



Santa Fe

PROVINCIA

Secretaría de Energía de Santa Fe

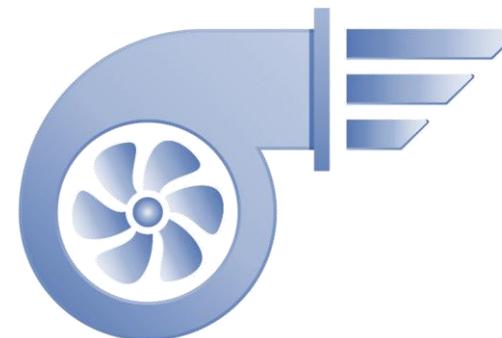
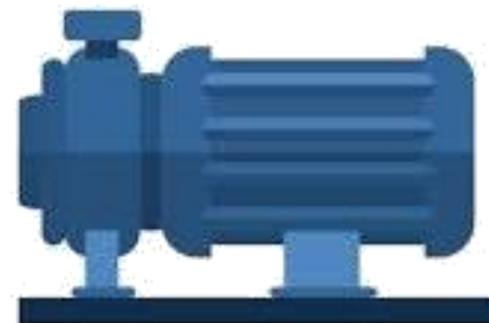
Módulo G

Sistemas de Impulsión de Fluidos

Subsecretaría de Energías Renovables y Eficiencia Energética

Dirección Provincial de Eficiencia Energética

Formación y Actualización de «Gestores Energéticos para la Industria», edición 2024



CONTENIDO

G.1. DEFINICIONES

Características de los fluidos. Ecuación de Balance de Energía Mecánica. Funciones de sistemas hidráulicos.

G.2. IMPULSIÓN DE FLUIDOS LÍQUIDOS

Introducción. Clasificación de bombas hidráulicas. Rendimiento mecánico. Principios de diseño de tuberías. Dimensionamiento: pérdidas de carga mayores y menores. Selección de una bomba y punto de operación.

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

Introducción. Tipos de ventiladores. Principios de diseño de ventilación localizada. Selección de un ventilador y punto de operación. Filtrado de aire.

G.4. OPORTUNIDADES DE MEJORA

Buenas prácticas de diseño de sistemas basados en fluidos mecánicos. Leyes de afinidad y su relación con los VFD.

G.5 ANEXO

Ejemplos de dispositivos. Unidades de Tratamiento de Aire.

G.1. DEFINICIONES

G.1. DEFINICIONES

G.1.1. Características de los fluidos

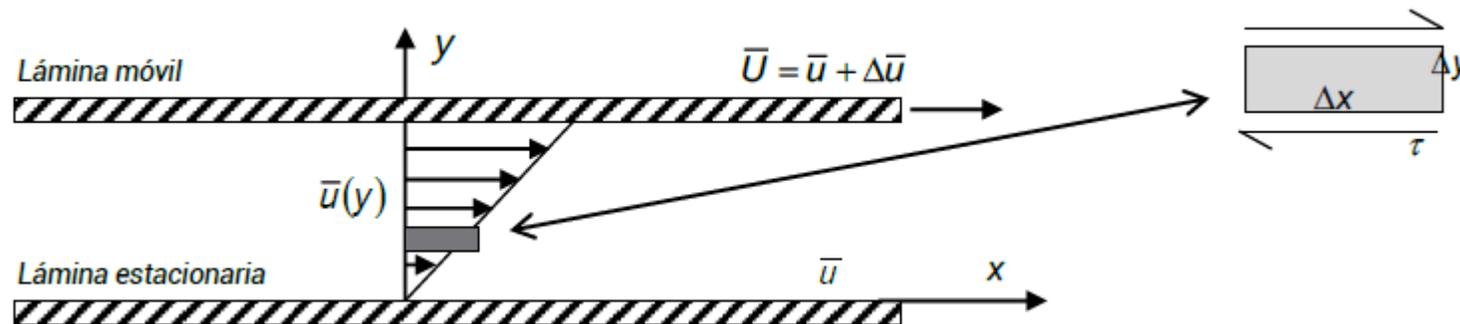
Un fluido es una **sustancia incapaz de resistir fuerzas o esfuerzos de corte sin desplazarse**, mientras que un sólido sí puede hacerlo. Los fluidos se clasifican generalmente en líquidos y gases. Un líquido está sometido a fuerzas intermoleculares que lo mantienen unido de tal manera que su volumen es definido, pero su forma no. Cuando se vierte líquido dentro de un recipiente, ocupará dentro de este un volumen igual al suyo propio sin importar la forma del recipiente. Son apenas compresibles y su densidad varía poco con la temperatura o presión. Un gas, por otra parte, consta de partículas en movimiento que chocan unas con otras y tratan de dispersarse, de modo que un gas no tiene forma o volumen definidos y llenará completamente cualquier recipiente en el cual se lo coloque.

G.1. DEFINICIONES

G.1.1. Características de los fluidos

De todas las propiedades que tienen los fluidos, resulta de particular interés la **viscosidad**.

La viscosidad es esa propiedad de los fluidos que causa fricción. Se debe primordialmente a las interacciones entre las moléculas del fluido. En términos generales, es una medida de la resistencia del fluido al corte cuando el fluido está en movimiento, siendo el efecto disipativo que transforma energía cinética en energía interna.



G.1. DEFINICIONES

G.1.1. Características de los fluidos

Se consideran dos láminas paralelas de gran tamaño con movimiento relativo estable. El fluido entre las láminas tiene un perfil lineal de velocidad (si no existe gradiente de presión a lo largo de las láminas en la dirección del movimiento).

Si se considera un pequeño elemento de fluido (como el de la figura), el esfuerzo cortante τ en la superficie es:

$$\tau = \mu \cdot \frac{d\bar{u}}{dy}$$

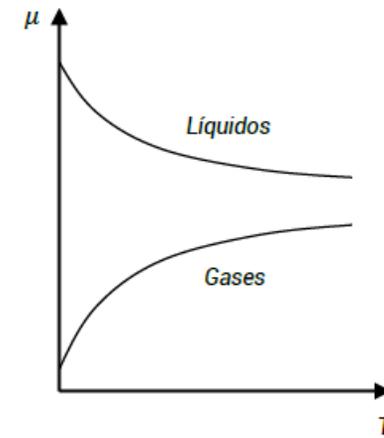
donde μ actúa como una constante de proporcionalidad entre el esfuerzo de corte y el gradiente de velocidad.

G.1. DEFINICIONES

G.1.1. Características de los fluidos

Según sea el fluido, la temperatura influye de manera distinta: **en los líquidos, la viscosidad decrece con la temperatura, mientras que con los gases ocurre a la inversa.** Esto explica por qué **comprimir aire cuesta tanto**: a medida que se comprime, aumenta su temperatura, lo que provoca un aumento de la viscosidad, la cual disipa energía en forma de calor, lo que provoca un mayor aumento de temperatura y así sucesivamente.

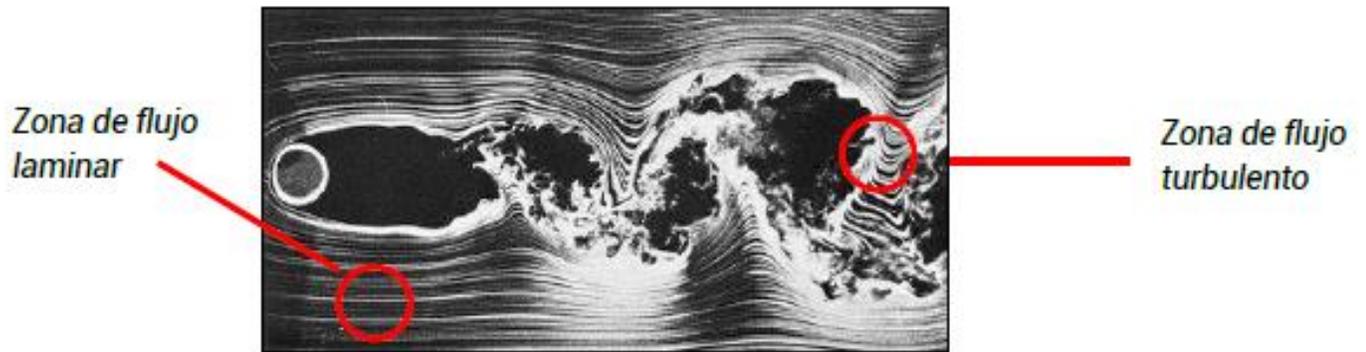
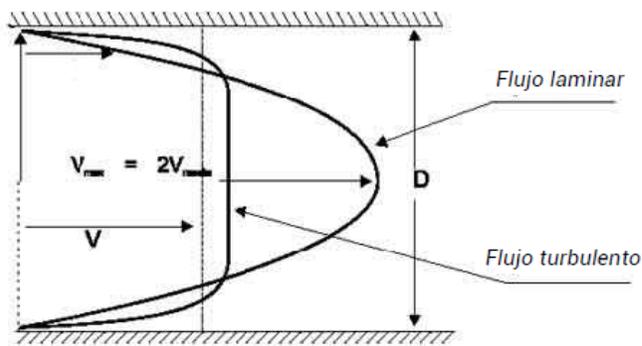
En la figura de la derecha se resume este comportamiento:



G.1. DEFINICIONES

G.1.1. Características de los fluidos

Un flujo laminar (o puramente viscoso) refiere a un fluido que fluye en láminas o capas, en oposición al flujo turbulento, en el cual las componentes de la velocidad tienen fluctuaciones turbulentas al azar que se imponen sobre sus valores medios.



G.1. DEFINICIONES

G.1.2. Ecuación de Balance de Energía Mecánica

Los sistemas en termodinámica pueden clasificarse en aislados (no intercambian materia o energía con su entorno), cerrados (sólo intercambian energía) y abiertos (intercambian materia y energía con el medio ambiente próximo).

En el caso de los dispositivos empleados, la totalidad de ellos operan bajo el concepto de *Sistemas Abiertos*. La aplicación del **1er Principio de la Termodinámica** sobre ellos arroja la siguiente expresión (por unidad de tiempo, en régimen estacionario y con una entrada y una salida), conocida como Ecuación de Balance de Energía:

$$\dot{Q} = \dot{W}_e + \dot{m} \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot (\bar{u}_2^2 - \bar{u}_1^2) + g \cdot (z_2 - z_1) + (h_2 - h_1) \right]$$

G.1. DEFINICIONES

G.1.2. Ecuación de Balance de Energía Mecánica

Esta expresión indica que, para un sistema que intercambia materia y energía con su entorno en régimen estacionario, se cumple que el aporte de calor a un fluido en las condiciones del estado 1 provoca cambios en sus propiedades (estado 2), a lo que se incluye la producción de trabajo. Estas propiedades son: energía cinética, potencial y entalpía.

Este balance es útil para poder calcular todas las potencias en donde intervienen fluidos caloportadores (refrigerantes, vapor e incluso aire comprimido), y es fundamental para el diseño y dimensionamiento a partir de lo que los procesos industriales necesitan.

Sin embargo, para fluidos cuya función es principalmente mecánica, esta expresión no es suficiente. Para ello se emplea la Ecuación de Balance de **Energía Mecánica**.

G.1. DEFINICIONES

G.1.2. Ecuación de Balance de Energía Mecánica

Junto con la Ecuación de Conservación de la Masa (alias, Continuidad), la Ecuación de Balance de Energía Mecánica permite reflejar el cambio de propiedades para un fluido cuyo fin no es transportar energía térmica, sino mecánica.

Así, entre dos estados de un sistema mecánico, el comportamiento del fluido en cuestión se puede modelizar a partir de lo siguiente (en forma diferencial):

$$\frac{1}{2} \cdot (\bar{u}_2^2 - \bar{u}_1^2) + g \cdot (z_2 - z_1) + \int_1^2 v \cdot dp + w_e + L = 0$$

Ya no figuran magnitudes de origen térmico (se conserva la energía cinética, potencial y el trabajo en el eje), aunque aparecen otras dos *nuevas*:

G.1. DEFINICIONES

G.1.2. Ecuación de Balance de Energía Mecánica

Por un lado aparece una integral entre el volumen específico y el diferencial de presión. Para poder resolver esta integral debe estudiarse el proceso existente entre ambas magnitudes. Aquí es cuando aparece la principal diferencia a la hora de tratar con líquidos y gases. Para el primer caso, la hipótesis de incompresibilidad es posible de aplicar, con lo cual la integral se resuelve en un producto. Pero, a la hora de tratar con gases (como en ventiladores o compresores), debe resolverse el proceso: aquí, lo más apropiado es identificar al proceso adiabático como ideal para esta resolución. En resumen:

$$\text{líquidos: } \int_1^2 v \cdot dp \approx v \cdot (p_2 - p_1)$$

$$\text{gases: } \int_1^2 v \cdot dp; p \cdot V^\gamma = cte$$

G.1. DEFINICIONES

G.1.2. Ecuación de Balance de Energía Mecánica

El otro término que figura, L , es una magnitud que recoge todas las disipaciones que ocurren producto de que el fluido debe ser transportado por tuberías o ductos y obligado a atravesar accesorios hidráulicos (codos, válvulas, entre otros). Este concepto es el de pérdidas de carga, fundamental a la hora de diseñar y dimensionar sistemas hidráulicos, pudiendo representar más del 10 % del consumo de energía.

Todos los cálculos obtenidos en las ecuaciones de balance reflejan la energía útil que requiere el fluido para pasar del estado 1 al 2; todo el adicional de energía sobre lo útil es producto de: mejoras en el uso racional de los sistemas; tecnología no perfecta. La Eficiencia Energética se trata de acercar la realidad a los resultados de estas ecuaciones.

G.1. DEFINICIONES

G.1.3. Funciones de sistemas hidráulicos

Un sistema hidráulico es un sistema energético que tiene como fin que el fluido requerido (agua, aceite, aire, petróleo, dulce de leche) llegue con las propiedades y condiciones necesarias para lo demandado por el próximo proceso o etapa.

El conjunto de dispositivos mecánicos que conforman la tecnología que tiene un sistema hidráulico se denomina «instalación de bombeo». Una instalación de bombeo se compone tanto de los sistemas activos de impulsión (bombas hidráulicas, ventiladores) como de los sistemas pasivos de transporte y distribución (tuberías o ductos y accesorios hidráulicos, como válvulas y codos, entre otros).

G.1. DEFINICIONES

G.1.3. Funciones de sistemas hidráulicos

El principal elemento para el transporte y distribución de los fluidos en una instalación de bombeo son los sistemas de tuberías, los cuales suelen incluir numerosas conexiones en paralelo y en serie.

Un proyecto de tuberías puede implicar el diseño de un nuevo sistema o la expansión de uno existente y, en cualquiera de los casos, deben analizarse parámetros tanto técnicos como económicos, financieros y hasta sociales (según el fin del propio sistema hidráulico).

Teniendo presente el objetivo de estos sistemas energéticos, lo que se busca siempre es que el sistema de tuberías sea capaz de entregar los caudales especificados a las presiones demandadas **minimizando el costo total** (por lo menos, el de la suma de los costos de O&M).

G.2. IMPULSIÓN DE FLUIDOS LÍQUIDOS

G.2. IMPULSIÓN DE FLUIDOS LÍQUIDOS

G.2.1. Introducción

Para poder dotar de la cantidad de fluido necesitada y las propiedades deseadas, es necesario un sistema que permita pasar del estado 1 al 2. Este estará compuesto de: una bomba hidráulica, un sistema de tuberías y los accesorios hidráulicos pertinentes.

El objetivo del método será el de calcular la energía necesaria para llevar del líquido del estado 1 al 2 con la configuración del sistema elegida (o diseñada). Esto significará poder calcular las pérdidas de carga mayores (tuberías) y menores (accesorios), más los cambios de energía cinética y potencial que nos permitan determinar cuánta energía por kg de fluido será necesaria (**despejar w_e de la Ecuación de Balance de Energía Mecánica**). Luego, junto, podremos determinar el punto de operación según la bomba elegida y zona de trabajo estable.

G.2. IMPULSIÓN DE FLUIDOS LÍQUIDOS

G.2.2. Clasificación de bombas hidráulicas

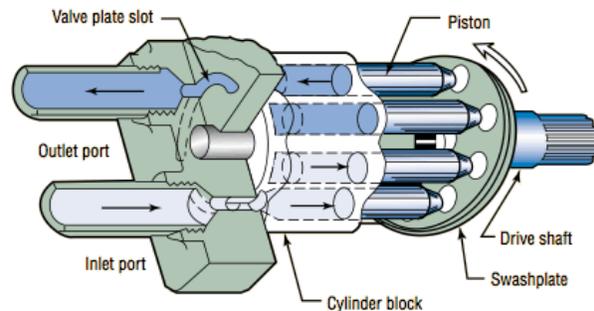
En las bombas de desplazamiento positivo, el fluido es obligado a desplazarse hacia adentro de un volumen cerrado, forzándolo por medio de mecanismos como engranajes, lóbulos, aspas o pistones. Logran aumentos importantes de presión normalmente a bajos caudales. Dado que su diseño permite un acceso fácil para limpieza y mantenimiento, son muy empleadas con líquidos viscosos.

