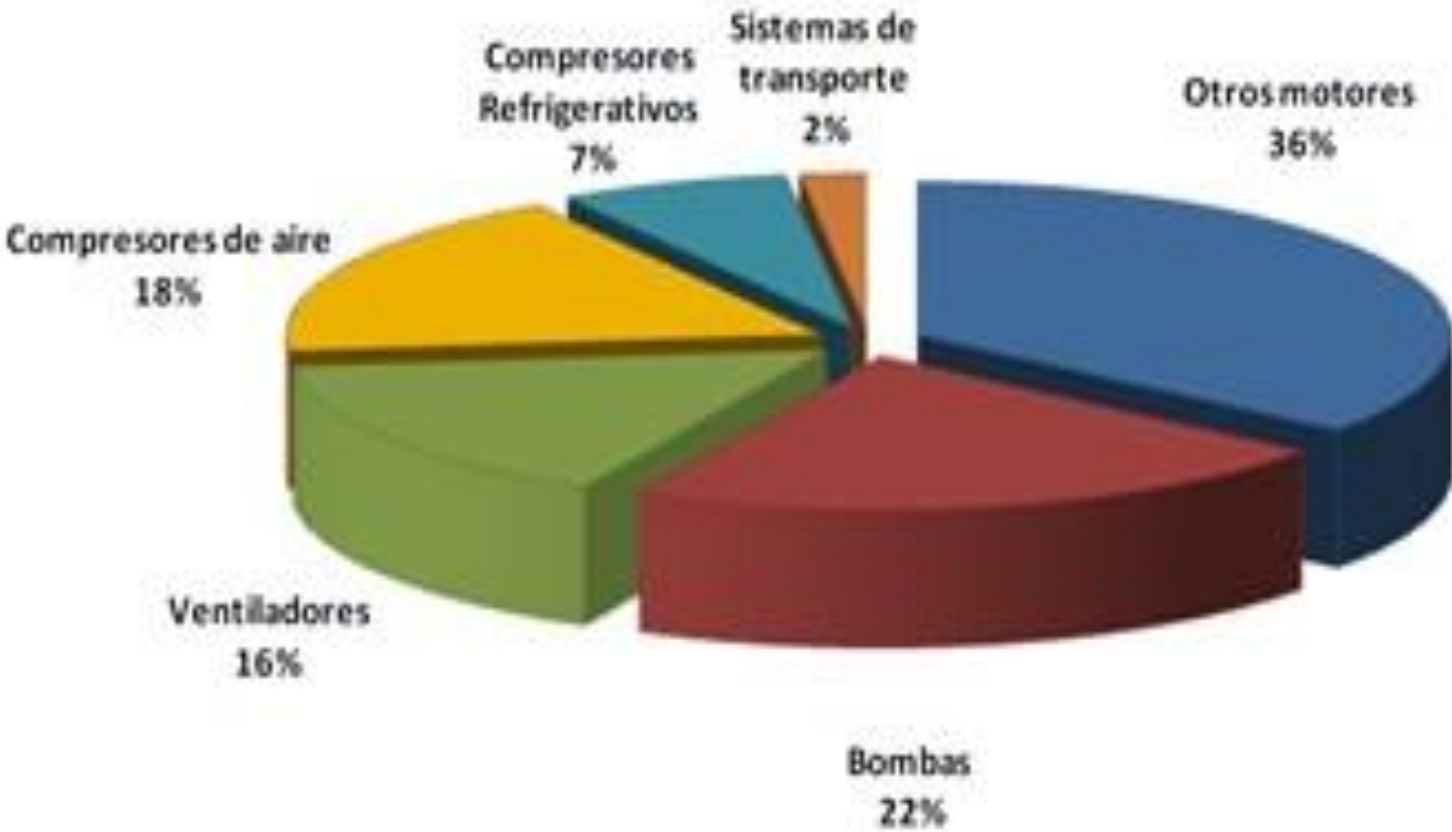
- Transmitir potencia a herramientas neumáticas (pistolas, taladros).
- Limpieza por chorro de arena (arenado).
- Transporte de granulados por ductos.
- Sistemas de control neumático.
- Movimiento de máquinas.
- Suministro de aire como insumo, etc.

Los SAC deben ser cuidadosamente diseñados y operados para :

- 
- Funcionar adecuadamente.
  - Producir a un costo mínimo.
  - Cumplir con los requerimientos de los usuarios.

# M-1: Introducción

El aire comprimido se utiliza en casi todos los tipos de industrias y consume gran parte de la electricidad en algunas plantas.

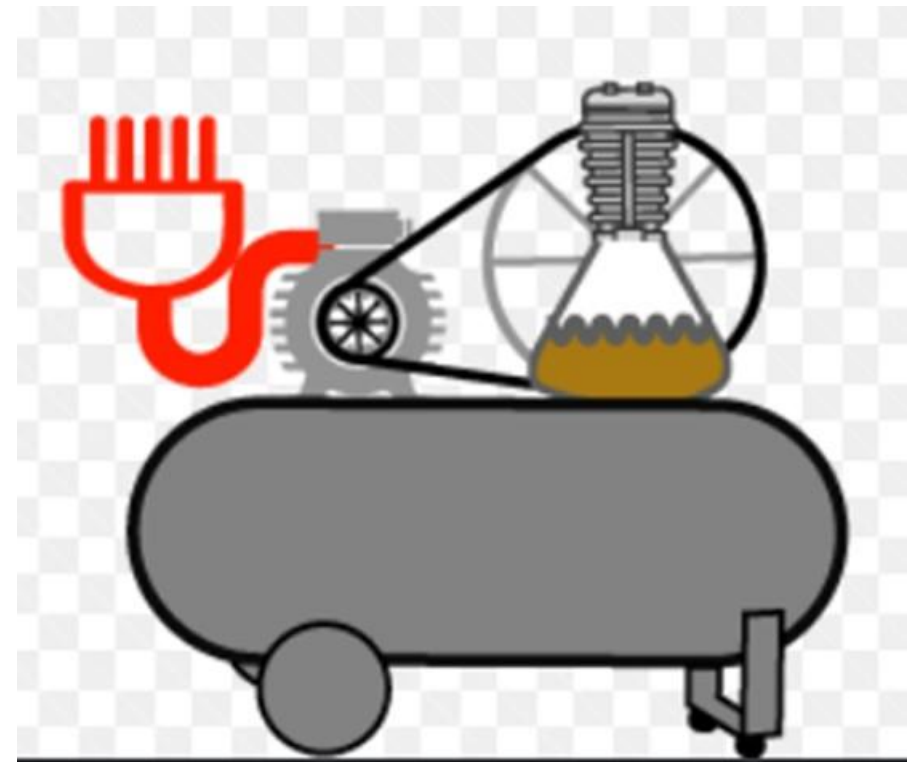


# M-1: Introducción

Los costos que implica instalar y operar un compresor son aproximadamente:

- Equipo e instalación: 12%
- Mantenimiento: 12%
- Electricidad para operar: 76%

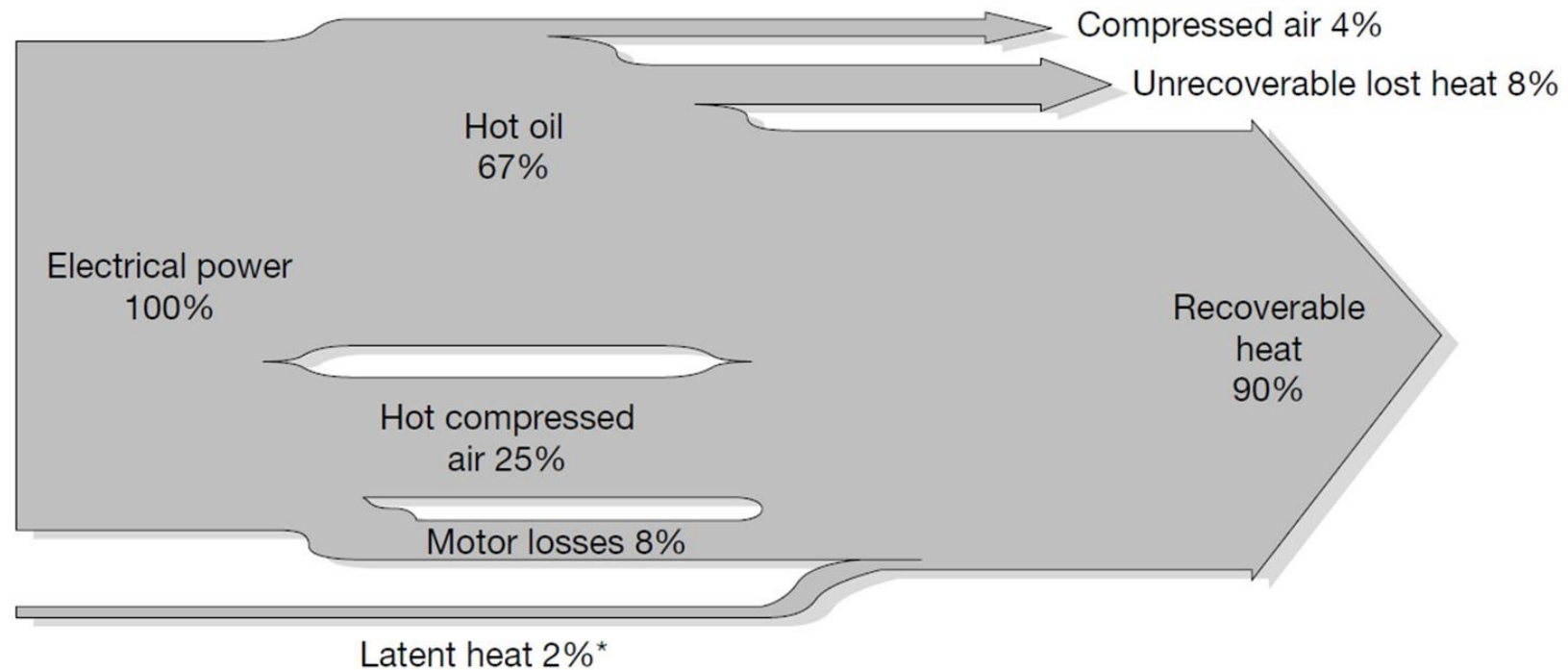
Pensemos en el costo de la energía al adquirir y operar un compresor!



# M-1: Introducción

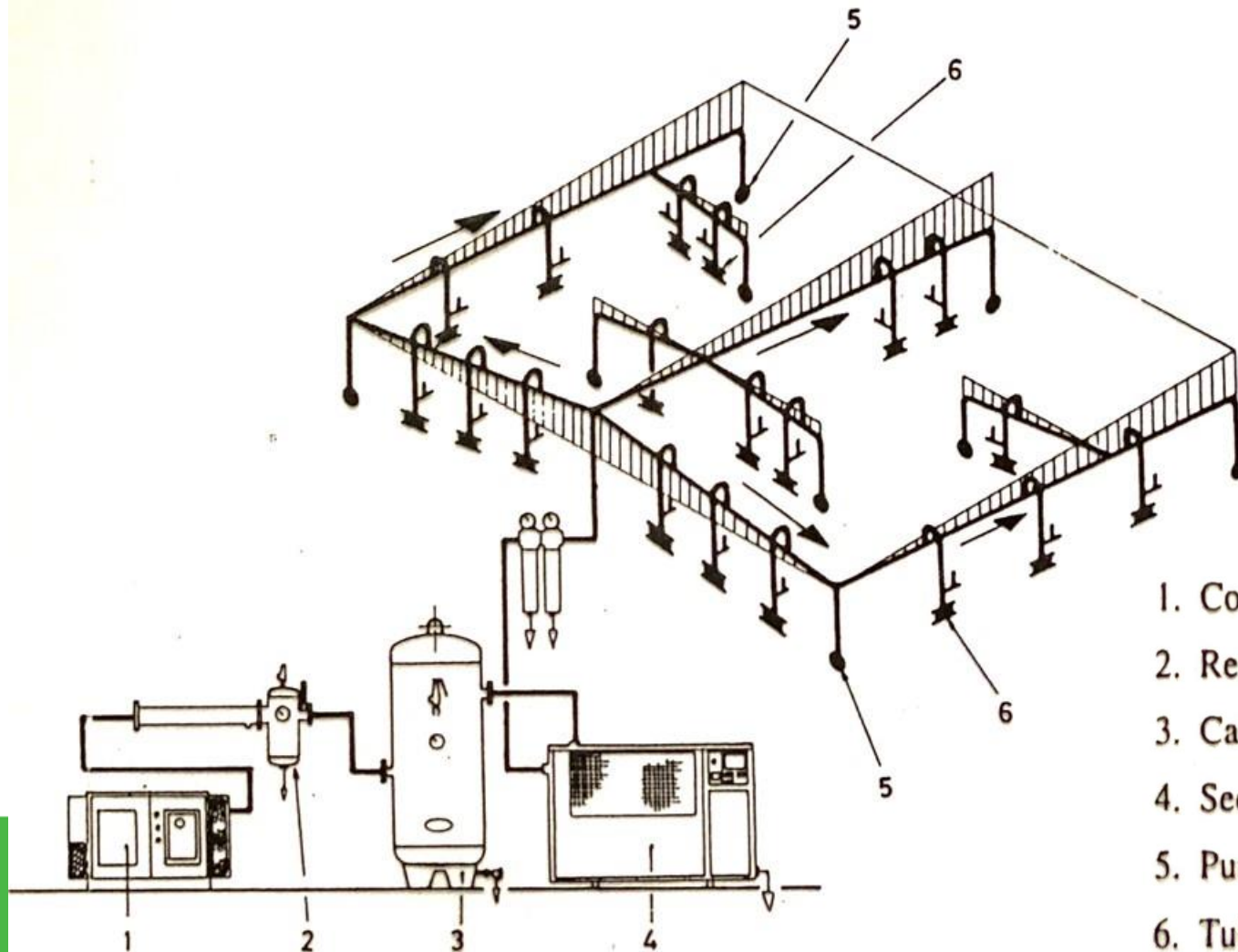
En un compresor típico sólo el 4% de la energía alimentada es aprovechada útilmente para comprimir aire; casi un 90% se pierde como calor (ETSU).

Balancé de energía en un compresor de tornillo lubricado típico



# M-1: Componentes de una red de aire comprimido

## RED DE AIRE COMPRIMIDO EN UNA PLANTA INDUSTRIAL

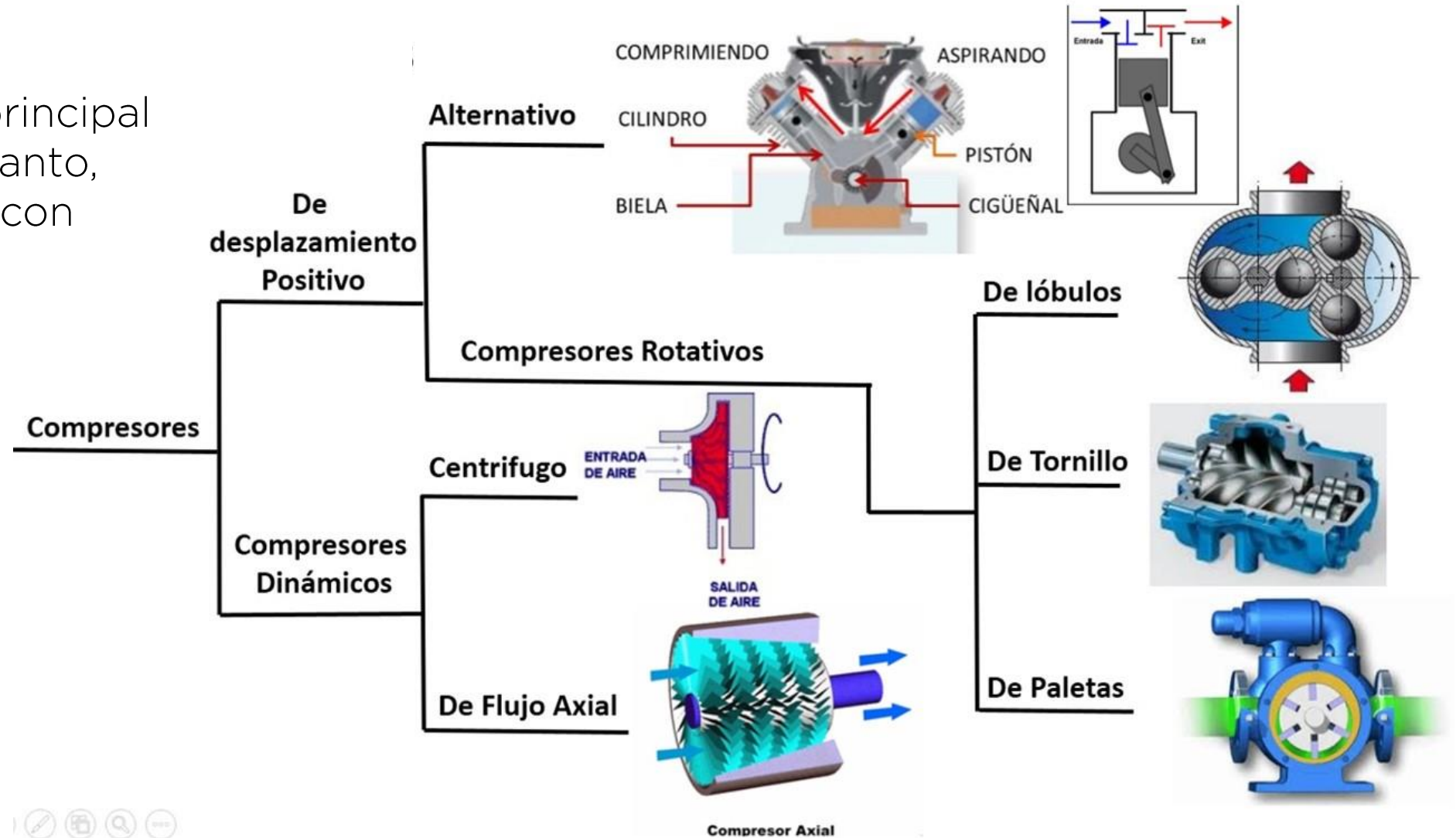


1. Compresor.
2. Refrigerador posterior.
3. Calderín con purga automática.
4. Secador (frigorífico o de adsorción).
5. Purgas en finales de ramal con válvula automática o manual.
6. Tubería de servicio (bajantes) con purga manual y enchufes.