Bombas hidráulicas según su principio de funcionamiento	Desplazamiento positivo	Recíprocantes (también llamadas de movimiento alternativo)		Pistón
				Diafragma
		Rotatorias	Rotor simple	Aspas
				Pistón
				Elemento flexible (peristáltica)
				Tornillo
				Engranajes
		Rotor múltiple	Lóbulos	
			Balancines	
			Tornillos	
	Lineales			
	De cadena			
	Rotodinámicas	Centrifugas	Radial	Impulsor abierto
				Impulsor semi-abierto
				Impulsor cerrado
Axial		Impulsor abierto		
		Impulsor cerrado		
Mixto		Según impulsor		
Periféricas		Paso único		
		Paso múltiple		
Especiales		Electromagnéticas		

G.2. IMPULSIÓN DE FLUIDOS LÍQUIDOS

G.2.2. Clasificación de bombas hidráulicas

Las bombas reciprocantes son un tipo de bombas de desplazamiento positivo que, por la acción de un mecanismo de pistón, émbolo o diafragma descargan una cantidad definida de líquido durante el movimiento de pistón o embolo a través de la distancia de carrera (fig).



Bomba de pistón

Bombas hidráulicas según su principio de funcionamiento	Desplazamiento positivo	Reciprocantes (también llamadas de movimiento alternativo)		Pistón
				Diafragma
		Rotatorias	Rotor simple	Aspas
				Pistón
				Elemento flexible (peristáltica)
				Tornillo
				Engranajes
		Rotor múltiple		Lóbulos
				Balancines
				Tornillos
	Lineales			
				De soga o cuerda
			De cadena	
Rotodinámicas	Centrifugas	Radial	Impulsor abierto	
			Impulsor semi-abierto	
			Impulsor cerrado	
		Axial	Impulsor abierto	
			Impulsor cerrado	
			Mixto	Según impulsor
	Periféricas		Paso único	
			Paso múltiple	
Especiales		Electromagnéticas		

G.2. IMPULSIÓN DE FLUIDOS LÍQUIDOS

G.2.2. Clasificación de bombas hidráulicas

En las bombas rotatorias de desplazamiento positivo, los elementos rotatorios de la bomba (que pueden ser principalmente engranajes, paletas, tornillos o lóbulos) crean una baja presión a la entrada de la bomba, obligando al líquido a ingresar y dejándolo atrapado en la carcasa para que, en la siguiente rotación, sea bombeado al punto de descarga.

Bombas hidráulicas según su principio de funcionamiento	Desplazamiento positivo	Reciprocantes (también llamadas de movimiento alternativo)		Pistón
				Diafragma
		Rotatorias	Rotor simple	Aspas
				Pistón
				Elemento flexible (peristáltica)
				Tornillo
				Engranajes
		Rotor múltiple	Lóbulos	
			Balancines	
			Tornillos	
	Lineales			
	De soga o cuerda			
	Rotodinámicas	Centrifugas	Radial	Impulsor abierto
				Impulsor semi-abierto
				Impulsor cerrado
Axial			Impulsor abierto	
			Impulsor cerrado	
			Según impulsor	
Periféricas		Paso único		
		Paso múltiple		
Especiales		Electromagnéticas		

G.2. IMPULSIÓN DE FLUIDOS LÍQUIDOS

G.2.2. Clasificación de bombas hidráulicas



Bomba de lóbulo de rotor doble

Bomba de engranaje interno con rotor doble



Bomba de tornillo con rotor doble



Bombas hidráulicas según su principio de funcionamiento	Desplazamiento positivo	Reciprocantes (también llamadas de movimiento alternativo)		Pistón
				Diafragma
		Rotatorias	Rotor simple	Aspas
				Pistón
				Elemento flexible (peristáltica)
				Tornillo
				Tornillo
		Rotor múltiple		Engranajes
				Lóbulos
				Balancines
	Tornillos			
	Tornillos			
	Lineales		De soga o cuerda	
			De cadena	
Rotodinámicas	Centrifugas	Radial	Impulsor abierto	
			Impulsor semi-abierto	
			Impulsor cerrado	
		Axial	Impulsor abierto	
			Impulsor cerrado	
			Según impulsor	
	Periféricas		Paso único	
			Paso múltiple	
	Especiales		Electromagnéticas	

G.2. IMPULSIÓN DE FLUIDOS LÍQUIDOS

G.2.2. Clasificación de bombas hidráulicas

En las máquinas rotodinámicas no hay un volumen cerrado, sino que los álabes rotatorios de la bomba le imprimen energía al fluido. Aquí, el impulsor (el rodete con los álabes) le imparte velocidad y presión a medida que se desplaza por él. El impulsor gira a altas velocidades, proyectando el fluido desde el centro hacia afuera, convirtiendo la velocidad en cambio de presión. Son las más empleadas.

Bombas hidráulicas según su principio de funcionamiento	Desplazamiento positivo	Reciprocantes (también llamadas de movimiento alternativo)		Pistón
				Diafragma
		Rotatorias	Rotor simple	Aspas
				Pistón
				Elemento flexible (peristáltica)
				Tornillo
			Rotor múltiple	Engranajes
				Lóbulos
				Balancines
			Tornillos	
	Lineales		De soga o cuerda	
			De cadena	
	Rotodinámicas	Centrifugas	Radial	Impulsor abierto
				Impulsor semi-abierto
				Impulsor cerrado
		Axial	Impulsor abierto	
			Impulsor cerrado	
		Mixto	Según impulsor	
Periféricas		Paso único		
		Paso múltiple		
Especiales		Electromagnéticas		

G.2. IMPULSIÓN DE FLUIDOS LÍQUIDOS

G.2.2. Clasificación de bombas hidráulicas

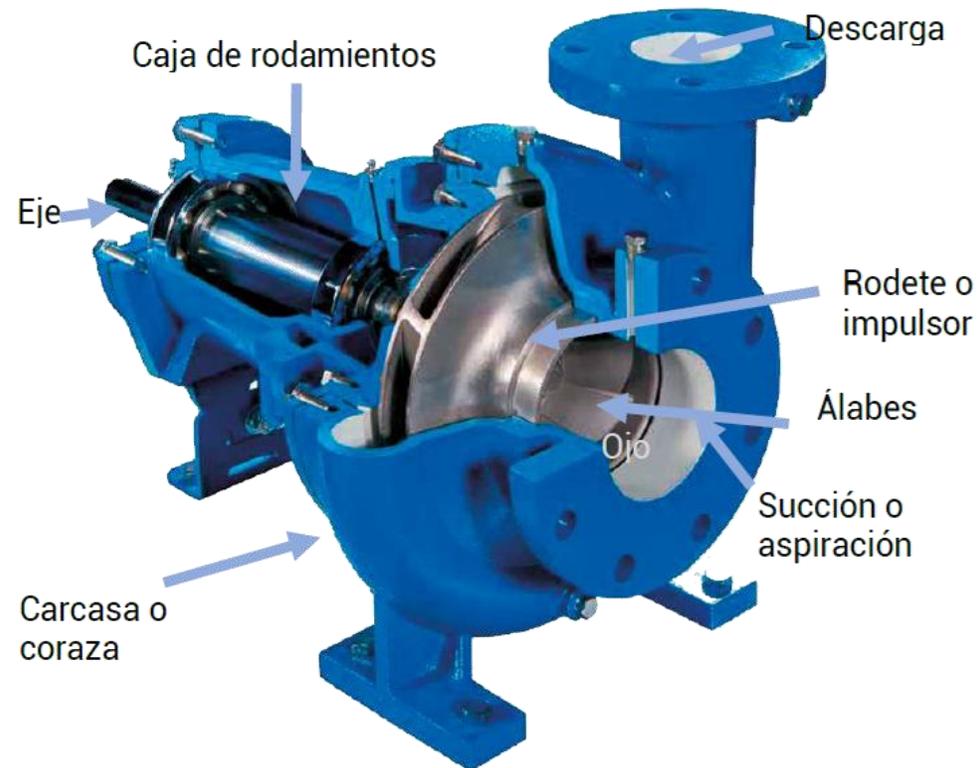
Las bombas centrífugas son un tipo de bomba rotatoria en la cual se incrementa la energía cinética del fluido mediante un rodete o impulsor, aprovechando la fuerza centrífuga y transformándola en aumento de presión a un caudal determinado.

Los principales componentes de una bomba centrífuga son:

Bombas hidráulicas según su principio de funcionamiento	Desplazamiento positivo	Recíprocantes (también llamadas de movimiento alternativo)		Pistón
				Diafragma
		Rotatorias	Rotor simple	Aspas
				Pistón
				Elemento flexible (peristáltica)
				Tornillo
				Engranajes
		Rotor múltiple	Lóbulos	
			Balancines	
			Tornillos	
	Lineales			
	De soga o cuerda			
	Rotodinámicas	Centrífugas	Radial	Impulsor abierto
				Impulsor semi-abierto
				Impulsor cerrado
Axial			Impulsor abierto	
			Impulsor cerrado	
Mixto			Según impulsor	
Periféricas		Paso único		
		Paso múltiple		
Especiales		Electromagnéticas		

G.2. IMPULSIÓN DE FLUIDOS LÍQUIDOS

G.2.2. Clasificación de bombas hidráulicas



Bombas hidráulicas según su principio de funcionamiento	Desplazamiento positivo	Reciprocantes (también llamadas de movimiento alternativo)		Pistón
				Diafragma
		Rotatorias	Rotor simple	Aspas
				Pistón
				Elemento flexible (peristáltica)
				Tornillo
			Rotor múltiple	Engranajes
				Lóbulos
				Balancines
				Tornillos
	Lineales		De soga o cuerda	
			De cadena	
	Rotodinámicas	Centrifugas	Radial	Impulsor abierto
				Impulsor semi-abierto
Impulsor cerrado				
		Axial	Impulsor abierto	
Impulsor cerrado				
		Mixto	Según impulsor	
Periféricas		Paso único		
		Paso múltiple		
Especiales		Electromagnéticas		

G.2. IMPULSIÓN DE FLUIDOS LÍQUIDOS

G.2.2. Clasificación de bombas hidráulicas

El fluido ingresa aspirado y fluye desde el ojo del rodete radialmente hacia los extremos del impulsor. A medida que el motor trabaja, el movimiento del rodete transforma la energía cinética del agua en fuerza centrífuga y luego en aumento de presión. Esto provoca que el fluido del rodete tenga $p < p_{atm}$, generando la aspiración. Luego, el fluido egresa de la bomba con una presión superior a la de ingreso.

Bombas hidráulicas según su principio de funcionamiento	Desplazamiento positivo	Reciprocantes (también llamadas de movimiento alternativo)		Pistón
				Diafragma
		Rotatorias	Rotor simple	Aspas
				Pistón
				Elemento flexible (peristáltica)
				Tornillo
				Engranajes
		Rotor múltiple		Lóbulos
				Balancines
				Tornillos
	Lineales			
	De sogas o cuerda			
	Rotodinámicas	Centrifugas	Radial	Impulsor abierto
				Impulsor semi-abierto
				Impulsor cerrado
Axial			Impulsor abierto	
			Impulsor cerrado	
Mixto			Según impulsor	
Periféricas		Paso único		
		Paso múltiple		
Especiales		Electromagnéticas		

G.2. IMPULSIÓN DE FLUIDOS LÍQUIDOS

G.2.2. Clasificación de bombas hidráulicas

La versatilidad con la que cuentan estas bombas permite que su espectro de uso sea el más variado.

La clasificación interna de las bombas centrífugas responde a múltiples criterios no excluyentes.

Bombas hidráulicas según su principio de funcionamiento	Desplazamiento positivo	Reciprocantes (también llamadas de movimiento alternativo)		Pistón
				Diafragma
		Rotatorias	Rotor simple	Aspas
				Pistón
				Elemento flexible (peristáltica)
				Tornillo
				Engranajes
		Rotor múltiple	Lóbulos	
			Balancines	
			Tornillos	
	Lineales			
	De sogas o cuerda			
	Rotodinámicas	Centrifugas	Radial	Impulsor abierto
				Impulsor semi-abierto
				Impulsor cerrado
Axial			Impulsor abierto	
			Impulsor cerrado	
Mixto			Según impulsor	
Periféricas		Paso único		
		Paso múltiple		
Especiales		Electromagnéticas		

G.2. IMPULSIÓN DE FLUIDOS LÍQUIDOS

G.2.2. Clasificación de bombas hidráulicas

- Según la posición del eje de rotación.
- Según el diseño funcional de la carcasa.
- Según el diseño mecánico de la carcasa.
- Según la cantidad de etapas.
- Según la forma de succión.
- Según la dirección del flujo de los álabes.

Bombas hidráulicas según su principio de funcionamiento	Desplazamiento positivo	Recíprocantes (también llamadas de movimiento alternativo)		Pistón
				Diafragma
		Rotatorias	Rotor simple	Aspas
				Pistón
				Elemento flexible (peristáltica)
				Tornillo
				Engranajes
		Rotor múltiple	Lóbulos	
			Balancines	
			Tornillos	
	Lineales			
	De sogas o cuerda			
	Rotodinámicas	Centrifugas	Radial	Impulsor abierto
				Impulsor semi-abierto
				Impulsor cerrado
			Axial	Impulsor abierto
Impulsor cerrado				
Mixto				Según impulsor
Periféricas		Paso único		
		Paso múltiple		
Especiales		Electromagnéticas		

G.2. IMPULSIÓN DE FLUIDOS LÍQUIDOS

G.2.2. Clasificación de bombas hidráulicas



Bomba de eje vertical



Bomba de eje horizontal

Bombas hidráulicas según su principio de funcionamiento	Desplazamiento positivo	Reciprocantes (también llamadas de movimiento alternativo)		Pistón
				Diafragma
		Rotatorias	Rotor simple	Aspas
				Pistón
				Elemento flexible (peristáltica)
				Tornillo
				Engranajes
		Rotor múltiple		Lóbulos
				Balancines
				Tornillos
	Lineales			
	De sogas o cuerda			
	De cadena			
	Rotodinámicas	Centrifugas	Radial	Impulsor abierto
Impulsor semi-abierto				
Impulsor cerrado				
Axial			Impulsor abierto	
			Impulsor cerrado	
Mixto			Según impulsor	
Periféricas		Paso único		
		Paso múltiple		
Especiales		Electromagnéticas		

G.2. IMPULSIÓN DE FLUIDOS LÍQUIDOS

G.2.2. Clasificación de bombas hidráulicas



Bomba de carcasa tipo turbina



Bomba de carcasa tipo voluta

Bombas hidráulicas según su principio de funcionamiento	Desplazamiento positivo	Reciprocantes (también llamadas de movimiento alternativo)		Pistón
				Diafragma
		Rotatorias	Rotor simple	Aspas
				Pistón
				Elemento flexible (peristáltica)
				Tornillo
		Rotor múltiple	Engranajes	
			Lóbulos	
			Balancines	
	Tornillos			
	Lineales			De soga o cuerda
				De cadena
	Rotodinámicas	Centrifugas	Radial	Impulsor abierto
				Impulsor semi-abierto
				Impulsor cerrado
Axial		Impulsor abierto		
		Impulsor cerrado		
Mixto		Según impulsor		
Periféricas		Paso único		
		Paso múltiple		
Especiales		Electromagnéticas		

G.2. IMPULSIÓN DE FLUIDOS LÍQUIDOS

G.2.2. Clasificación de bombas hidráulicas



Bomba radialmente bipartida

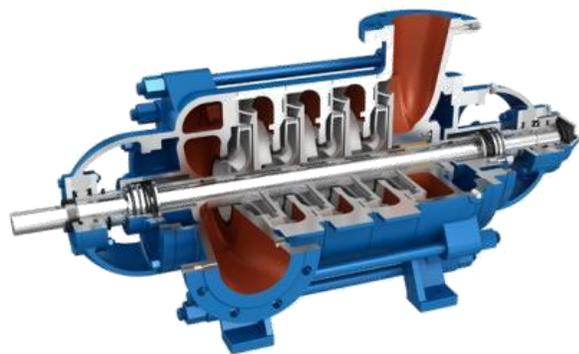


Bomba axialmente bipartida

Bombas hidráulicas según su principio de funcionamiento	Desplazamiento positivo	Reciprocantes (también llamadas de movimiento alternativo)		Pistón
				Diafragma
		Rotatorias	Rotor simple	Aspas
				Pistón
				Elemento flexible (peristáltica)
				Tornillo
				Engranajes
		Rotor múltiple		Lóbulos
				Balancines
	Tornillos			
	Lineales			De soga o cuerda
	Rotodinámicas	Centrifugas	Radial	Impulsor abierto
				Impulsor semi-abierto
				Impulsor cerrado
			Axial	Impulsor abierto
Impulsor cerrado				
Mixto			Según impulsor	
Periféricas		Paso único		
		Paso múltiple		
Especiales		Electromagnéticas		

G.2. IMPULSIÓN DE FLUIDOS LÍQUIDOS

G.2.2. Clasificación de bombas hidráulicas



Bomba de múltiples etapas



Bomba de una etapa

Bombas hidráulicas según su principio de funcionamiento	Desplazamiento positivo	Reciprocantes (también llamadas de movimiento alternativo)		Pistón
				Diafragma
		Rotatorias	Rotor simple	Aspas
				Pistón
				Elemento flexible (peristáltica)
				Tornillo
				Engranajes
		Rotor múltiple		Lóbulos
				Balancines
				Tornillos
	Lineales			
	De sogas o cuerda			
	De cadena			
	Rotodinámicas	Centrifugas	Radial	Impulsor abierto
Impulsor semi-abierto				
Impulsor cerrado				
Axial			Impulsor abierto	
			Impulsor cerrado	
Mixto			Según impulsor	
Periféricas		Paso único		
		Paso múltiple		
Especiales		Electromagnéticas		

G.2. IMPULSIÓN DE FLUIDOS LÍQUIDOS

G.2.2. Clasificación de bombas hidráulicas



Bomba de succión doble



Bomba de succión simple

Bombas hidráulicas según su principio de funcionamiento	Desplazamiento positivo	Reciprocantes (también llamadas de movimiento alternativo)		Pistón
				Diafragma
		Rotatorias	Rotor simple	Aspas
				Pistón
				Elemento flexible (peristáltica)
				Tornillo
		Rotor múltiple		Engranajes
				Lóbulos
				Balancines
	Tornillos			
	Lineales			De soga o cuerda
				De cadena
	Rotodinámicas	Centrifugas	Radial	Impulsor abierto
				Impulsor semi-abierto
				Impulsor cerrado
Axial			Impulsor abierto	
			Impulsor cerrado	
Mixto			Según impulsor	
Periféricas		Paso único		
		Paso múltiple		
Especiales		Electromagnéticas		

G.2. IMPULSIÓN DE FLUIDOS LÍQUIDOS

G.2.3. Rendimiento mecánico

Por lo general, el concepto de «bomba hidráulica» sólo aplica al cuerpo hidráulico en donde se produce la transformación de energía mecánica en hidráulica sobre el líquido. El accionamiento puede provenir de un motor eléctrico (en cuyo caso será una *electrobomba*), o bien a partir de un motor a combustión o explosión, llamándose *motobomba*.