# M-1: Componentes de una red de aire comprimido

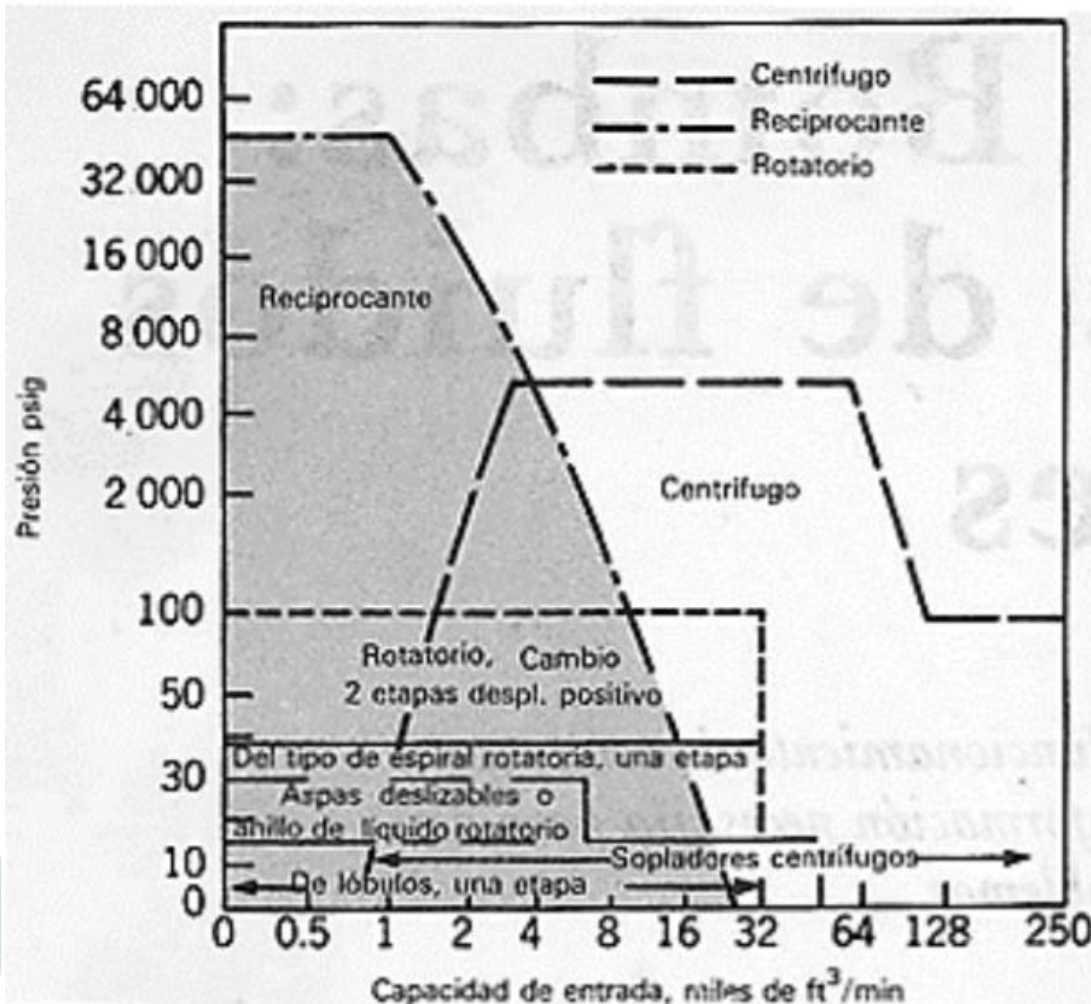
## EL COMPRESOR

Es el componente principal del sistema; por lo tanto, debe seleccionarse con cuidado.





# M-1: Componentes de una red de aire comprimido



Al seleccionar un compresor además de la capacidad y presión debe conocerse su potencia específica.

Tabla 1. Potencia específica de compresores

Tipo de compresor	Potencia específica
De pistones	7,8-8,5 kW/m <sup>3</sup> /min
De tornillo	6,4-7,8 kW/m <sup>3</sup> /min
Centrífugo	5,8-7 kW/m <sup>3</sup> /min

# M-1: Componentes de una red de aire comprimido

## TANQUE DE AIRE

La función del tanque de aire es :

- Amortiguar las pulsaciones del caudal de aire que sale de los compresores alternativos.
- Distanciar los periodos de regulación.
- Hacer frente a las demandas punta de caudal sin que se provoquen caídas de presión.
- Adaptar el caudal de salida del compresor al consumo de aire en la red.



Además enfría el aire y recoge la condensación.

Capacidad mínima: :

- 1 gal/CFM (sist. estable)
- 3 gal/CFM (sist. fluctuante)

# M-1: Componentes de una red de aire comprimido

---

## SECADOR DE AIRE

La función es eliminar la humedad del aire que puede causar problemas como:

- Corrosión de tuberías y partes de equipos.
- Falla de accionamientos neumáticos.
- Errores de medición en instrumentos.
- Degradación del lubricante.
- Pintado defectuoso.
- Obstrucción de boquillas, etc.

Hay 2 tipos de secadores: frigorífico y adsorción.



# M-1: Componentes de una red de aire comprimido

Tabla 11.1. CLASIFICACION DE CALIDADES DE AIRE COMPRIMIDO SEGUN PNEURO P 6611/1984

Calidades recomendadas para diferentes aplicaciones				Tamaño máximo y densidad de partículas		
Aplicación	Clase de calidad			Clase	Tamaño partícula $\mu\text{m}$	Densidad partícula $\text{mg}/\text{m}^3$
	Sólidos	Agua	Aceite			
Aire de agitación	3	5	3	1	0,1	0,1
Aire de almacenamiento	2	2	3	2	1	1
Aire de medición	2	3	3	3	5	5
Motores neumáticos grandes	4	4-1	5	4	40	sin especificar
Motores neumáticos pequeños	3	3-1	3			
Turbinas de aire	2	2	3			
Máquinas de calzado	4	4	5			
Máquinas para áridos y vidrio	4	4	5			
Limpieza de máquinas	4	4	4			
Construcción civil	4	5	5			
Transporte de sustancias granulares	3	4	3			
Transporte de sustancias pulverizadas	2	3	2			
Circuitos de energía fluidica	4	4	4			
Sensores fluidicos	2	2-1	2			
Máquinas de fundición	4	4	5			
Transporte de alimentos y bebidas	2	3	1			
Dispositivos industriales manuales	4	5-4	5-4			
Herramientas de mecanizado	4	3	5			

Punto de rocío a presión (valores máximos)	
Clase	Punto de rocío $^{\circ}\text{C}$
1	- 40 $^{\circ}\text{C}$
2	- 20 $^{\circ}\text{C}$
3	+ 2
4	+ 10
5	sin especificar

Puntos de rocío bajos deben ser prescritos expresamente.

**Contenido máximo de aceite**

## Calidad del aire comprimido:

- El costo del aire depende de su calidad, es importante no exceder los límites requeridos de calidad del usuario.

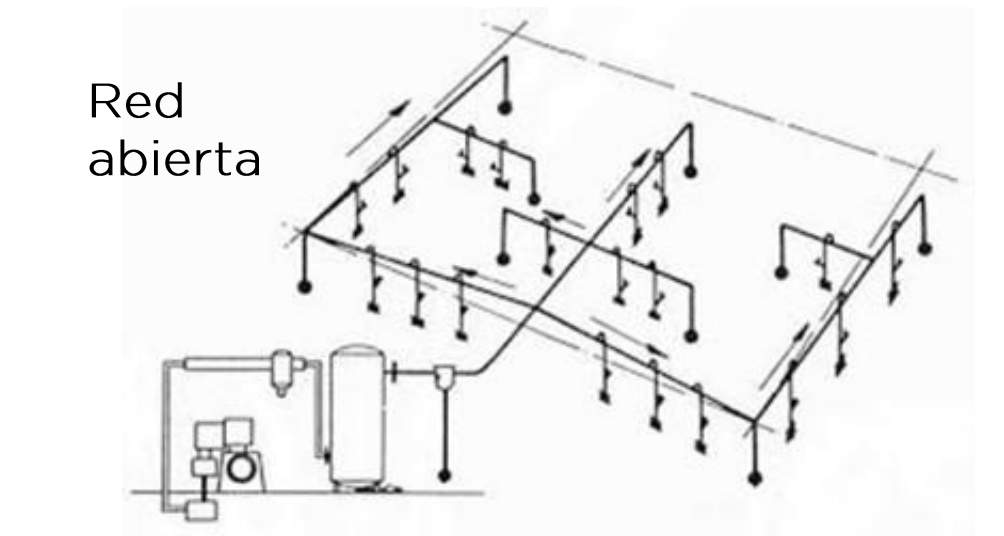
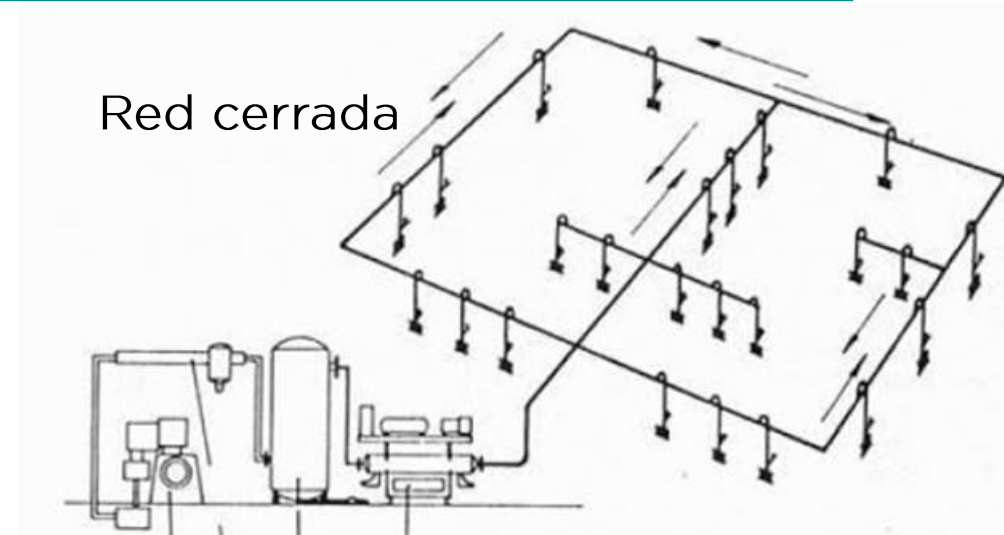
# M-1: Componentes de una red de aire comprimido

## RED DE DISTRIBUCIÓN

La caída de presión por flujo debe ser  $< 2$  psi.  
Considerar:

- Reducir la distancia entre el compresor y el usuario.
- Usar tuberías de tamaño adecuado, con mínimo de accesorios.
- Eliminar fugas (5 % como máximo).
- Velocidad máxima: 8m/s (princ.), 15m/s (sec.).
- Disposición de tuberías: cerrados / abiertos.

La experiencia enseña que los sistemas abiertos responden mejor cuando hay presencia de agua.



# M-1: Componentes de una red de aire comprimido

## SALA DE COMPRESORES

Aspectos importantes de diseño:

### Ventilación:

- Temperatura  $>5^{\circ}\text{C}$  para evitar el congelamiento y corrosión por condensado.
- Compresores enfriados por aire: Temp. Ambiente  $< 35^{\circ}\text{C}$ .

### Cimentación:

- Depende del tamaño y tipo compresor. Cuidado con vibraciones.

### Materiales:

- Usar materiales absorbentes del ruido.
- Pintura reflectante (sol) para reducir calentamiento.

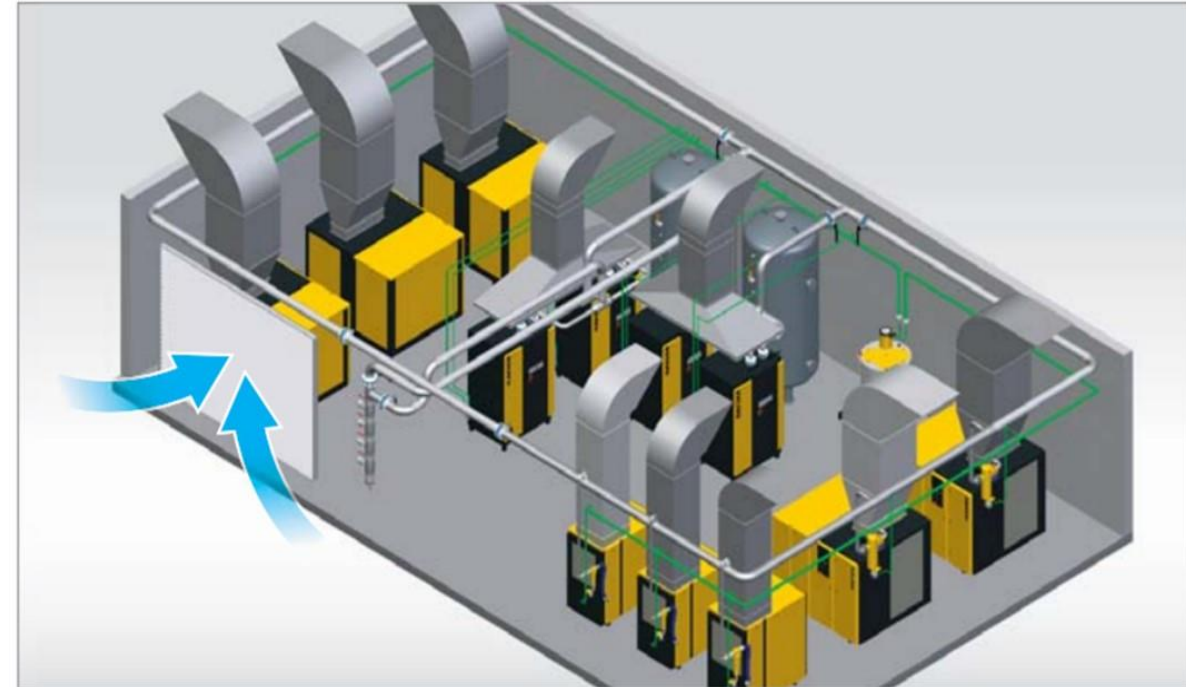


Figura 2: Estación de compresores con sistemas de entrada de aire

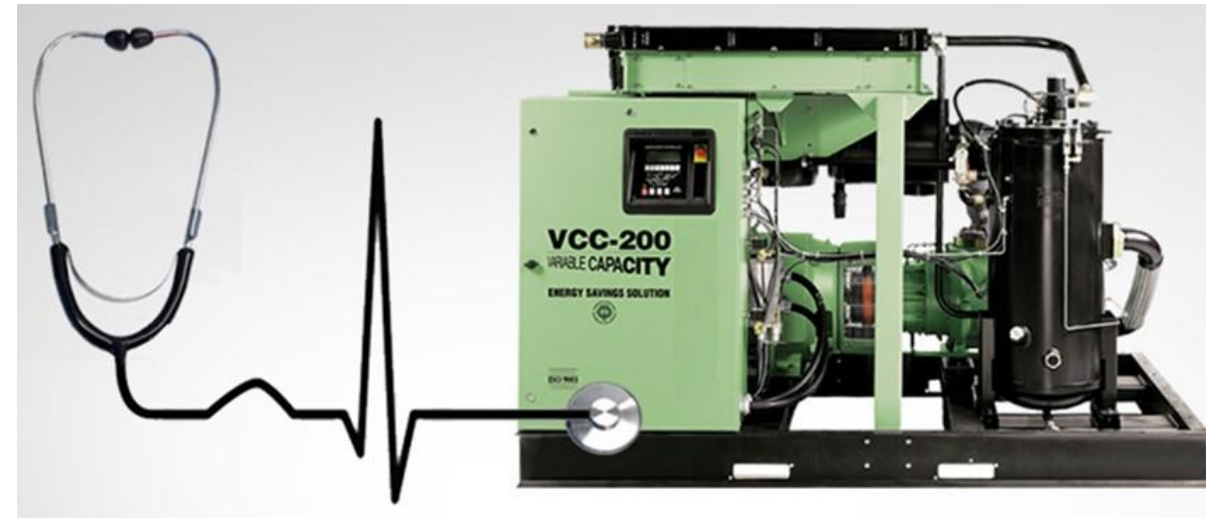
# M-1: Evaluación de una red de aire comprimido

---

## QUE EVALUAR EN LA RED DE AIRE COMPRIMIDO?

Una evaluación integral de la red de aire comprimido debe determinar:

- La producción de aire de los compresores.
- El consumo de energía en kWh.
- El costo anual de operación del sistema.
- Las pérdidas totales de aire debido a fugas.



# M-1: Evaluación de una red de aire comprimido

## QUE EVALUAR EN LA RED DE AIRE COMPRIMIDO?

Se evalúan los componentes individualmente y se identifican los problemas:

- Pérdidas y bajo rendimiento debido a fugas del sistema.
- Uso inapropiado del aire comprimido.
- Eventos de demanda.
- Diseño deficiente del sistema.
- Mal uso del sistema.
- Dinámica total del sistema.