Así, tenemos dos rendimientos: por un lado, el del accionamiento, y, por el otro, la propia eficiencia del cuerpo hidráulico. Considerando un sistema de dos componentes (accionamiento y cuerpo), la salida de la energía transformada en el accionamiento será la entrada de energía al cuerpo. Así:

G.2. IMPULSIÓN DE FLUIDOS LÍQUIDOS

G.2.3. Rendimiento mecánico

$$\eta_{bomba} = \frac{\Delta E_{mecánica\ del\ fluido}}{E_{mecánica\ desde\ el\ accionamiento}} = \frac{\dot{W}_e}{\dot{W}_{bomba}}$$

$$\eta_{accionamiento} = \frac{\text{Salida de potencia mecánica}}{\text{Energía aportada por el accionamiento}} = \frac{\dot{W}_{bomba}}{\dot{W}_{accionamiento}}$$

$$\eta_{combinado} = \eta_{accionamiento} \cdot \eta_{bomba} = \frac{\text{Salida de potencia mecánica}}{\text{Energía aportada por el accionamiento}} \cdot \frac{\Delta E_{mecánica\ del\ fluido}}{E_{mecánica\ desde\ el\ accionamiento}}$$

$$\eta_{combinado} = \eta_{accionamiento} \cdot \eta_{bomba} = \frac{\Delta E_{mecánica\ del\ fluido}}{\text{Energía aportada por el accionamiento}} = \frac{\dot{W}_e}{\dot{W}_{accionamiento}}$$

G.2. IMPULSIÓN DE FLUIDOS LÍQUIDOS

G.2.3. Rendimiento mecánico

En el caso de que el accionamiento sea un motor, el rendimiento provendrá del catálogo correspondiente, a lo cual restaría ver su modo de funcionamiento para determinar el consumo de potencia y energía (con una pinza por ejemplo, para determinar cómo se comporta en régimen estacionario).

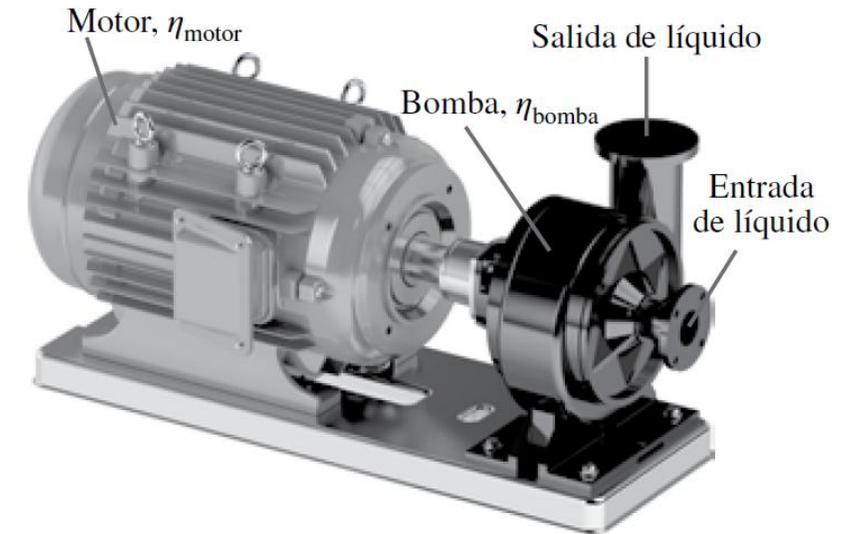
Si el accionamiento es una máquina térmica, será necesario conocer el consumo horario de combustible de manera de determinar la potencia consumida.

Claramente, la elección del accionamiento define el rendimiento del mismo, pudiendo ser del orden del 80 % o superior para motores eléctricos y de 25-30 % para máquinas térmicas.

G.2. IMPULSIÓN DE FLUIDOS LÍQUIDOS

G.2.3. Rendimiento mecánico

Tomando como ejemplo la electrobomba de la derecha, si el rendimiento combinado es del 60 %, solamente el 60 % de la energía de la fuente externa es transformada en hidráulica, y el restante se disipa en distintos puntos del sistema. Por ejemplo: una bomba de 20 kW que tiene un rendimiento combinado de 60 % terminará entregando 12 kW al líquido para poder cambiar sus propiedades y pasar del estado 1 al 2, disipándose el resto en forma de calor muy poco aprovechable.

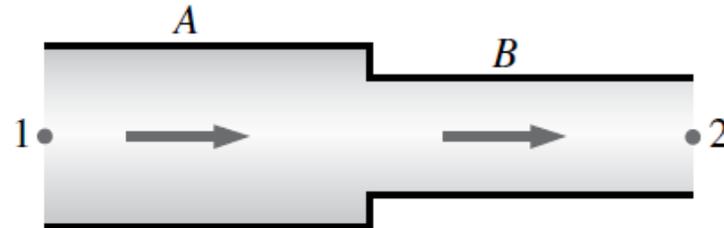


$$\eta_{bomba-motor} = \eta_{bomba} \eta_{motor}$$

Fuente: «Mecánica de los Fluidos: Fundamentos y Aplicaciones», de Cengel y Cimbala, 2018.

G.2. IMPULSIÓN DE FLUIDOS LÍQUIDOS

G.2.4. Principios de diseños de tuberías



Fuente: «Mecánica de los Fluidos: Fundamentos y Aplicaciones», de Cengel y Cimbala, 2018.

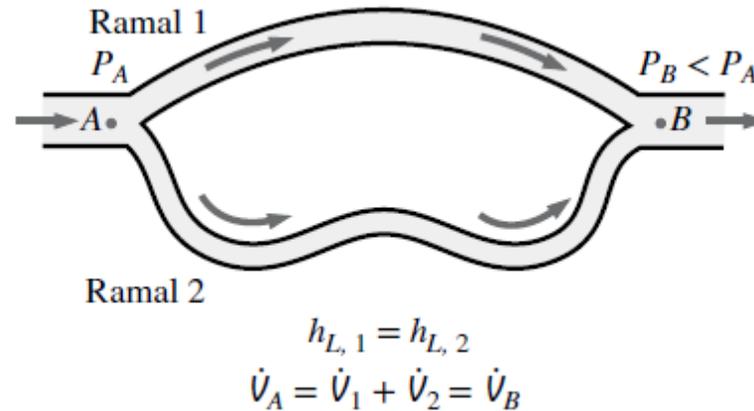
$$\dot{V}_A = \dot{V}_B$$

$$h_{L, 1-2} = h_{L, A} + h_{L, B} + h_{L, \text{contracción súbita}}$$

Cuando las tuberías se conectan en serie, el caudal permanece constante sin importar los diámetros de las tuberías individuales. Esto es una consecuencia natural y trivial de la Ecuación de Continuidad, ya que la masa no puede alterarse (salvo que realmente se agregue o quite masa). La pérdida de carga total es la suma de las pérdidas de carga en las tuberías individuales en el sistema (que incluyen las pérdidas menores).

G.2. IMPULSIÓN DE FLUIDOS LÍQUIDOS

G.2.4. Principios de diseños de tuberías



Fuente: «Mecánica de los Fluidos: Fundamentos y Aplicaciones», de Cengel y Cimbala, 2018.

Para una tubería que se ramifica en dos o más (es decir, una conexión en paralelo de tuberías) y luego se vuelven a juntar en una unión aguas abajo, el caudal total es la suma de los caudales que pasan por las tuberías individuales. Por otro lado, la caída de presión (o sea, la pérdida de carga) en cada tubería individual debe ser la misma. Esto permite simplificar el cálculo trabajando siempre sobre el ramal más sencillo.

G.2. IMPULSIÓN DE FLUIDOS LÍQUIDOS

G.2.4. Principios de diseños de tuberías

- *Se debe satisfacer la conservación de la masa a través del sistema.* Esto se hace cuando se necesita para todas las uniones en el sistema que el flujo total que entra a una de ella sea igual al flujo total que sale. Además, el caudal másico debe permanecer constante en las tuberías conectadas en serie, sin importar realmente los cambios en los diámetros.
- *La caída de presión (y por tanto la pérdida de carga) entre dos uniones debe ser la misma para todas las trayectorias entre las dos uniones.* Esto es porque la presión es una propiedad que no depende de la masa (es una función puntual) y no puede tener dos valores en un punto específico.

G.2. IMPULSIÓN DE FLUIDOS LÍQUIDOS

G.2.4. Principios de diseños de tuberías

Dado que el fluido deberá desplazarse de un punto hacia otro para cumplir con el objetivo del sistema hidráulico, se sucederán disipaciones de energía producto de:

- La fricción entre las capas del fluido y entre el fluido y los conductos.
- La energía mecánica consumida resultante de cambios de secciones, de direcciones, derivaciones y paso por válvulas.

Estimar la energía consumida en estos esfuerzos permite determinar el consumo de energía que tendrá el sistema hidráulico mientras está operando, y qué grado de la potencia y energía consumidas corresponde a vencer resistencias que no aportan utilidad. La energía consumida en las pérdidas de carga depende de \bar{u}^2 y pueden ser reducidas, no eliminadas.

G.2. IMPULSIÓN DE FLUIDOS LÍQUIDOS

G.2.5. Dimensionamiento: pérdidas de carga mayores

Para calcular la energía disipada en el desplazamiento de un fluido, primero debe determinarse si se encuentra en régimen laminar o turbulento (pues el cálculo difiere). Por tal, es necesario calcular el parámetro adimensional llamado Número de Reynolds:

$$NRe = \frac{\text{Fuerzas inerciales}}{\text{Fuerzas viscosas}} = \frac{\rho \cdot \bar{u}_{prom} \cdot D}{\mu}$$

donde ρ es la densidad del medio fluido ($\rho = \rho(T)$), \bar{u}_{prom} es la velocidad promedio del fluido, D es el diámetro de la tubería (o diámetro hidráulico si no fuere de sección circular, como un ducto de aire) y μ es la viscosidad dinámica del medio fluido ($\mu = \mu(T)$). Si $NRe > 4000$, el flujo es turbulento, si $NRe < 2000$ es laminar; de lo contrario está en transición.

G.2. IMPULSIÓN DE FLUIDOS LÍQUIDOS

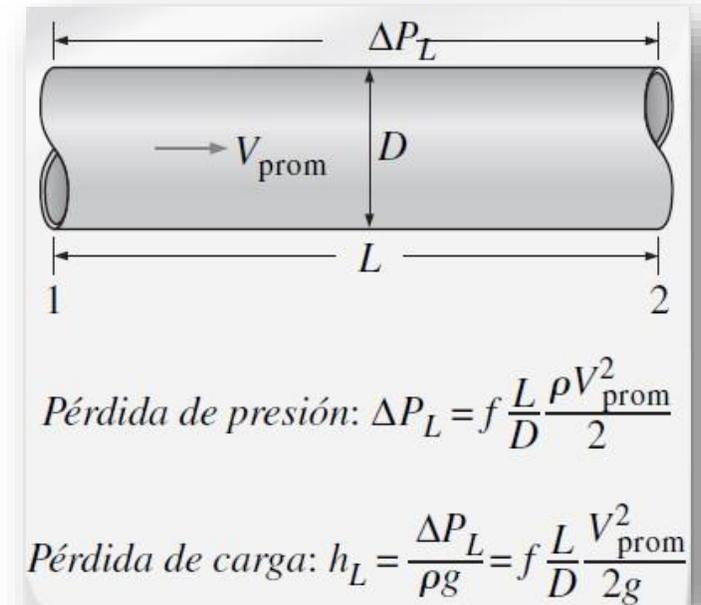
G.2.5. Dimensionamiento: pérdidas de carga mayores

Las pérdidas de carga se calculan a través de la ecuación de Darcy-Weisbach:

$$\Delta p = L_{C,mayores} = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \rho \cdot \frac{\bar{u}^2}{2} \quad ; \quad [L_{C,mayores}] = Pa$$

donde f es el factor de fricción de Darcy ($f = f(NR_e; \varepsilon/D)$, la cual es la rugosidad relativa del material del conducto), que se computa distinto si el régimen es laminar o turbulento:

- Régimen laminar, $f = 64/NR_e$
- Régimen turbulento, f se obtiene por diagrama de Moody o a través de la ecuación de Colebrook-White.



Fuente: «Mecánica de los Fluidos: Fundamentos y Aplicaciones», de Cengel y Cimbala, 2018.

G.2. IMPULSIÓN DE FLUIDOS LÍQUIDOS

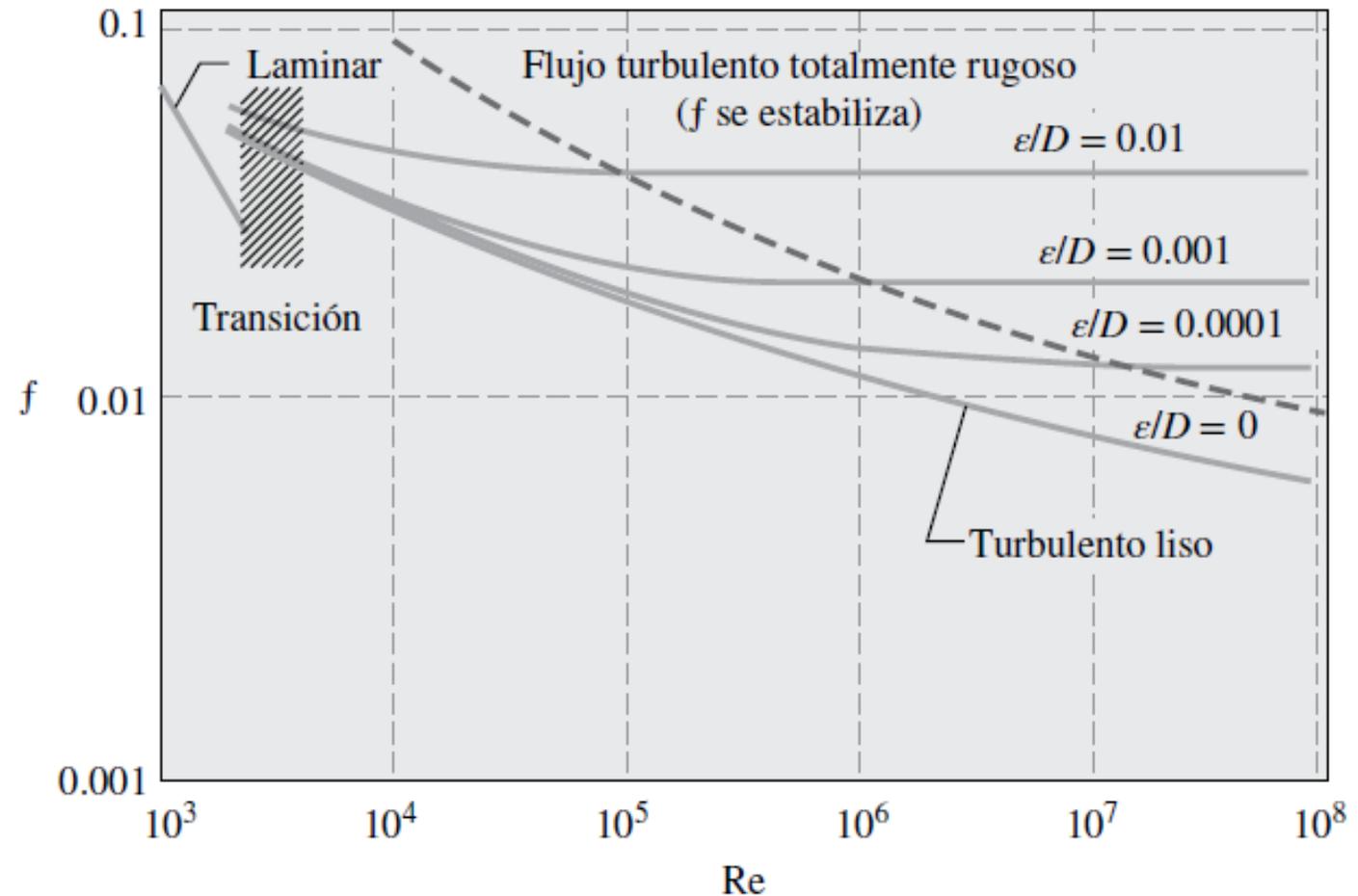
G.2.5. Dimensionamiento: pérdidas de carga mayores

Fuente: «Mecánica de los Fluidos: Fundamentos y Aplicaciones», de Cengel y Cimbala, 2018.

Valores de rugosidad equivalentes para tuberías comerciales nuevas*

Material	Rugosidad ϵ	
	ft	mm
Vidrio, plástico	0 (liso)	
Concreto	0.003-0.03	0.9-9
Duela de madera	0.0016	0.5
Hule, alisado	0.000033	0.01
Tubería de cobre o latón	0.000005	0.0015
Hierro fundido	0.00085	0.26
Hierro galvanizado	0.0005	0.15
Hierro forjado	0.00015	0.046
Acero inoxidable	0.000007	0.002
Acero comercial	0.00015	0.045

* La incertidumbre en estos valores puede ser hasta ± 60 por ciento.



G.2. IMPULSIÓN DE FLUIDOS LÍQUIDOS

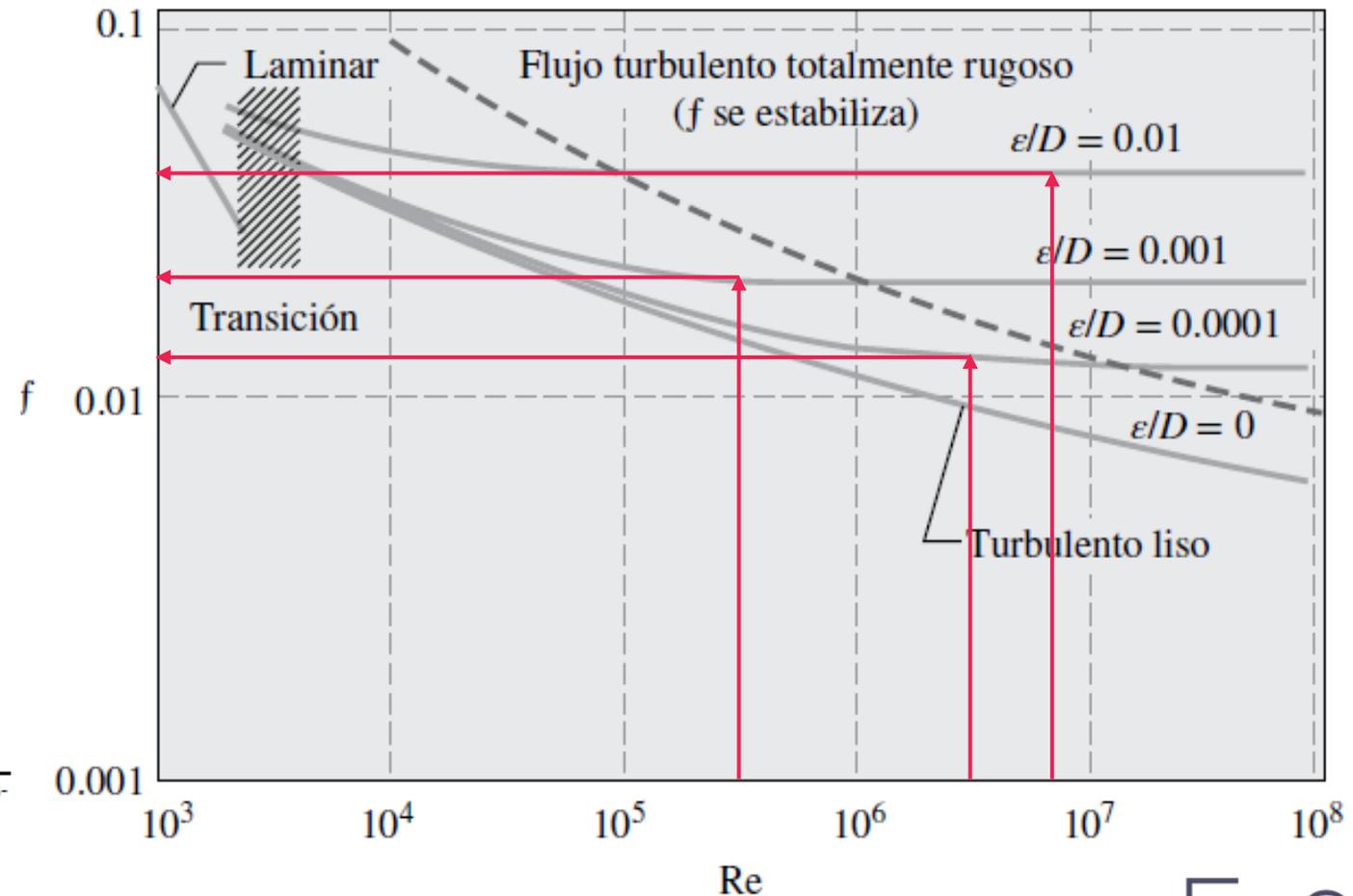
G.2.5. Dimensionamiento: pérdidas de carga mayores

Fuente: «Mecánica de los Fluidos: Fundamentos y Aplicaciones», de Cengel y Cimbala, 2018.

Valores de rugosidad equivalentes para tuberías comerciales nuevas*

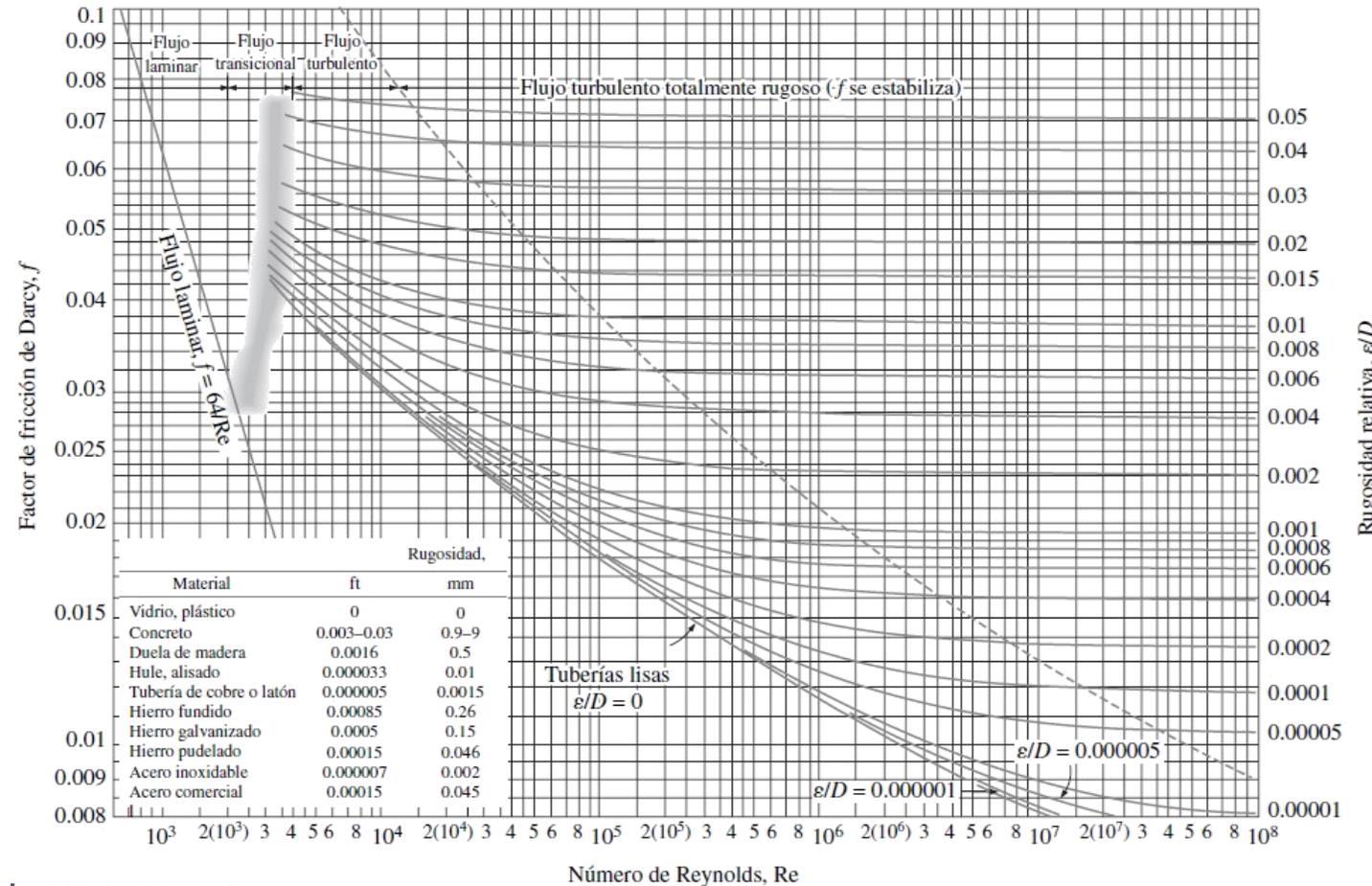
Material	Rugosidad ϵ	
	ft	mm
Vidrio, plástico	0 (liso)	
Concreto	0.003-0.03	0.9-9
Duela de madera	0.0016	0.5
Hule, alisado	0.000033	0.01
Tubería de cobre o latón	0.000005	0.0015
Hierro fundido	0.00085	0.26
Hierro galvanizado	0.0005	0.15
Hierro forjado	0.00015	0.046
Acero inoxidable	0.000007	0.002
Acero comercial	0.00015	0.045

* La incertidumbre en estos valores puede ser hasta ± 60 por ciento.



G.2. IMPULSIÓN DE FLUIDOS LÍQUIDOS

G.2.5. Dimensionamiento: pérdidas de carga mayores



Fuente: «Mecánica de los Fluidos: Fundamentos y Aplicaciones», de Cengel y Cimbala, 2018.

G.2. IMPULSIÓN DE FLUIDOS LÍQUIDOS

G.2.6. Dimensionamiento: pérdidas de carga menores

A diferencia de las pérdidas de carga mayores, las pérdidas de carga menores ocurren en accesorios hidráulicos, y su impacto ya está tabulado. Esto significa que el cálculo se simplifica, dependiendo únicamente del dispositivo que el fluido atraviesa. Así:

$$L_{C,menores} = K_L \cdot \rho \cdot \frac{\bar{u}^2}{2}; \quad [L_{C,menores}] = Pa$$

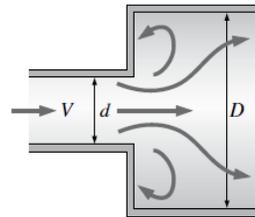
donde K_L es el coeficiente de pérdidas del accesorio, que es una constante adimensional propia de dicho dispositivo.

G.2. IMPULSIÓN DE FLUIDOS LÍQUIDOS

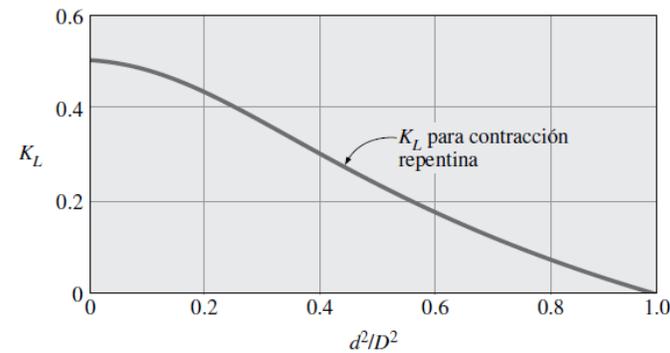
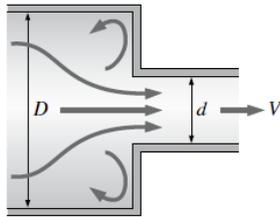
G.2.6. Dimensionamiento: pérdidas de carga menores

Expansión y contracción repentina (con base en la velocidad en la tubería de diámetro más pequeño)

Expansión repentina: $K_L = \alpha \left(1 - \frac{d^2}{D^2}\right)^2$



Contracción repentina: ver gráfica.



Expansión y contracción gradual (con base en la velocidad en la tubería de diámetro más pequeño)

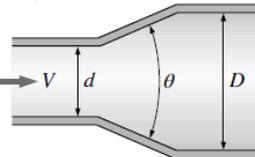
Expansión: (para $\theta = 20^\circ$):

$K_L = 0.30$ para $d/D = 0.2$

$K_L = 0.25$ para $d/D = 0.4$

$K_L = 0.15$ para $d/D = 0.6$

$K_L = 0.10$ para $d/D = 0.8$

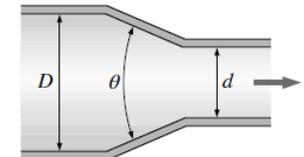


Contracción

$K_L = 0.02$ para $\theta = 30^\circ$

$K_L = 0.04$ para $\theta = 45^\circ$

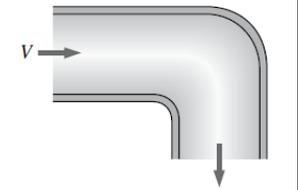
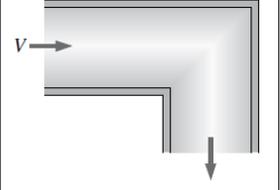
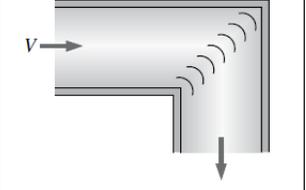
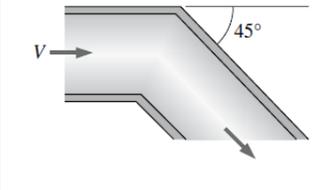
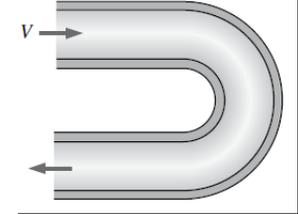
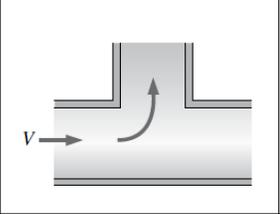
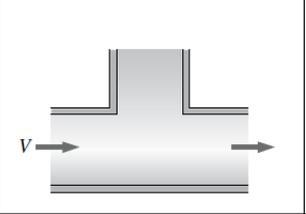
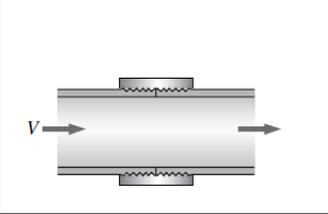
$K_L = 0.07$ para $\theta = 60^\circ$



Fuente: «Mecánica de los Fluidos: Fundamentos y Aplicaciones», de Cengel y Cimbala, 2018.

G.2. IMPULSIÓN DE FLUIDOS LÍQUIDOS

G.2.6. Dimensionamiento: pérdidas de carga menores

<p>Codos y ramificaciones Codo suave de 90°: Embridado: $K_L = 0.3$ Roscado: $K_L = 0.9$</p> 	<p>Codo esquinado de 90° (sin álabes directores): $K_L = 1.1$</p> 	<p>Codo esquinado de 90° (con álabes directores): $K_L = 0.2$</p> 	<p>Codo roscado de 45°: $K_L = 0.4$</p> 
<p>Codo de retorno de 180°: Embridado: $K_L = 0.2$ Roscado: $K_L = 1.5$</p> 	<p>Conexión en T (flujo deriv.): Embridado: $K_L = 1.0$ Roscado: $K_L = 2.0$</p> 	<p>Conexión en T (flujo en línea): Embridado: $K_L = 0.2$ Roscado: $K_L = 0.9$</p> 	<p>Unión roscada: $K_L = 0.08$</p> 
<p>Válvulas Válvula de globo, totalmente abierta: $K_L = 10$ Válvula de ángulo, totalmente abierta: $K_L = 5$ Válvula de bola, totalmente abierta: $K_L = 0.05$ Válvula de charnela: $K_L = 2$</p>		<p>Válvula de compuerta, totalmente abierta: $K_L = 0.2$ $\frac{1}{4}$ cerrada: $K_L = 0.3$ $\frac{1}{2}$ cerrada: $K_L = 2.1$ $\frac{3}{4}$ cerrada: $K_L = 17$</p>	

* Ésos son valores representativos para coeficientes de pérdida. Los valores reales dependen principalmente del diseño y la fabricación de los accesorios y pueden diferir considerablemente de los valores dados (en especial para las válvulas). En el diseño final se deben usar los datos reales del fabricante.