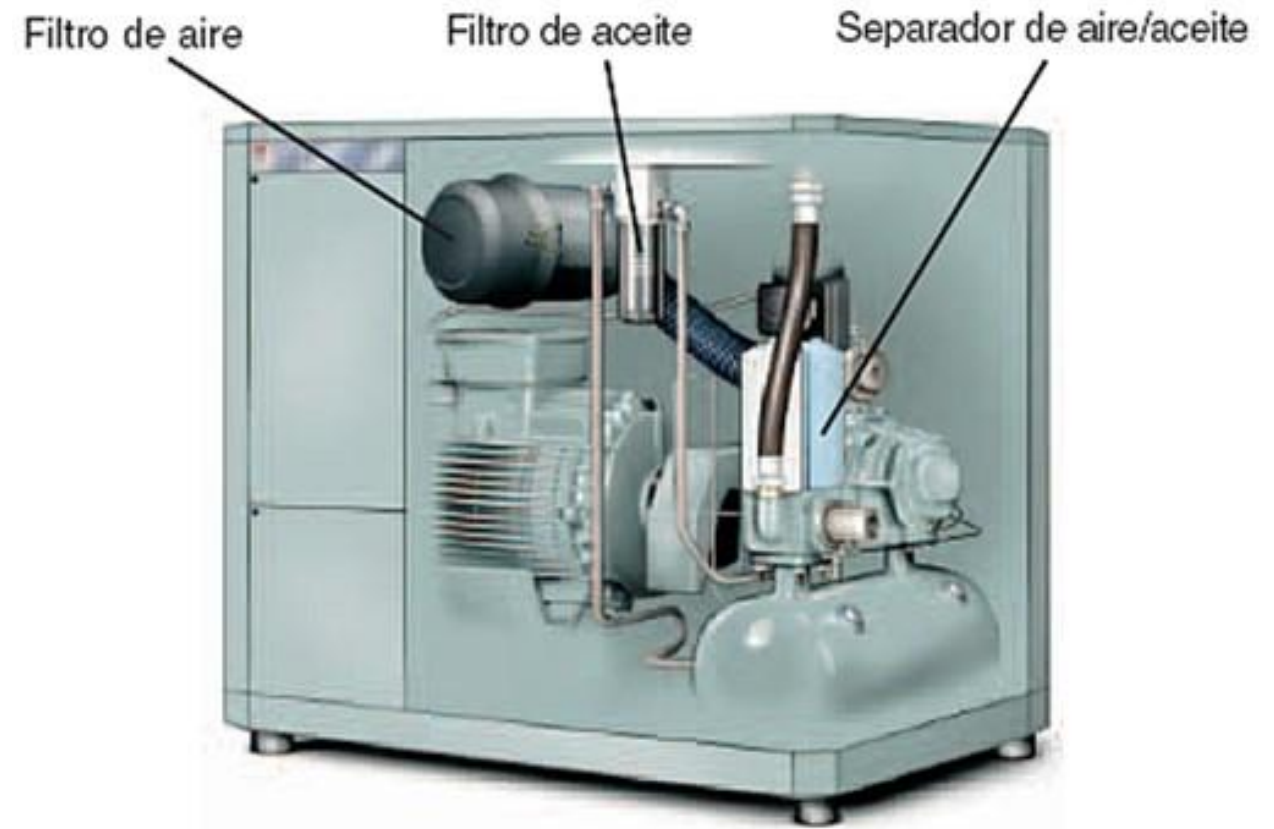
Luego se proponen las medidas para la operación eficiente del sistema



# M-1: Oportunidades de eficiencia energética

## CONTROL DE LA PRESIÓN DE ENTRADA DEL AIRE AL COMPRESOR

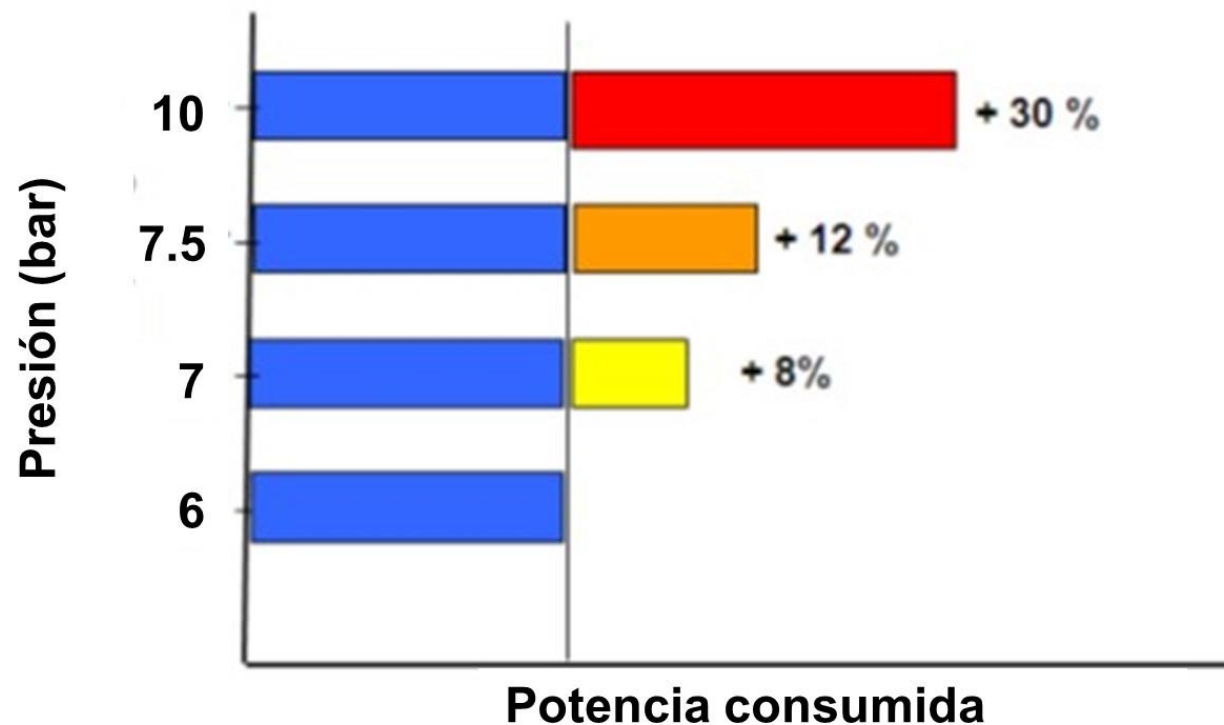
- El aire de entrada debe ser filtrado para no dañar las partes móviles del compresor.
- El filtro de entrada debe mantenerse limpio para evitar caídas de presión que consuman más energía en el compresor.



# M-1: Oportunidades de eficiencia energética

## REDUCIR LA PRESIÓN DE OPERACIÓN DEL COMPRESOR

- Una presión alta de aire requiere un gran consumo de energía en el compresor.
- Los compresores requieren una gran potencia para satisfacer a



# M-1: Oportunidades de eficiencia energética

## REDUCIR LA TEMPERATURA DEL AIRE A LA ENTRADA DEL COMPRESOR

- La energía para comprimir aire fresco es menor que para aire caliente.
- Se puede reducir el consumo de energía trasladando la toma de aire al exterior

Potencia kW	Reducción de la temperatura del aire a la entrada del compresor		
	3 °C	6 °C	10 °C
	kWh/año	kWh/año	kWh/año
4	80	160	264
11	220	440	725
15	300	600	990
30	600	1200	1980
55	1100	2200	3625
75	1500	3000	4950
110	2200	4400	7260

Fuente: TKNika



# M-1: Oportunidades de eficiencia energética

## REDUCIR LAS FUGAS DE AIRE

- Las fugas son un problema serio en las redes de aire comprimido:
  - Aumentan los costos de producción.
  - Se reduce la oferta de aire útil.
  
- En una red sin ningún tipo de control, las fugas pueden ser 20% a 30% del consumo total de aire comprimido.
  
- Con una buena gestión las fugas se reducen a 5% o menos, siendo lo habitual encontrar instalaciones con 10% de fugas.



# M-1: Oportunidades de eficiencia energética

---

## REDUCIR LAS FUGAS DE AIRE

- Las fugas ocurren en:
  - Tuberías
  - Mangueras
  - Conexiones entre tuberías
  - Componentes neumáticos en mal estado, etc.
- Reducir las fugas resulta clave para mejorar la eficiencia del sistema y reducir costos.



# M-1: Oportunidades de eficiencia energética

## REDUCIR LAS FUGAS DE AIRE

Las fugas de aire comprimido tienen un costo:

<b>Diámetro equiv. (mm)</b>	<b>Caudal l/s a 7 bar</b>	<b>Potencia consumida (kW)</b>	<b>Consumo (kWh/año) 6000 h/año</b>	<b>Costo anual (Sol/año) 0.12 Sol/kWh</b>
0.8	0.20	0.10	600	72
1.0	1.00	0.30	1800	216
1.5	3.10	1.00	6000	720
3.0	11.00	3.50	21000	2520
5.0	26.70	8.30	49800	5976
6.0	45.80	15.00	90000	10800
10.0	105.00	37.00	222000	26640



# M-1: Oportunidades de eficiencia energética

---

## REDUCIR LAS FUGAS DE AIRE

Las principales acciones para reducir las fugas son:

- Inspección y mantenimiento sistemático en las tuberías de la red de distribución.
- Aislamiento de las áreas de trabajo no productivas por tiempo prolongado.
- Implementar identificación de fugas por los trabajadores.
- Utilizar mangueras, conectores y racores de buena calidad y en buen estado.