Fuente: «Mecánica de los Fluidos: Fundamentos y Aplicaciones», de Cengel y Cimbala, 2018.

G.2. IMPULSIÓN DE FLUIDOS LÍQUIDOS

G.2.6. Dimensionamiento: pérdidas de carga menores

Tipos de válvulas

 <p>Compuerta</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aislamiento • Baja pérdida de carga estando abierta • Alta estanqueidad al cerrar • Compuertas: de cuña y de caras paralelas 	 <p>Globo</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aislamiento y control • El flujo cambia de dirección (alta pérdida de carga) • Obturador se mueve vertical (buen contacto con el asiento) • El fluido ayuda a cerrar o abrir la válvula según el diseño 	 <p>Aguja</p> <ul style="list-style-type: none"> • Son de tipo globo con un obturador puntiagudo • Gran capacidad de regulación (no se emplean para aislar) 	 <p>Bola</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aislamiento • Gran aislamiento. Baja pérdida de carga • Obturador rota 90° • Abierta: maneta paralela a tubería • Cerrada: maneta perpendicular a tubería
 <p>Diafragma/Membrana</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aislamiento y regulación • Material elástico asiento-compresor (obturador, etc) • El cuerpo y el diafragma en contacto con el fluido (corrosivo, radioactivo, etc) 	 <p>Mariposa</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aislamiento y regulación. • Para tuberías grandes, flujos altos, baja presión • El obturador rota 90° • Hay caída de presión cuando está abierta 	 <p>Retención</p> <ul style="list-style-type: none"> • Protección contra flujo de retorno • Auto-actuadas por el fluido • Diseños: oscilante, pistón, eje intermedio, de globo, de mariposa, de parada 	 <p>Seguridad y alivio</p> <ul style="list-style-type: none"> • Protección contra sobrepresiones • Auto-actuadas • Una fuerza de cierre (muelle) actúa contra la fuerza de apertura • Las de seguridad abren de forma completa e inmediata • Las de alivio abren gradualmente • Blowdown (para seguridad): diferencia entre las presiones de cierre y apertura • Acumulación (para alivio): diferencia entre la presión de setpoint y la presión de elevación total

Componentes de una válvula



Empaquetadura	Cuerpo: Recibe el fluido y lo devuelve al sistema
Asiento posterior	Obturador: Parte móvil que corta el flujo contra el asiento
Guías	Asiento: Parte estática que contacta con el obturador para cerrar la válvula
Grupo de vástago	Vástago: Parte móvil accionada por el actuador y desplaza al obturador
Actuador	

Válvulas

Componente mecánico que se instala en tuberías para modificar el caudal del fluido (aislar, iniciar, parar o regular)

Posición

- Sin indicación de posición, operar en sentido de cierre
- Los parámetros del sistema ayudan a saber la posición

Modos de fallo

- En posición**
- Se mantiene en la posición actual
 - Manuales y motorizadas
- Abierta/cerrada**
- Es la posición de seguridad
 - Neumáticas, hidráulicas y de solenoide

Empaquetadura

- Apretar empaquetadura si hay fugas
- Apriete excesivo provoca roce con vástago y afecta el tiempo de cierre y apertura

Condiciones graves

- Agarramiento térmico**
- El cuerpo se contrae más que el obturador (se bloquea)
- Bloqueo hidráulico**
- Fluido atrapado sobre el obturador
 - La temperatura del fluido aumenta y bloquea el obturador

Actuadores de válvulas

 <p>Manual</p> <p>Volantes y manivelas. Con engranajes, cadenas y manetas</p>	 <p>Auto-actuados</p> <p>El fluido abre/cierra la válvula</p>
<p>Automático</p> <p>Neumáticos, motorizados, hidráulico y de solenoide</p>	 <p>Neumático</p> <ul style="list-style-type: none"> • Contiene diafragma, aire de actuación y muelle • La fuerza del aire se opone a la del muelle • Falla en posición segura (abierto, cerrado o en posición)
 <p>Motorizados</p> <ul style="list-style-type: none"> • Motor transmite el movimiento al vástago • Hay finales de carrera • Se usan como válvulas de aislamiento • Fallan en posición <p>Actuación de emergencia manual para motorizadas:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Accionar la maneta manual 2. Operar el volante de emergencia 	 <p>Hidráulico</p> <ul style="list-style-type: none"> • Igual a los neumáticos, con más fuerza • Actuación simple o doble
 <p>Solenoide</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fallan en posición segura (abierto o cerrado). • Aplicaciones todo/nada 	

G.2. IMPULSIÓN DE FLUIDOS LÍQUIDOS

G.2.7. Selección de una bomba y punto de operación

Para poder seleccionar la bomba que mejor resuelva las necesidades, primeramente debe tenerse presente lo siguiente:

- Conocer las coordenadas del punto de diseño, es decir, qué caudal se necesita (cuánto y en qué parte del circuito) y a qué presión o altura manométrica;
- Disponer del catálogo de curvas del fabricante donde figure la «curva de suministro de la bomba» y su rendimiento mecánico.

Recordemos asimismo que bombas, ventiladores y compresores trabajan con par de carga variable, esto es, el consumo de energía depende de la cantidad de materia desplazada (a diferencia de una cinta transportadora, por ejemplo). Esto significa que $w_e = f(\dot{m})$.

G.2. IMPULSIÓN DE FLUIDOS LÍQUIDOS

G.2.7. Selección de una bomba y punto de operación

Es decir, encontraremos una relación funcional entre el caudal de fluido solicitado que pase del estado 1 al 2 y la energía consumida por la bomba para lograrlo. A priori, dado que la energía cinética cambia de manera cuadrática con la velocidad, se obtiene una curva de **comportamiento parabólico**. Esta se llama «curva de demanda del sistema» pues refiere al **transporte del fluido en un sistema de tuberías en serie y paralelo**. Si logramos explicitar w_e/g según \dot{V} (donde $\dot{V} = m \cdot v$), podemos graficarla mediante una tabla de valores.

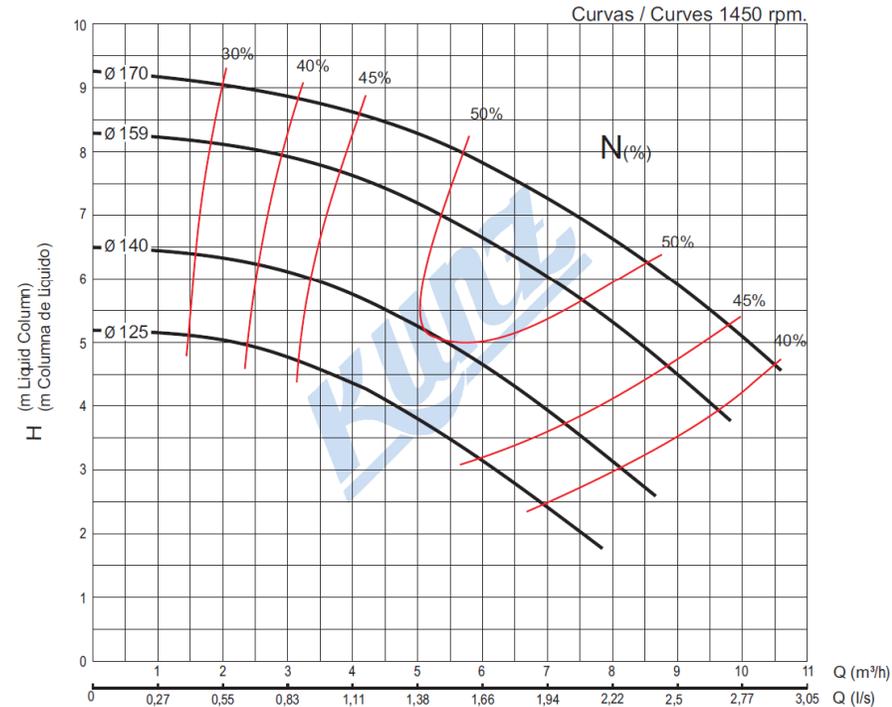
G.2. IMPULSIÓN DE FLUIDOS LÍQUIDOS

G.2.7. Selección de una bomba y punto de operación

EJEMPLOS DE CURVAS DE SUMINISTRO DE ELECTROBOMBAS:

Valida para la Serie/Tamaño - Valid for Serie/Size

NT 25-160	TNS 25-160
NB 25-160	



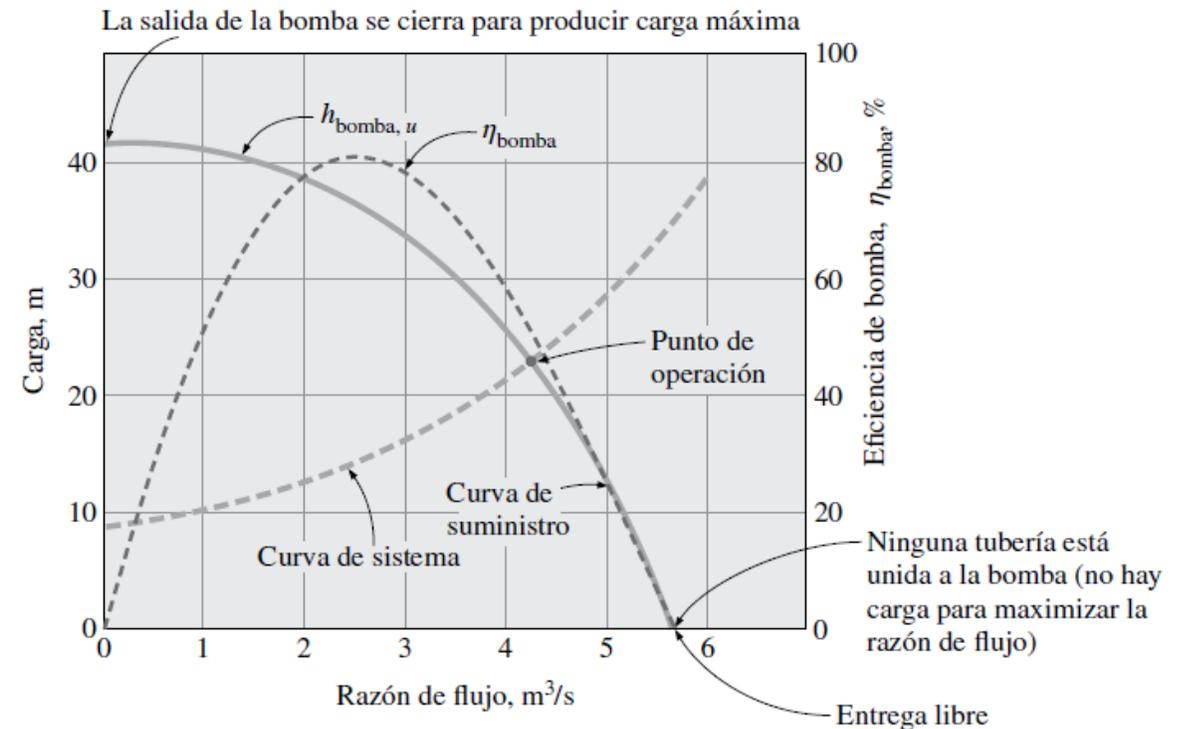
G.2. IMPULSIÓN DE FLUIDOS LÍQUIDOS

G.2.7. Selección de una bomba y punto de operación

Para seleccionar el modelo de bomba, debemos conocer el último concepto: el «punto de operación». Este es la intersección entre la curva del sistema y la curva del suministro de cada modelo de bomba. Es decir:

$$h_{bomba} = h_{sistema}$$

donde h representa la altura manométrica del fluido.



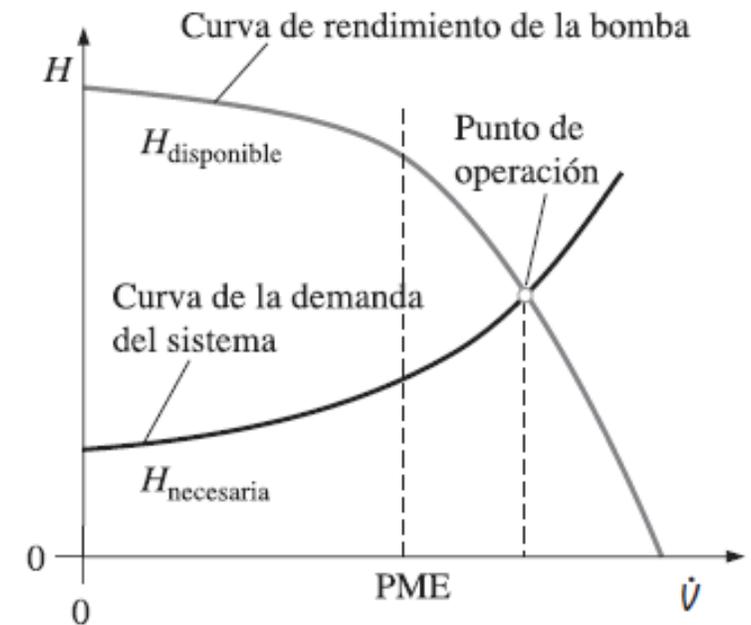
Fuente: «Mecánica de los Fluidos: Fundamentos y Aplicaciones», de Cengel y Cimbala, 2018.

G.2. IMPULSIÓN DE FLUIDOS LÍQUIDOS

G.2.7. Selección de una bomba y punto de operación

$H_{necesaria}$ es precisamente el trabajo mecánico de la bomba expresado en términos de altura (carga hidrostática neta), y debe contemplar todas las pérdidas de carga (además de la altura de columna de fluido necesaria a elevar).

El punto de operación de un sistema de tuberías se establece como el caudal en donde la curva de demanda del sistema y la curva de rendimiento de la bomba se intercepten.



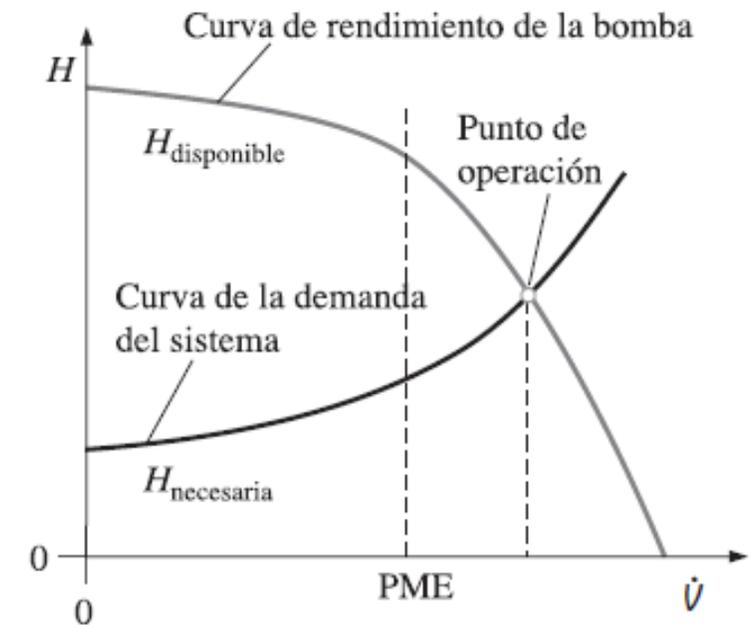
Fuente: «Mecánica de los Fluidos: Fundamentos y Aplicaciones», de Cengel y Cimbala, 2018.

G.2. IMPULSIÓN DE FLUIDOS LÍQUIDOS

G.2.7. Selección de una bomba y punto de operación

Así, según el punto de diseño, debería seleccionarse la bomba tal que sea capaz de cumplir con dichas coordenadas y presente el mayor rendimiento en el punto de operación (intersección de ambas curvas).

La bomba **siempre trabajará en el punto de operación**, entregando dicho caudal a esa altura manométrica. Con ello, se lee el valor de rendimiento según la curva.



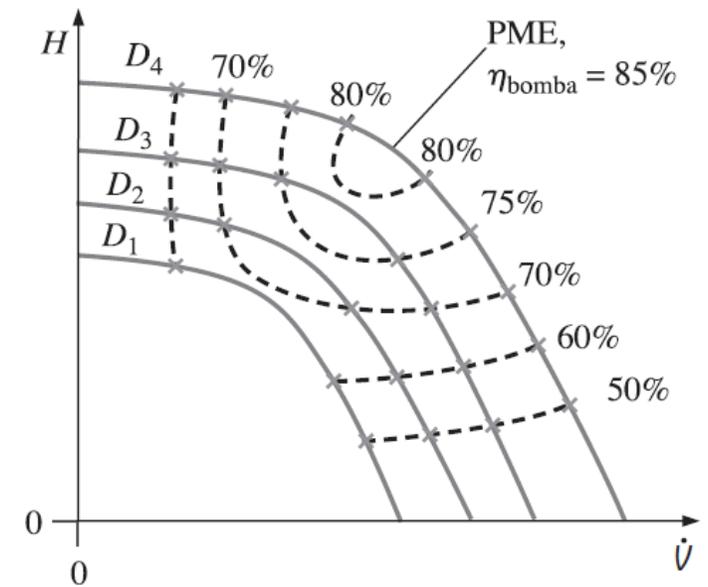
Fuente: «Mecánica de los Fluidos: Fundamentos y Aplicaciones», de Cengel y Cimbala, 2018.

G.2. IMPULSIÓN DE FLUIDOS LÍQUIDOS

G.2.7. Selección de una bomba y punto de operación

Por lo general se elige la primera bomba que esté a la derecha del caudal de diseño del proyecto, siempre y cuando sea excedido en aproximadamente un 5 %. El otro criterio es que se busca siempre que el modelo, durante su funcionamiento normal y habitual en régimen estacionario, trabaje a η_{bomba} máximo.

Una vez hallado el punto de operación, puede leerse desde el mismo diagrama el η_{bomba} que le corresponde, para así calcular cuál el aporte de energía del accionamiento.



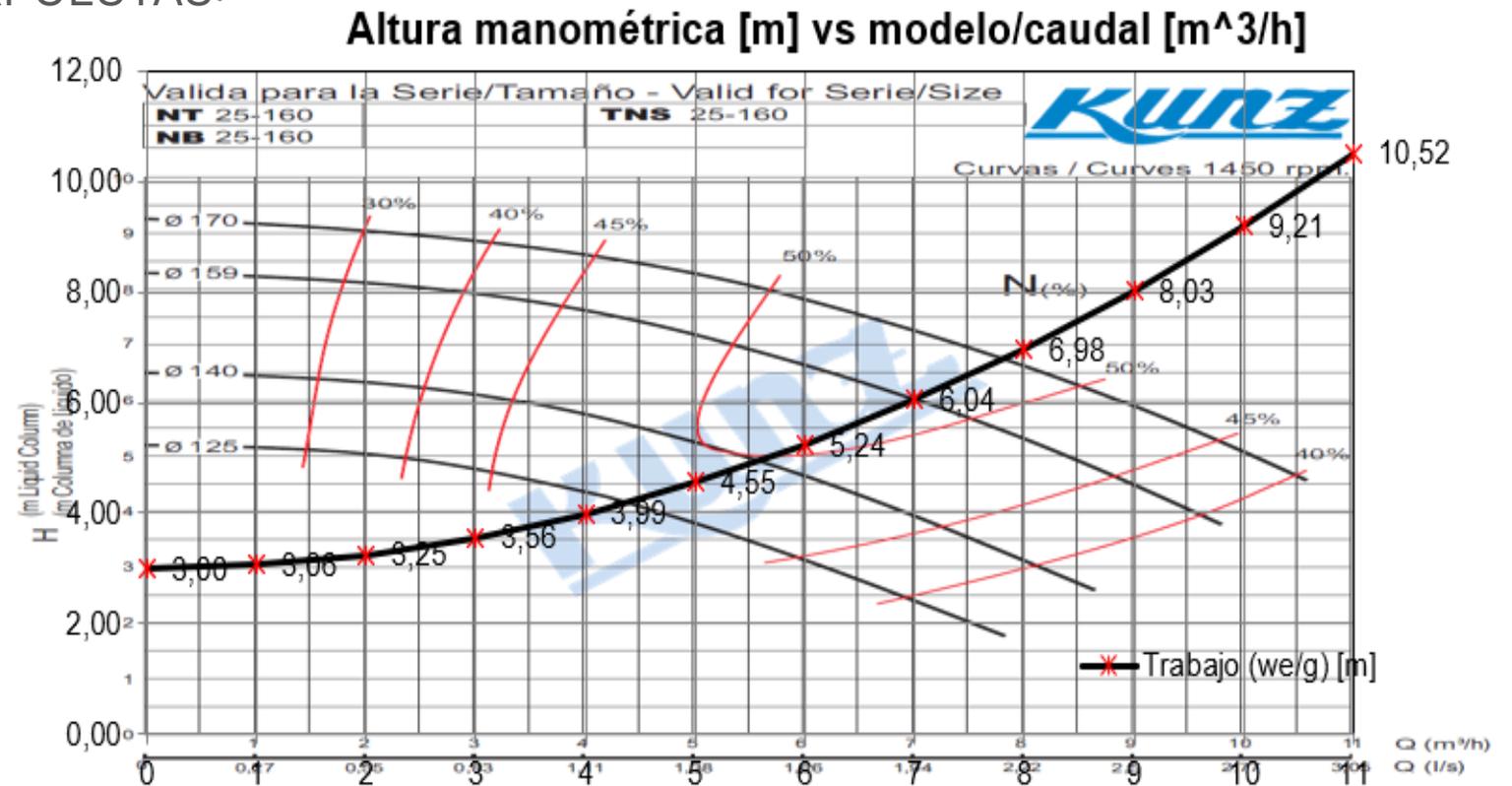
Fuente: «Mecánica de los Fluidos: Fundamentos y Aplicaciones», de Cengel y Cimbala, 2018.

G.2. IMPULSIÓN DE FLUIDOS LÍQUIDOS

G.2.7. Selección de una bomba y punto de operación

EJEMPLO DE CURVAS SUPERPUESTAS:

Caudal [m ³ /h]	u ₂ [m/s]	Trabajo (we/g) [m]
0	0,000	3,00
1	0,137	3,06
2	0,274	3,25
3	0,411	3,56
4	0,548	3,99
5	0,685	4,55
6	0,822	5,24
7	0,959	6,04
8	1,096	6,98
9	1,233	8,03
10	1,371	9,21
11	1,508	10,52

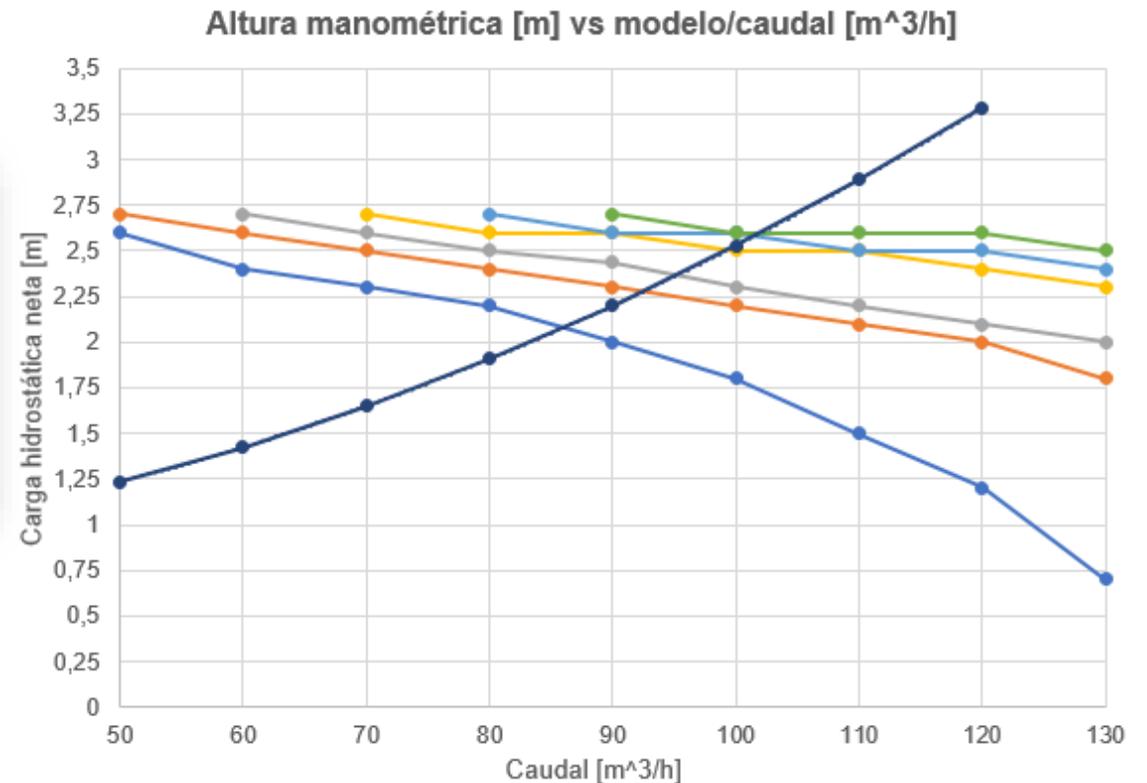


G.2. IMPULSIÓN DE FLUIDOS LÍQUIDOS

G.2.7. Selección de una bomba y punto de operación

EJEMPLO DE CURVAS SUPERPUESTAS:

Q [m ³ /h]	Altura [m]	Ecin [m]	Lm [m]	LM [m]	we/g [n]	fA	fBCI	Pot [W]
50	0,8	0,101	0,233	0,101	1,235	0,0170	0,0172	159,50
60	0,8	0,146	0,335	0,145	1,426	0,0168	0,0171	220,94
70	0,8	0,199	0,457	0,194	1,650	0,0166	0,0169	298,20
80	0,8	0,259	0,596	0,252	1,908	0,0164	0,0168	394,21
90	0,8	0,328	0,755	0,317	2,201	0,0163	0,0167	511,45
100	0,8	0,405	0,932	0,390	2,527	0,0162	0,0166	652,51
110	0,8	0,490	1,128	0,471	2,889	0,0161	0,0166	820,74
120	0,8	0,583	1,342	0,558	3,283	0,0160	0,0165	1017,36



G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.1. Introducción

La función principal de la ventilación es **sustituir el aire ambiente interior** de un sector, considerado inconveniente por su falta de pureza, temperatura inadecuada, humedad excesiva, gases y partículas nocivas para el humano.

La ventilación resuelve funciones vitales como la **provisión de oxígeno y control del calor**, a la vez que proporciona condiciones de confort afectando a la temperatura del aire, su humedad, la velocidad del mismo y la dilución de olores indeseables. En las instalaciones industriales, donde debido a procesos y máquinas se contamina el aire es fundamental la presencia de una **ventilación adecuada y bien dimensionada**.

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.1. Introducción

Existen diferentes procedimientos de diseño para determinar las **dimensiones de los conductos** y las **pérdidas de carga** de un sistema de ventilación localizada por extracción. Con la **velocidad** y el **caudal de aire** que debe moverse en el sistema, se definen las características del ventilador, tales como el tamaño, su tipo, el número de revoluciones del rotor y la potencia requerida y otros parámetros.

Los conductos de un sistema de ventilación localizada deben cumplir estas funciones:

- ✓ Llevar el aire contaminado desde las diferentes campanas al punto de descarga.
- ✓ Mediante un adecuado diseño asegurar que en cada campana se capte el caudal de diseño requerido.
- ✓ Asegurar la velocidad adecuada de transporte.

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.1. Introducción

Comprendido el método de diseño y dimensionamiento de sistemas para fluidos líquidos, el esquema para resolver sistemas para fluidos gaseosos sigue una naturaleza semejante. Esto es, en ambos es necesario determinar la energía necesaria que consume el equipo para llevar un fluido desde el estado 1 al 2, determinar la curva del sistema, superpone con la curva de suministro correspondiente, elegir el modelo y determinar el punto de operación y sus propiedades según los valores de diseño iniciales.

Sin embargo, existen ciertas diferencias fundamentales producto de la propia diferencia entre los fluidos: i) la densidad del aire es aproximadamente la milésima parte de la del agua; ii) la viscosidad entre los fluidos cambia de comportamiento según la temperatura.

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.2. Tipos de ventiladores

- ✓ **POR SOBREPRESIÓN:** se obtiene insuflando aire a un sector, poniéndole en sobrepresión interior respecto a la presión atmosférica. El aire fluye hacia el exterior por las tuberías o aberturas; barriendo del ambiente los contaminantes y dejando un ambiente lleno de aire puro.
- ✓ **POR DEPRESIÓN:** mediante un ventilador extractor se provoca que el aire del ambiente esté en depresión respecto a la presión atmosférica. El aire penetra desde fuera por la abertura adecuada, efectuando una ventilación de iguales efectos que la anterior.

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.2. Tipos de ventiladores

- ✓ **AMBIENTAL O GENERAL:** el aire ingresa al ambiente y luego sale libremente. Presenta el inconveniente que, de existir un foco contaminante concreto, el aire contaminado se esparce por todo el ambiente.
- ✓ **LOCALIZADA:** el aire contaminado es captado en el mismo lugar que se produce evitando su difusión por todo el resto del ambiente. Se logra mediante una campana que abrace lo más estrechamente posible el foco de polución y que lo conduzca al exterior.
- ✓ **MECÁNICA CONTROLADA:** este sistema permite controlar el ambiente de toda la planta, recirculando parte del aire, permitiendo introducir recursos para ahorrar energía.

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.2. Tipos de ventiladores

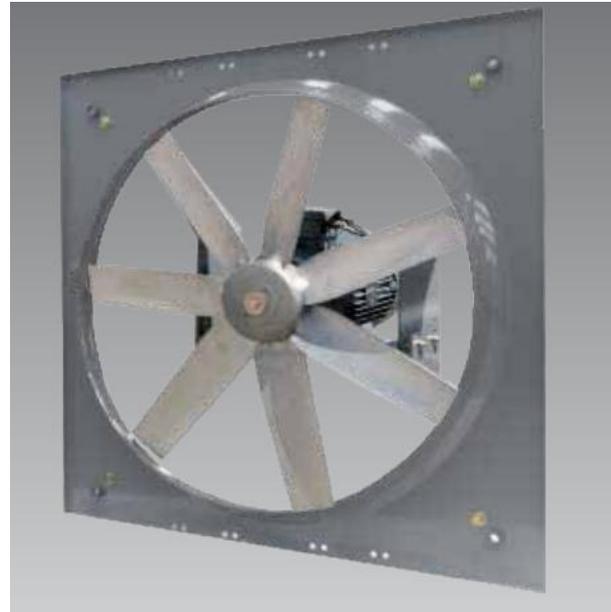
- ✓ Según su función: con envolvente (extractores, impelentes o combinación), murales y de chorro.
- ✓ Según la trayectoria del aire: centrífugos, axiales, transversales y helicocentrífugos.
- ✓ Según la presión: de baja, media y alta presión.
- ✓ Según las condiciones de funcionamiento: estándar o especiales.
- ✓ Según el accionamiento: electroventilador o motoventilador (de manera semejante a las bombas hidráulicas).

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.2. Tipos de ventiladores



Centrífugo



Axial (Cortesía de Soler & Palau)



Helicocentrífugo (Cortesía de Soler & Palau)

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.2. Tipos de ventiladores



Centrífugo de álabes curvos adelantado
(Cortesía de Soler & Palau)



Axial tubular de motor externo
(Cortesía de Soler & Palau)



Axial tubular con hélice de ángulo variable
(Cortesía de Soler & Palau)

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.3. Principios de diseño de ventilación localizada: consideraciones previas

El aire es un fluido compresible, pero la presión, generalmente del orden de los 500 milímetros de columna de agua (mmca) o su equivalente de 5000 Pa de valor máximo y la temperatura, del orden de los 15 a los 45°C que generalmente se producen en los conductos de un sistema de ventilación localizada, no afectan de manera **significativa** la densidad del aire. Por lo tanto, se supone al **aire como un fluido incompresible**, y por tanto es posible de emplear la Ecuación de Balance de Energía mecánica sin necesariamente resolver la integral.

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.3. Principios de diseño de ventilación localizada: consideraciones previas

Se deben contar con los siguientes datos:

- ✓ **Distribución en planta** de los sectores de trabajo, de los equipos y sus dimensiones, entre otros.
- ✓ **Esquema del sistema de conductos**, incluyendo las dimensiones en planta y en elevación, la ubicación del equipo de tratamiento y del ventilador, etc. Se debe identificar cada tramo de los ramales (conductos secundarios) y el conducto troncal (principal) con números y/o letras.
- ✓ Un diseño previo o **esquema de la campana** a instalar para el control de cada operación.