# M-1: Oportunidades de eficiencia energética

## SECTORIZAR POR PRESIÓN DE AIRE

- Aplica en casos donde hay áreas donde la presión de trabajo es mucho menor que en otras.
- Es recomendable diseñar un anillo de distribución alimentado a una presión inferior que el resto de la planta.
- Se consigue un menor consumo de aire por fugas y menor costo de compresión.





# M-1: Oportunidades de eficiencia energética

---

## RACIONALIZAR LA CALIDAD DEL AIRE

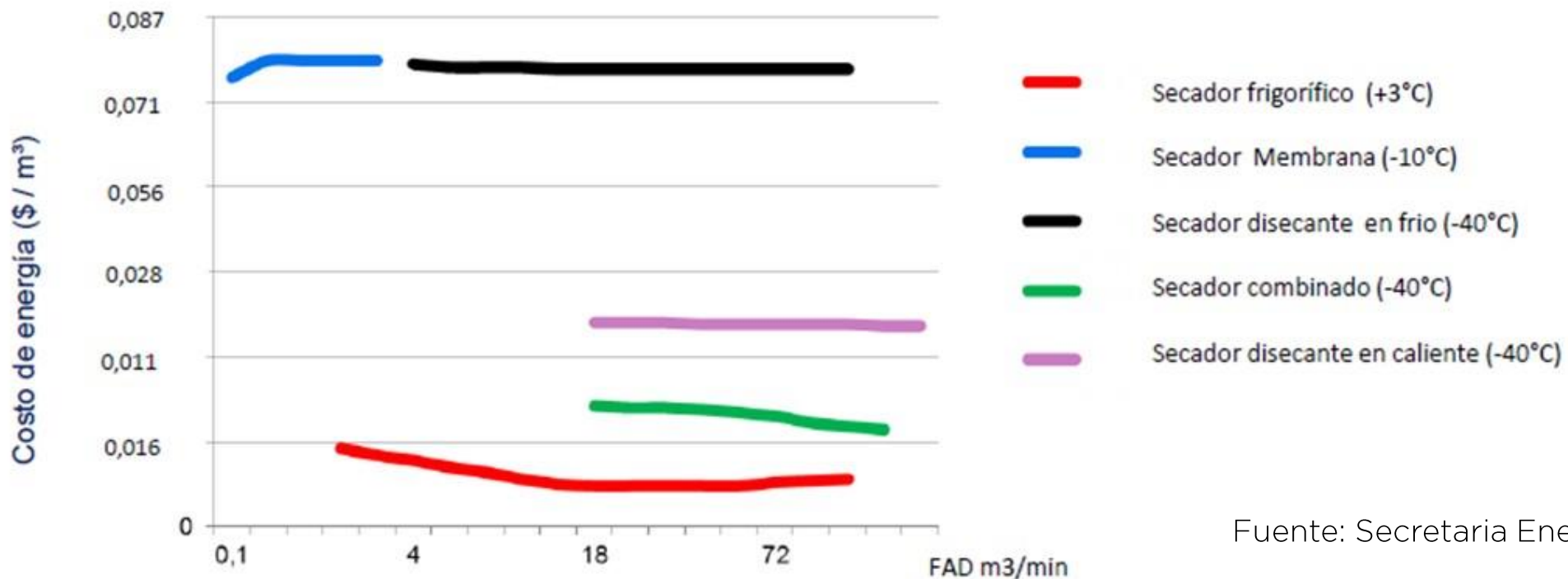
- El costo del aire depende de su calidad, es importante no exceder los límites requeridos de calidad del usuario.
- Cuando se requieren diferentes calidades de aire; es mejor tratar una parte que todo el aire.
- Un ramal antes del secador puede alimentar al usuario de menor calidad de aire.



# M-1: Oportunidades de eficiencia energética

## RACIONALIZAR LA CALIDAD DEL AIRE

### Costos específicos del secado del aire



Fuente: Secretaria Energia de Argentina

Basado en un calculo promedio de potencia especifica de compresor : 6,5 kW/(m³/min) a 7 bar; temperatura ambiente 25 °C

# M-1: Oportunidades de eficiencia energética

---

## RECUPERAR CALOR

- En un compresor industrial un 80-93 % de la energía eléctrica consumida se transforma en calor.
- En muchos casos es factible recuperar 50 a 90 % del calor en forma de agua caliente (90°C) o grandes caudales de aire caliente a una temperatura más baja.
- Recuperar calor no es función del compresor, y ello no debe afectar su funcionamiento.



# M-1: Oportunidades de eficiencia energética

## RECUPERAR CALOR

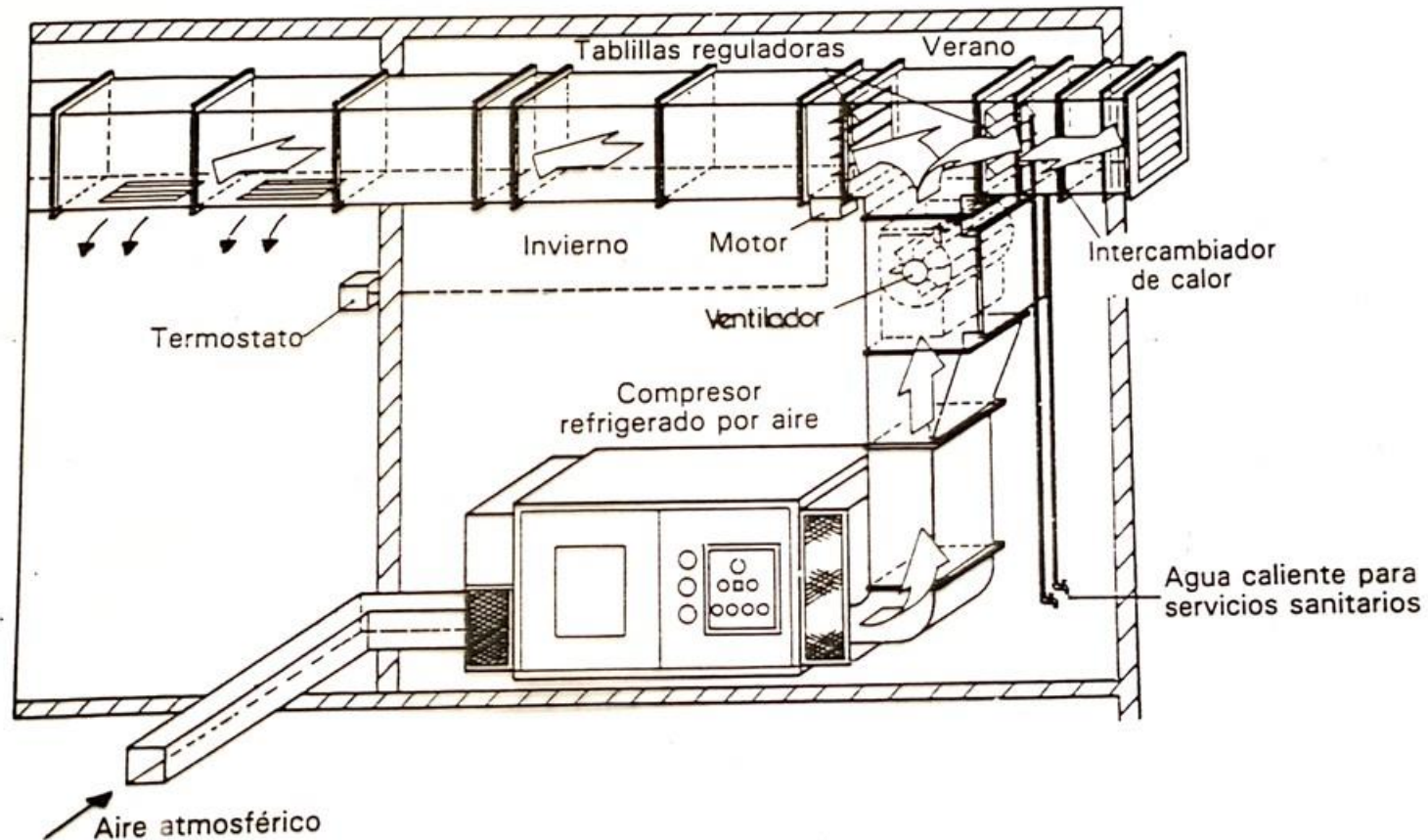


Fig. 20.2. Aprovechamiento del calor en compresores refrigerados por aire



# M-1: Oportunidades de eficiencia energética

## RECUPERAR CALOR

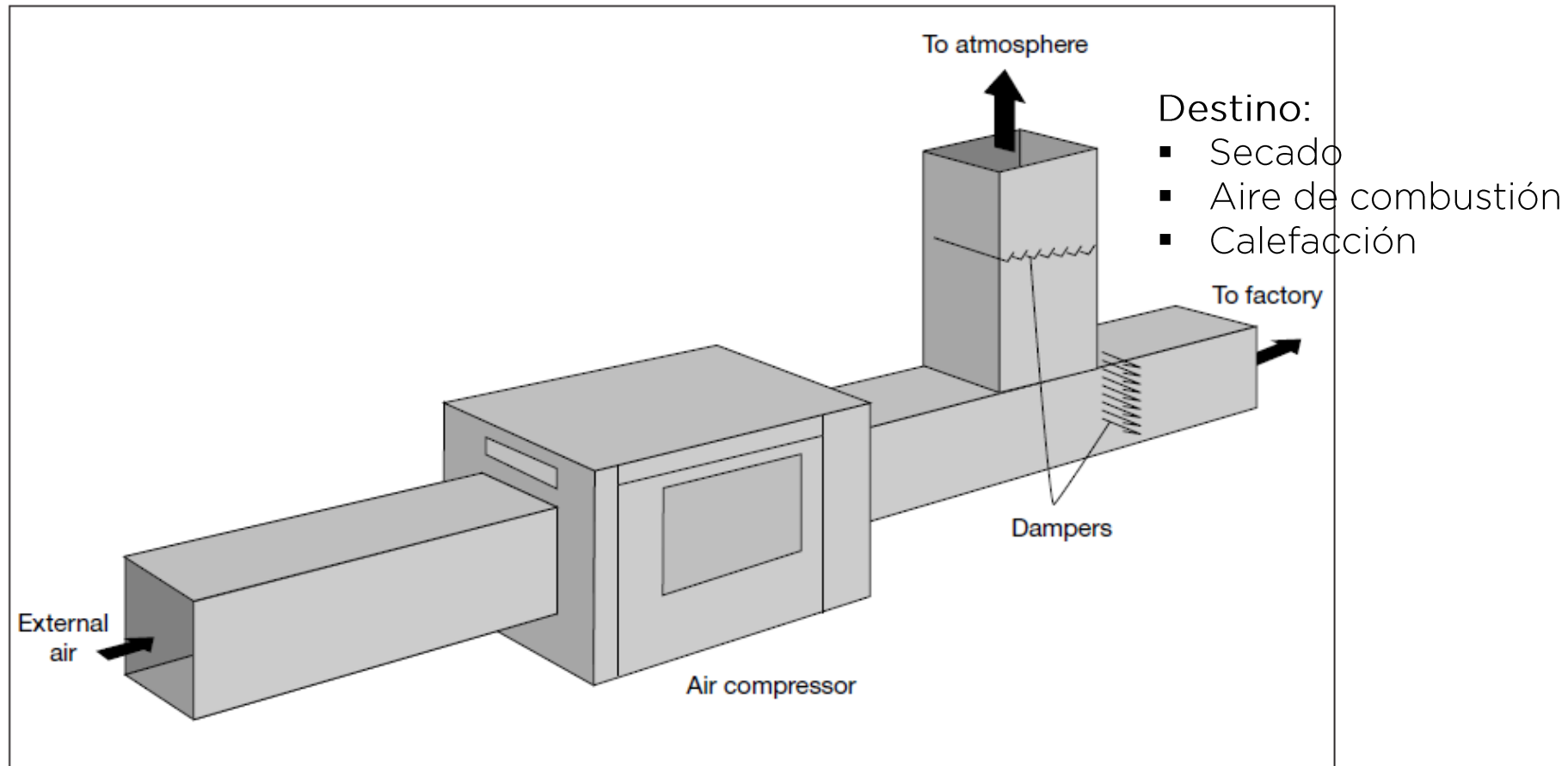


Fig 5 Typical large air-cooled compressor with direct heat recovery



# M-1: Oportunidades de eficiencia energética

## RECUPERAR CALOR

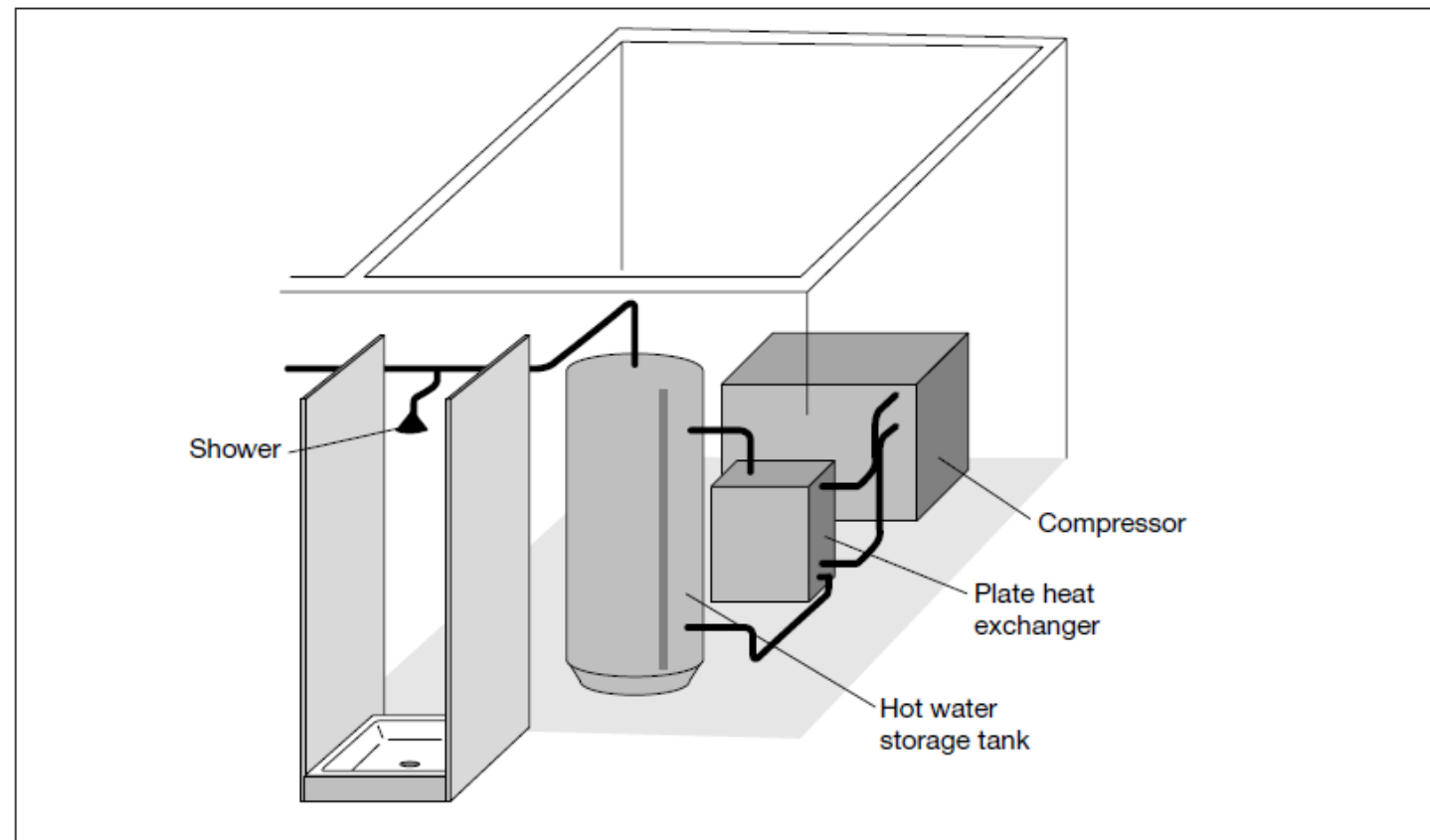


Fig 6 Using a heat exchanger to recover hot water



# M-1: Oportunidades de eficiencia energética

## RECUPERAR CALOR

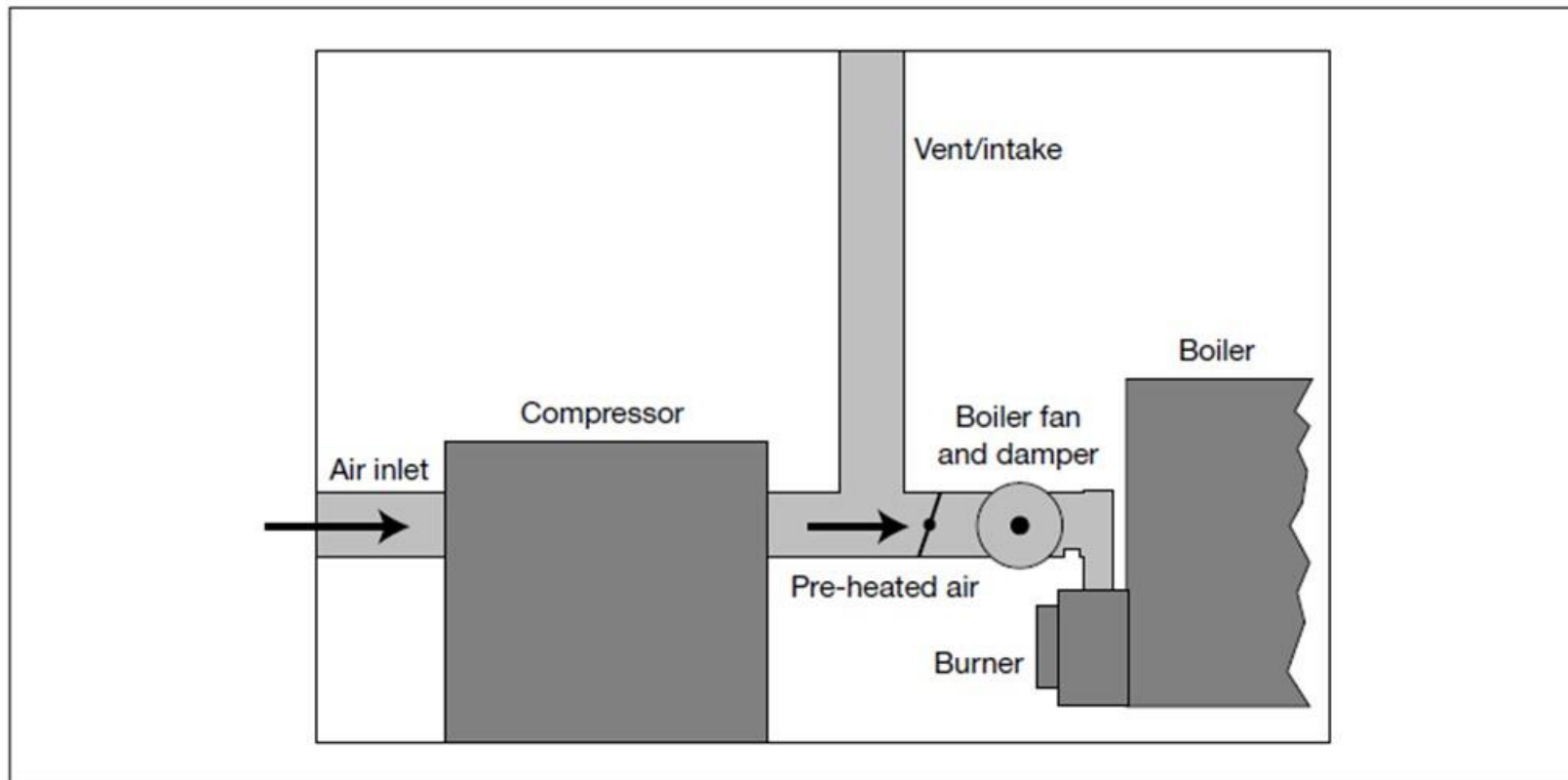


Fig 8 Direct forced draft boiler intake of hot air




# M-1: Oportunidades de eficiencia energética

---

## USAR APROPIADAMENTE EL AIRE

El aire comprimido (AC) es caro; sin embargo por ser fácil de usarlo y estar siempre disponible, se lo usa para aplicaciones que pueden tener opciones más económicas.

- Utilizar aire acondicionado o ventiladores para enfriar gabinetes eléctricos en lugar de AC.
  - Usar bombas de vacío en lugar de Venturi con aire a alta presión.
  - Usar sopladores en lugar de AC para soplar, enfriar, agitar, mezclar o inflar empaques.
  - Utilizar cepillos, aspiradoras, sopladores en vez de AC para limpieza.
  - Emplear aire a baja presión para lanzas de aire, agitación, etc., en lugar de AC.
- 



# M-1: Oportunidades de eficiencia energética

---

## MEJORAR EL CONTROL DEL AIRE DEL COMPRESOR

Hay diferentes tipos de control individual para regulación del flujo de aire del compresor:

- **Control de dos posiciones (on/off)**
  - Control simple.
  - Compresores 30 HP máximo.
  - No apto para arranques frecuentes.
- **Control carga/descarga (load/unload)**
  - El compresor trabaja constante y en vacío cuando la presión llega al setpoint.
  - En vacío consume 15 a 35% de la carga plena (ineficiencia).



# M-1: Oportunidades de eficiencia energética

---

## MEJORAR EL CONTROL DEL AIRE DEL COMPRESOR

- **Controles por etapas (part load)**
  - Operan en 2 o más condiciones de carga parcial, mas cerca del setpoint.
  - Es una mejora del control on/off.
  - Trabajan hasta 5 condiciones de carga (0-25-50-75%), en compresores reciprocantes.
- **Controles modulantes**
  - Trabajan estrangulando el aire en la succión por medios mecánicos.
  - Se emplean en compresores rotatorios y centrífugos.



# M-1: Oportunidades de eficiencia energética

---

## MEJORAR EL CONTROL DEL AIRE DEL COMPRESOR

- **Controles con variadores de frecuencia en motor (VFD).**