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.3. Principios de diseño de ventilación localizada: consideraciones previas

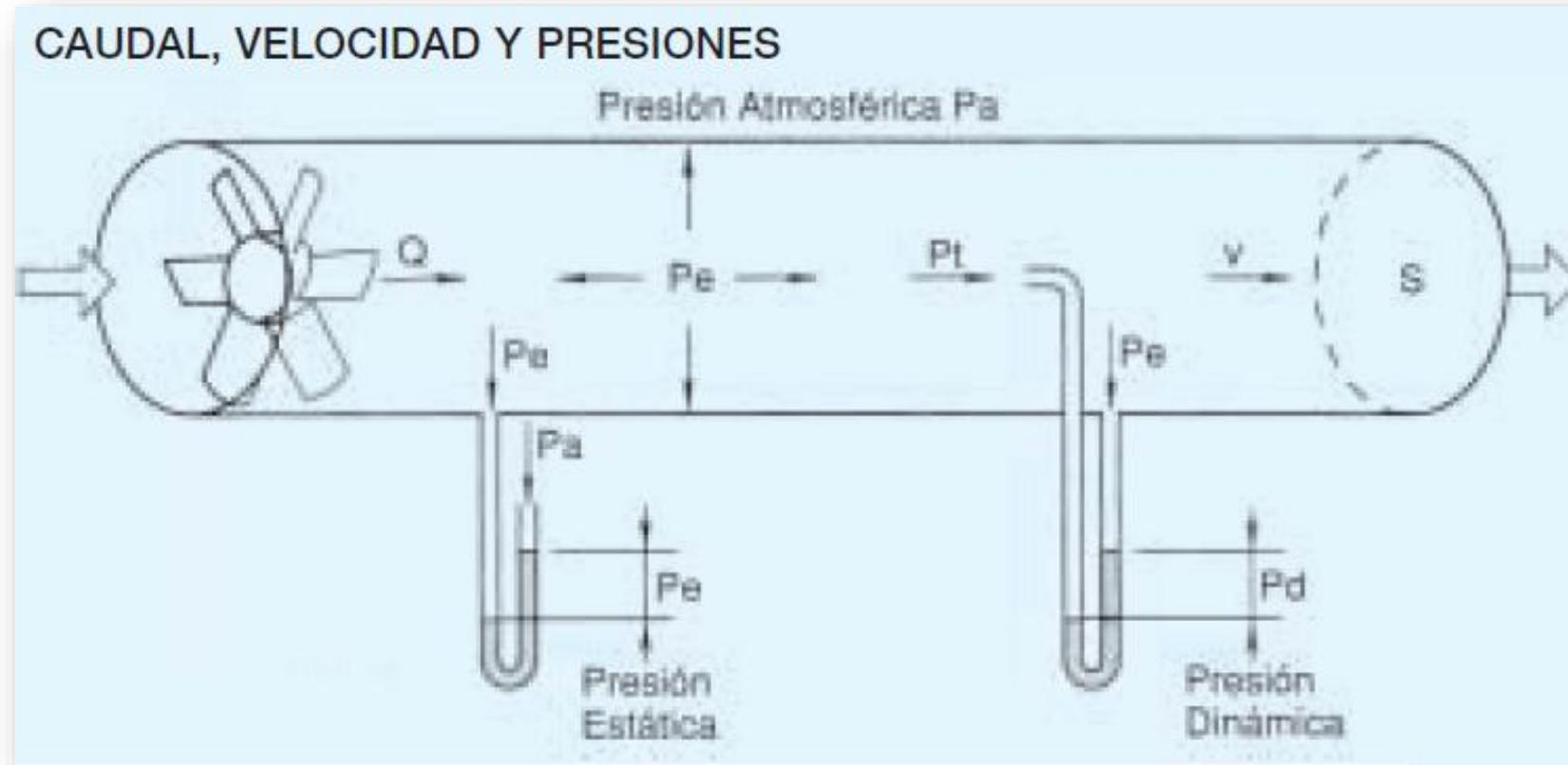
En los sistemas de ventilación es más práctico trabajar con presiones estáticas referidas a la presión atmosférica, en lugar de hacerlo con las presiones absolutas en los conductos. Se definen así dos magnitudes referidas a las presiones:

- Presión estática (P_e): es la presión ejercida por el aire sobre los conductos por donde circula. Esta es la magnitud que se aprecia en la curva de suministro del ventilador
- Presión dinámica (P_d): es la presión ejercida por el fluido cuando se desplaza. Depende de \bar{u}^2 . Esta es la magnitud que describe la curva de demanda del sistema.
- Presión total: es la suma en todo momento de ambas presiones.

El punto de operación corresponde a la intersección de P_e y P_d .

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.3. Principios de diseño de ventilación localizada: consideraciones previas



Fuente: «Manual práctico de Ventilación», de Salvador Escoda S.A.

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.3. Principios de diseño de ventilación localizada: consideraciones previas

Expresando todo en términos de pérdidas de carga, se obtiene lo siguiente:

$$h_{E1} + h_{D1} = h_{E2} + h_{D2} + \Delta h_p$$

$$Estática_1 + Dinámica_1 = Estática_2 + Dinámica_2 + pérdidas\ de\ carga$$

La pérdida de carga está referida a la presión atmosférica y se expresa en [mmca]. La expresión final, es la empleada para calcular la ventilación localizada. Los primeros términos (estático), h_E pueden ser positivos o negativos respecto a la presión atmosférica (en el caso de depresiones) y los segundos términos (dinámico), h_D , son siempre positivos.

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.3. Principios de diseño de ventilación localizada: sistemas

Todos los sistemas de extracción localizada, simples o complejos, emplean campanas de captación, un conjunto de conductos y accesorios, un sistema de tratamiento o depuración y el ventilador.

Se debe recordar que un sistema complejo de extracción localizada es un conjunto de sistemas simples unidos a un conducto común.

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.3. Principios de diseño de ventilación localizada: buenas prácticas

- ✓ Diseñar las campanas de captación de acuerdo con la operación a controlar y calcular el caudal de diseño. Se emplean tablas.
- ✓ Establecer la velocidad mínima en los conductos de acuerdo con las velocidades de transporte. Se emplean tablas.
- ✓ Calcular la sección del conducto dividiendo el caudal de diseño por la velocidad mínima.
- ✓ Para el dimensionamiento de los conductos debe emplearse la Ecuación de Conservación de la Masa (Continuidad).

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.3. Principios de diseño de ventilación localizada: buenas prácticas

- ✓ Determinar, a partir del esquema del trazado de la red de conductos, la longitud de cada tramo recto y el número y tipo de codos, empalmes y accesorios necesarios. Un tramo de conducto recto se lo define como un conducto de dimensiones generalmente uniformes, que une dos puntos de interés, como campanas con codos o empalmes, codos o empalmes entre sí, codo o empalme con ventilador, entre otros. La longitud del tramo recto a considerar en el diseño es la dimensión medida sobre el eje del conducto.

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.3. Principios de diseño de ventilación localizada: dimensionamiento de conductos

En los sistemas de ventilación localizada por extracción se eligen conductos circulares, salvo razones de fuerza mayor, en lugar de conductos rectangulares debido a que:

- ✓ Producen **menores pérdidas** por fricción pues la sección circular es la que presenta menor perímetro a igualdad de área.
- ✓ No se requiere **ocupar espacios reducidos** como en el caso de los conductos rectangulares de aire acondicionado que se instalan en los edificios.
- ✓ Presentan **mayor resistencia mecánica** a la deformación cuando su presión interna es menor que la presión atmosférica.

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.3. Principios de diseño de ventilación localizada: dimensionamiento de conductos

En los sistemas de ventilación localizada por extracción se eligen conductos circulares, salvo razones de fuerza mayor, en lugar de conductos rectangulares debido a que:

- ✓ Tienen una **distribución de velocidades más uniforme** en su sección que la distribución correspondiente a conductos rectangulares, pues las velocidades en sus ángulos inferiores son prácticamente nulas. Así se logra transportar a las partículas en suspensión hasta el equipo de tratamiento, evitando que se depositen en los conductos y los obturen, cuando la velocidad es seleccionada de manera adecuada.

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.3. Principios de diseño de ventilación localizada: velocidad en los conductos

La selección de una velocidad dentro de un conducto depende de las **características de los contaminantes captados** en la campana de aspiración. Existen Tablas.

Cuando se trata de polvos se debe seleccionar **una velocidad mínima adecuada para su transporte**. Se denomina **velocidad de transporte o de diseño** a aquella que permite que los polvos lleguen a los equipos de tratamiento y no sedimenten en los conductos, lo que provocaría su obturación.

Los rangos de velocidades recomendadas para distintos tamaños de polvos están dados por la siguiente tabla:

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.3. Principios de diseño de ventilación localizada: velocidad en los conductos

CAPTACIÓN POR CAMPANA

Tipo de Trabajo	(m/s)	
	V_a	V_c
Gases o vapores	0,25 a 0,5	12
Gases soldadura	0,5 a 1	15
Caldera de vapor	0,75	10
Estufa barnizado	1 a 1,25	8
Taladrado	2	22

CAPTACIÓN POR CABINA

Pintura, triturado	1 a 2,5	15
Aerografismo	2	10
Amolado	1	18
Máquina embalar (Aspirac. descendente)	0,25 a 0,5	
Motores explosión	3.500 m ³ /h. m ²	
Tanque impregnado	3.500 m ³ /h. m ²	
Forja manual	1	8

V_c : velocidad de conducto
 V_a : velocidad de aspiración

CAPTACIÓN POR CABINA

Esmerilado	2,5 a 10	15
Perforado rocas, vertical descendente	0,3 1	18
Soldadura plata	0,5	10

VARIOS

	V_c
Todos los vapores y gases	9 a 10
Polvos semillas, yute o goma	10
Soldadura eléctrica	10 a 13
Hilachas de algodón, harina de gramíneas y de madera, polvos de litografía	13 a 15
Serrín de madera	15
Polvo metálico de rectificado	16

Finos de goma, hilachas de yute, polvo de algodón, de jabón y bakelita, virutas ligeras de madera y cuero 15 a 20
 Polvo de amolado, de yute, lana, granito y corte prod. cerámicos y barro de arcilla, de fundición y envasado prod. textiles, granos de café, harina de sílice, viruta fina metálica 18 a 20
 Polvo pesado de aserrado, torneado metálico, vibrado y volcado en fundición, proyección de arena, cubitos de madera, polvo de plomo con partículas, de cemento, de asbestos en el cortado de conductos, desperdicios pegajosos de lino, polvo de cal viva y finos de carbón 25 y +

Fuente: «Manual práctico de Ventilación», de Salvador Escoda S.A.

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.3. Principios de diseño de ventilación localizada: velocidad en los conductos

Las velocidades de transporte en los conductos *no deben superar los 30 m/s*, debido a que:

- ✓ **Aumentan las pérdidas de carga**, aumentando la potencia requerida para la circulación del aire.
- ✓ Se **incrementa la acción abrasiva de los polvos**, que depende de sus características, aumentando el desgaste de los conductos y sus accesorios, incrementando los gastos de mantenimiento del sistema de ventilación.
- ✓ Se **acrecienta el ruido** producido por el aire y los polvos que éste transporta.
- ✓ Se **incrementan las vibraciones** de los conductos, obligando a una sujeción más costosa.

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.3. Principios de diseño de ventilación localizada: velocidad en los conductos

Las velocidades de transporte en los conductos *no deben superar los 30 m/s*, debido a que:

- ✓ **En el caso de tratarse de gases o vapores**, estos se diluyen en el aire y la velocidad de diseño, que se obtiene a través de un cálculo económico, es mucho menor que 30 m/s, estimado entre 5 y 10 m/s. Este rango depende de la estructura de costos de los diferentes países para los materiales, la energía, los ventiladores y los motores eléctricos.

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.3. Principios de diseño de ventilación localizada: velocidad en los conductos

- ✓ Cuando la velocidad aumenta, a igual caudal, disminuye la sección y se incrementan las pérdidas en los conductos, en tanto que disminuyen los costos de instalación por ser las cañerías de menor tamaño.
- ✓ Cuando la velocidad disminuye, aumenta la sección de la cañería, disminuyendo las caídas de presión, pero aumentando los costos de la instalación.

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.3. Principios de diseño de ventilación localizada: velocidad en los conductos

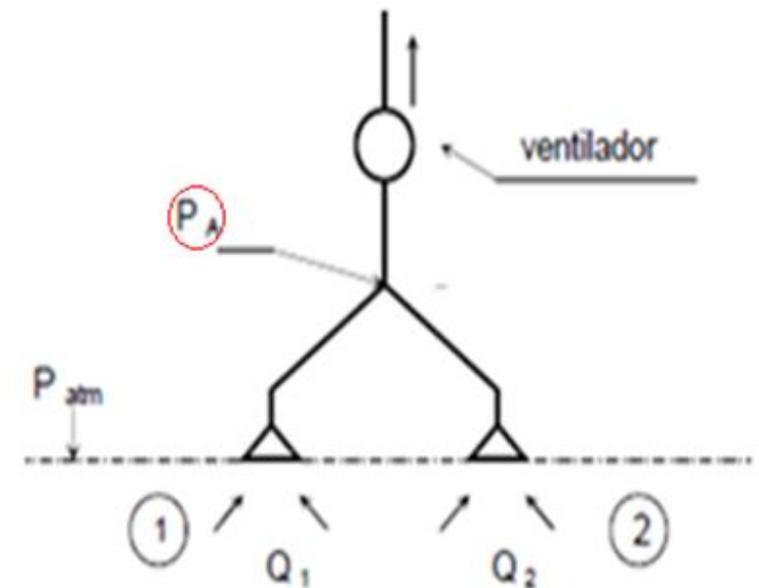
A partir de la selección de una velocidad, adecuada al contaminante que se transporta, se está en condiciones de calcular el diámetro del conducto requerido.

Para los conductos que transportan polvos de debe elegir el conducto comercial disponible con la sección inmediatamente inferior a la calculada, con el fin de asegurar que la velocidad real sea superior a la mínima necesaria.

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.3. Principios de diseño de ventilación localizada: método de diseño

Si se analiza el funcionamiento de un sistema simple, se tiene un sistema constituido por dos campanas 1 y 2, empalmadas en un nudo y que ambas campanas aspiran diferentes caudales mediante un ventilador ubicado al final de la continuidad del nudo (como muestra la siguiente figura):



G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.3. Principios de diseño de ventilación localizada: método de diseño

Se considera conveniente para minimizar las pérdidas, que a cada nudo concurren solo dos tramos, denominados **ramales**, y salga un tercer conducto, denominado **troncal**.

Como las campanas están conectadas al ambiente, la presión existente en el frente cada una de ellas es igual a la presión atmosférica (p_{atm}).

La presión ejercida en el nudo A la denominamos p_A .

La caída de presión que se produce a lo largo del tramo 1-A es: $\Delta p_{1-A} = p_{atm} - p_A$

La caída de presión que se produce a lo largo del tramo 2-A es: $\Delta p_{2-A} = p_{atm} - p_A$

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.3. Principios de diseño de ventilación localizada: método de diseño

Comparando las ecuaciones anteriores, se concluye que:

En un sistema de ventilación localizado por extracción en funcionamiento, para todos los caminos, que comienzan en distintas campanas y terminan en un mismo nudo, **la caída de presión estática es siempre la misma.**

En la práctica siempre se produce lo que se denomina **«equilibrio de la presión estática en cada nudo»**, que determina que el caudal total de aire aspirado por el ventilador se distribuya de forma automática entre los diferentes tramos, de acuerdo a las resistencias que presentan cada uno de ellos.

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.3. Principios de diseño de ventilación localizada: método de diseño

El objetivo de un sistema de ventilación localizado por extracción es lograr que en cada campana se aspire un caudal de aire que, **como mínimo, sea igual al caudal de aspiración de diseño**, cumpliendo de esa forma con el objetivo primordial de la protección a la salud.

Para lograr la distribución adecuada del caudal total entre las campanas de aspiración, el proyectista dispone de dos métodos de cálculo: el «Método de equilibrio por compuertas» y el «Método de equilibrio por diseño».

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.3. Principios de diseño de ventilación localizada: método de equilibrio por compuertas

El criterio de diseño consiste en calcular los diámetros de los conductos utilizando la ecuación de continuidad, donde el caudal será aquel que depende del diseño de la respectiva campana de captación y la velocidad es la velocidad de transporte correspondiente al contaminante captado. En cada empalme se suman los caudales de las corrientes aportadas por los conductos que concurren al mismo, y con este nuevo caudal y la velocidad de transporte elegida se calcula el área y el diámetro del troncal. Este cálculo se reitera hasta llegar al punto de descarga del sistema.

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.3. Principios de diseño de ventilación localizada: método de equilibrio por compuertas

Con estos diámetros así calculados, se diseña el sistema y se lo instala, con el **agregado de compuertas de regulación**, a la salida de cada campana. Cuando el sistema se pone en funcionamiento, las compuertas se ajustan para lograr el caudal de diseño en cada campana. El ventilador instalado debe tener la potencia adecuada para satisfacer las necesidades del sistema.

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.3. Principios de diseño de ventilación localizada: método de equilibrio por diseño

El método propuesto consiste en **lograr la distribución de los caudales** en los distintos tramos, que deben ser iguales o mayores que los caudales de diseño, sin el empleo de las compuertas de regulación. El cálculo comienza con la elección y dimensionamiento de las campanas conectadas a conductos con mayores resistencias, se elige la velocidad de transporte mínima adecuada al contaminante, y luego el caudal calculado. Se calcula el área y las dimensiones de cada conducto que concurren a un mismo nudo. A partir del nudo, la velocidad deberá ser igual o mayor a la velocidad de transporte del contaminante mas demandante. Para ciertos casos donde no hay campanas, se suele establecer un caudal de aspiración recomendado del cual existen tablas (como granalladoras, arenadoras y otros).