  - El VFD varía la frecuencia de la electricidad alimentada al motor y permite  
variar su RPM acoplándose a la demanda de aire.
  - Es una opción de control al adquirir un nuevo compresor o modernizarlo.
  - En compresores rotatorios la presión se mantiene en +/- 1 psi en un amplio  
rango.
  - La frecuencia de arranques se reduce y son más suaves.
  - Se incrementan las pérdidas en el motor (3-5%) en comparación a un  
compresor de velocidad fija.
  - Si los beneficios de regular la demanda superan las pérdidas,  
entonces es

# M-1: Oportunidades de eficiencia energética

## AHORROS POTENCIALES (APROX.) EN AIRE COMPRIMIDO:

- ✓ 6 % Reducción de 1 bar presión
- ✓ 4,5 % Reduciendo fugas por la reducción de presión
- ✓ 20 % Fugas en la red de distribución
- ✓ 3 % Adecuar diámetros de tuberías
- ✓ 10 % Sistema de control eficiente
- ✓ 10 % Equipamiento eficiente

Ahorros adicionales por recuperar calor



# M-1: Casos de estudio

---

## Caso 1: Reducción de la presión en un compresor

Una planta cuenta con un compresor que trabaja a 125 psig y se encontró que 90 psig era una presión suficiente y que no afectaría a los consumidores de aire.

¿Cuánto se ahorraría por el cambio?

### Datos:

Presión de descarga del compresor: 125 psig

Presión modificada: 90 psig

Operación del compresor: 3000 h/año

Potencia del motor: 15.85 kW



# M-1: Casos de estudio

## Caso 1: Reducción de la presión en un compresor

$$\text{Ahorro} = A \times P \times H$$

donde:

A: % ahorro por decremento de presión

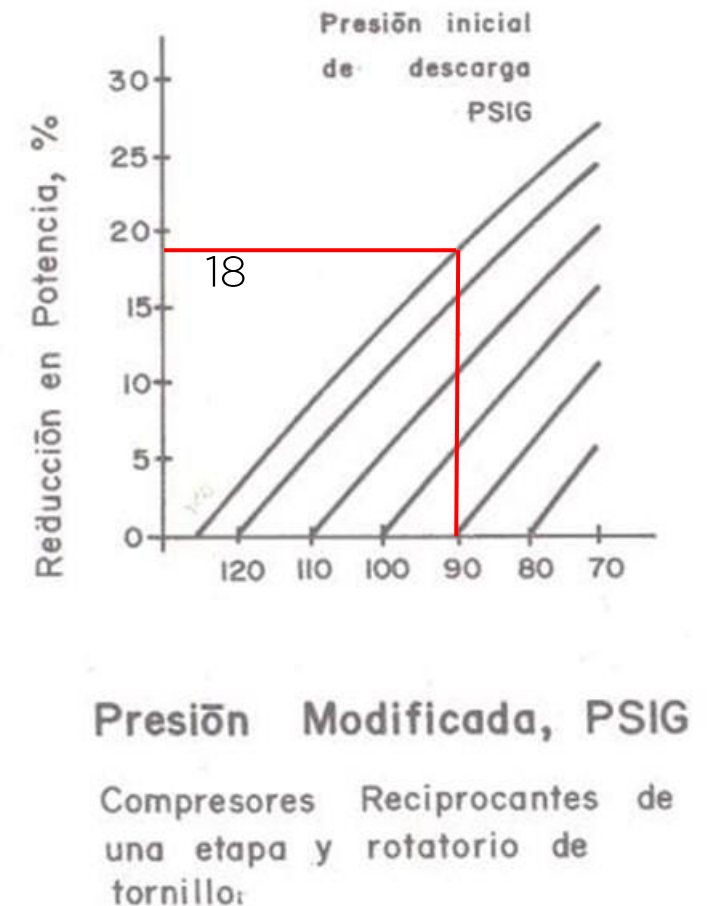
P: Potencia del motor en kW

H: Horas de operación por año

$$\text{Ahorro} = 0.18 \times 15.85 \times 3000 = 8559 \text{ kWh/año}$$

$$\text{Ahorro} = 8559 \text{ kWh/año} \times 0.12 \text{ Sol/kWh} = 1027 \text{ Sol/año}$$

Inversión = “sin costo”



# M-1: Casos de estudio

---

## Caso 2: Eliminar fugas de aire

En una planta de 30 años, se proyectó adquirir un nuevo compresor porque la demanda no se abastecía, no obstante que la producción era la misma. Asimismo los usuarios tenían diferentes requerimientos de calidad de aire.

### Medidas:

- Se realizó evaluación de la red y se determinó que el nivel de fugas era del 25% de la producción de aire.
- Se aplicó un programa de eliminación de fugas y se notó que la demanda ya era abastecida.
- Se derivó un ramal antes del deshumedecedor para el usuario menos exigente (taller).

Ahorro = se evitó la compra del nuevo compresor.

**Muchas gracias.**

**Unidad de Gestión del  
Proyecto**





Zonas Industriales Sostenibles