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.3. Principios de diseño de ventilación localizada: método de equilibrio por diseño

A partir de las longitudes de los tramos rectos y de los accesorios de esos conductos, se calculan las pérdidas de carga de los mismos y se las comparan entre sí. Si no son iguales, es decir que no se logra el equilibrio de presión estática en el nudo considerado, se modifican las variables de cálculo (diámetro) hasta lograr dicho equilibrio. A partir de allí se sigue avanzando siguiendo el trazado de los conductos, nudo a nudo, hasta terminar en la descarga del sistema. Cada vez que se llega a un nudo debe **verificarse el cumplimiento del equilibrio de la presión estática**, siguiendo el camino desde cada una de las campanas consideradas hasta el nudo analizado.

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.3. Principios de diseño de ventilación localizada: método de equilibrio por diseño

A partir de las longitudes de los tramos rectos y de los accesorios de esos conductos, se calculan las pérdidas de carga de los mismos y se las comparan entre sí. Si no son iguales, es decir que no se logra el equilibrio de presión estática en el nudo considerado, se modifican las variables de cálculo (diámetro) hasta lograr dicho equilibrio. A partir de allí se sigue avanzando siguiendo el trazado de los conductos, nudo a nudo, hasta terminar en la descarga del sistema. Cada vez que se llega a un nudo debe **verificarse el cumplimiento del equilibrio de la presión estática**, siguiendo el camino desde cada una de las campanas consideradas hasta el nudo analizado.

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.3. Principios de diseño de ventilación localizada: método de equilibrio por diseño

Generalmente, en las instalaciones industriales se utilizan sistemas de ventilación calculados mediante el **método de equilibrio por diseño**. Las pérdidas de presiones estáticas, que se producen al circular el aire a través de una campana y por el conducto conectado a ella, hasta el nudo correspondiente, se clasifican en tres tipos y se expresan en mmca:

- ✓ Pérdidas por fricción en tramos rectos de conductos: h_1
- ✓ Pérdidas localizadas por accesorios: h_2
- ✓ Pérdidas por entrada: h_3

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.3. Principios de diseño de ventilación localizada: método de equilibrio por diseño

Teniéndose un total de pérdida de presión estática del tramo considerado de:

$$\sum h = h_1 + h_2 + h_3$$

Además, si se aplica el principio de funcionamiento que se describió previamente, en un nudo donde llegan dos tramos distintos, la caída de presión estática total es siempre la misma:

$$\sum h_{1-A} = \sum h_{2-A}$$

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.3. Principios de diseño de ventilación localizada: método de equilibrio por diseño

Entonces, el procedimiento de cálculo por este método se resume como:

1. Una vez determinada la distribución de la red de conductos, se elige el ramal que, por sus características, tales como caudal a conducir, longitud y cantidad y tipo de accesorios, se considera que producirá la pérdida de presión mayor. En caso de que la elección no sea la correcta, puede ocurrir que haya que realizar más pasos hasta lograr el equilibrio estático del sistema.

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.3. Principios de diseño de ventilación localizada: método de equilibrio por diseño

Entonces, el procedimiento de cálculo por este método se resume como:

2. Luego se determina el diámetro del conducto, la velocidad mínima dentro del conducto y la campana, que se selecciona viendo la tabla de acuerdo con el tipo del contaminante a transportar y calculando el caudal mínimo a aspirar por la campana conectada a dicho ramal. Determinar las pérdidas de presión de los tramos, que incluyen las pérdidas de las campanas, que concurren a un nudo dado.
3. Se determinan las pérdidas totales.

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.3. Principios de diseño de ventilación localizada: método de equilibrio por diseño

4. Se repite el cálculo para el ramal que concurre al mismo nudo que el ramal anterior y se determina la nueva pérdida de presión estática total. Se deben comparar las pérdidas de presión estática total de ambos ramales si no se logra el equilibrio.
 - ✓ En el caso que se trate de **conductos que transporten partículas**, se debe respetar el mayor de los valores obtenidos, que se denomina pérdida de presión estática total fija, y es la que se requiere para lograr en el tramo la velocidad mínima de transporte de las partículas. En caso contrario comenzará la sedimentación de las partículas en el conducto.

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.3. Principios de diseño de ventilación localizada: método de equilibrio por diseño

La pérdida de presión estática total de menor valor, correspondiente al otro tramo, se denomina pérdida de presión estática total variable y deberá ser aumentada hasta lograr igualarse con la pérdida de presión estática total fija.

- ✓ En el caso que se trate de conductos que transporten gases y/o vapores, al no existir una necesidad de mantener velocidades mínimas de transporte, se busca optimizar el diseño para lograr el menor costo del sistema, usando velocidades bajas. Por lo tanto, en este caso se puede proceder igual que en el caso anterior.

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.3. Principios de diseño de ventilación localizada: método de equilibrio por diseño

5. Se calcula el peso relativo de las pérdidas de carga respecto del total. Así:
- ✓ Si las pérdidas de carga representan el 5 % o menos, se considera que la pérdida a lo largo de ambos tramos es la misma para los fines de diseño.
 - ✓ Si se encuentran entre el 5 % y el 20 %, se recalcula el tramo que presenta menor pérdida, aumentando el caudal (con la velocidad), hasta lograr una diferencia menor al 5 %.
 - ✓ Cuando la pérdida supera el 20 %, se recalcula manteniendo el caudal y disminuyendo el diámetro en el tramo de menor pérdida.

Si se transporten **gases o vapores** se recalcula el tramo que presenta la mayor caída de presión, preservando el caudal que circula por el conducto y aumentando su diámetro.

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.3. Principios de diseño de ventilación localizada: método de equilibrio por diseño

6. A continuación del nudo considerado se conecta el tramo denominado **troncal**. El caudal que circula por el conducto troncal es la suma de los caudales que circulan por cada uno de los conductos que concurren al nudo; a partir de este dato las dimensiones y la pérdida de presión total se calculan siguiendo los pasos indicados en los puntos 1 y 2, usando la velocidad de transporte mínima.

El **cálculo de la pérdida de presión total h_t** se realiza sumando las pérdidas del troncal, ya que al no estar dicho troncal conectado a una campana, no existen las pérdidas de entrada. Pero además se debe tener en cuenta la pérdida de presión producida cuando sea necesaria una aceleración de la corriente de aire en el troncal.

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.3. Principios de diseño de ventilación localizada: campana de captación

Se denomina **campana de captación** o campana al elemento de ingreso del aire al sistema de conductos de ventilación. El término campana se usa en un sentido amplio, incluyendo cualquier abertura de succión independientemente de su forma o tamaño, que permite que el aire ingrese al sistema de conductos. La función esencial de la campana es, entonces, crear un flujo de aire que capture eficazmente al contaminante y lo transporte hacia ella.

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.3. Principios de diseño de ventilación localizada: campana de captación

EFFECTOS DE LOS CONTAMINANTES:

INERCIA. Los gases y vapores no presentan una inercia significativa. Lo mismo ocurre con las partículas pequeñas de polvo, de diámetro igual o inferior a 20 micrómetros (que incluye los polvos respirables). Este tipo de materiales se mueve si lo hace el aire que les rodea. En este caso, la campana debe generar una velocidad de control o captura suficiente para controlar el movimiento del aire que arrastra a los contaminantes y, al mismo tiempo, vencer el efecto de las corrientes de aire producidas en el local por otras causas como movimiento de personas, de vehículos, corrientes convectivas, entre otros.

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.3. Principios de diseño de ventilación localizada: campana de captación

EFFECTOS DE LOS CONTAMINANTES:

DENSIDAD. Con frecuencia la ubicación de las campanas se decide, erróneamente, sobre la base de suponer que los contaminantes químicos son más densos que el aire. En la mayor parte de las aplicaciones relacionadas con los riesgos para la salud, este criterio es de poco valor. Las partículas de polvo, los vapores y los gases que pueden representar un riesgo para la salud tienen un comportamiento similar al aire, y no se mueven apreciablemente hacia arriba o hacia abajo a causa de densidad propia, sino que son arrastradas por las corrientes de aire. Por lo tanto, el movimiento habitual del aire asegura una dispersión uniforme de los contaminantes.

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.3. Principios de diseño de ventilación localizada: campana de captación

CAMPANAS DE PROCESOS CONFINADOS:

Son campanas que encierran, de la forma más completa posible, a los procesos contaminantes que deben controlar. Los confinamientos no son herméticos pues existen aberturas para la entrada o salida de materiales, aberturas de observación, fisuras en los cerramientos, entre otros, por lo que es necesaria la extracción del aire para el control de la dispersión de los contaminantes.

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.3. Principios de diseño de ventilación localizada: campana de captación

Si se considera la velocidad con que el aire pasa a través de las aberturas que presenta el cerramiento, y se la denomina velocidad sobre las aberturas v_{AB} . El área total de aberturas, que se obtiene sumando todas las aberturas parciales que presenta el cerramiento, se denomina A_{TAB} . El caudal volumétrico de aspiración será:

$$Q = v_{AB} \cdot A_{TAB}$$

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

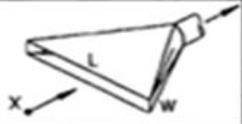
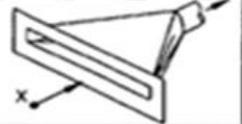
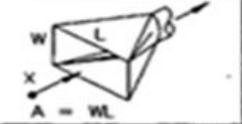
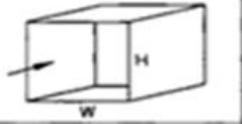
G.3.3. Principios de diseño de ventilación localizada: campana de captación

Las velocidades sobre las aberturas deben tener magnitudes tales, que superen a las velocidades de escape inducidas por los procesos ubicados dentro de los cerramientos. En la tabla presentada en el principio del apartado, **se recomiendan velocidades de aspiración dependiendo del tipo de contaminante generado** en el o los procesos.

Este tipo de campanas es el más eficiente porque maneja el menor caudal de aire para lograr el control de la dispersión de los contaminantes.

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.3. Principios de diseño de ventilación localizada: cabinas

TIPO DE CAMPANA	DESCRIPCIÓN	FACTOR DE FORMA W/L	CAUDAL
	RENDUJA	0,2 Ó MENOS	$Q = 3,7 LVX$
	RENDUJA CON PESTAÑA	0,2 Ó MENOS	$Q = 2,6 LVX$
	CAMPANA SIMPLE	0,20 Ó SUPERIOR Y CIRCULAR	$Q = V(10X^2 + A)$
	CAMPANA SIMPLE CON PESTAÑA	0,2 Ó SUPERIOR Y CIRCULAR	$Q = 0,75V(10X^2 + A)$
	CABINA	ADAPTADA A LA OPERACIÓN	$Q = VA = VWH$
	CAMPANA ELEVADA	ADAPTADA A LA OPERACIÓN	$Q = 1,4 PVH$ VER VS-903 P = PERÍMETRO H = ALTURA SOBRE LA OPERACIÓN

En la siguiente imagen se detallan las diferentes campanas, donde:

- x: distancia de captación [m]
- v: velocidad adoptada [m/s]
- A: sección de la campana [m²]
- W: ancho [m]
- L: largo [m]

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.3. Principios de diseño de ventilación localizada: cabinas

Las **cabinas** son recintos que presentan un frente total o parcialmente abierto para acceso. El proceso contaminante se realiza en su interior. Se extrae un caudal de aire suficiente para inducir en el frente de la cabina, una velocidad promedio denominada **velocidad de aspiración (v_0)**, que en general basta para superar la tendencia al escape del aire contaminando.

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.3. Principios de diseño de ventilación localizada: cabinas

La velocidad en el frente de la cabina es función del proceso a controlar, que determina las condiciones de dispersión de los contaminantes, de la toxicidad de estos últimos y la magnitud de las velocidades de las corrientes del local.

El caudal a aspirar será:

$$Q = v_a \cdot A_f$$

donde A_f es el área del frente abierto máximo de la cabina y que es igual a: $A_f = h \cdot l$, siendo l el largo y h la altura. Este tipo de disposición es muy eficiente. Las paredes de la cabina no sólo reducen la magnitud del caudal a extraer, sino que actúan como pantallas que evitan los efectos adversos directos de las corrientes erráticas del local.

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.5. Selección de un ventilador y punto de operación

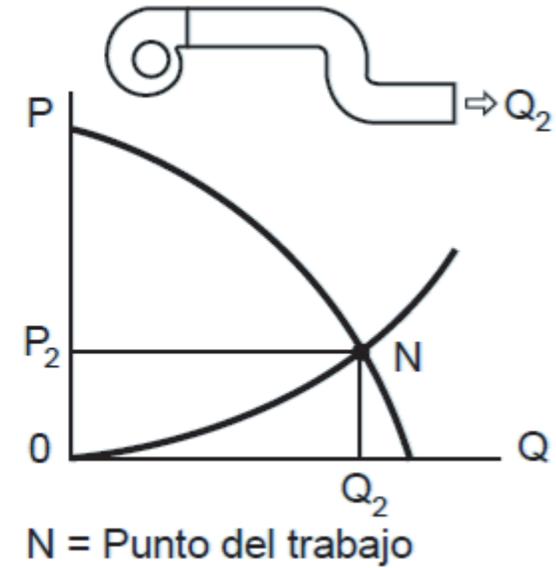
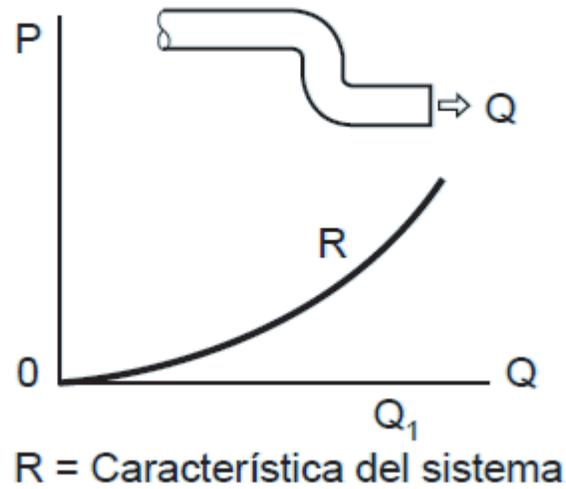
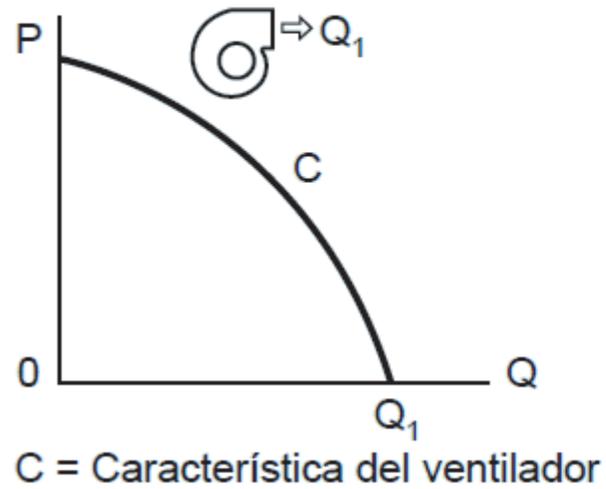
De manera análoga a fluidos líquidos, para elegir un ventilador (considerando un modelo dentro de una familia cuya tecnología es la más adecuada a la necesidad) se debe determinar el punto de operación, buscando que también sea el punto de máxima eficiencia (PME).

La curva característica del ventilador representará la presión estática que hay que vencer, mientras que la curva del sistema aludirá a la presión dinámica producto de que el aire debe estar en movimiento.

Simbólicamente:

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.5. Selección de un ventilador y punto de operación



Fuente: «Manual práctico de Ventilación», de Salvador Escoda S.A.

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.5. Selección de un ventilador y punto de operación



HC/EW

Ventiladores helicoidales murales, equipados con motor asíncrono de alta eficiencia IE3 regulable electrónicamente.

Hélice de plástico reforzada en fibra de vidrio.

Ventilador:

- Dirección aire motor-hélice.
- Hélice en poliamida 6 reforzada con fibra de vidrio.
- Marco soporte en chapa de acero.
- Como accesorio, rejilla de protección contra contactos según norma UNE-EN ISO 12499:2010

Motor y variador electrónico :

- Motores eficiencia IE3, regulables electrónicamente.
- Se suministrará el variador de velocidad VSD según pedido.
- Variador electrónico de velocidad (VSD) regulable mediante señal externa de 0-10 V.
- Se recomienda instalar filtros senoidales entre ventilador y variador electrónico de velocidad (VSD), cuando haya gran distancia entre ellos.
- Se recomienda instalar el variador electrónico de velocidad (VSD) fuera de la zona de trabajo.
- La señal externa puede suministrarse a través de un control manual o automático con salida 0-10 V.
- Variador electrónico de velocidad (VSD), disponibles con entrada monofásica 220-240 V 50/60 Hz hasta 3CV (Tipo VSD1/A-RFM) o con entrada trifásica 380-415 V 50/60 Hz (Tipo VSD3/A-RFT). Protección estándar IP20 hasta 15 CV, potencias mayores IP55. Bajo pedido protección IP66 hasta 10 CV.

- Por defecto se entrega el variador electrónico de velocidad (VSD) programado a velocidad constante.
- Temperatura de trabajo ventilador: -25 °C +60 °C.
- Temperatura de trabajo (VSD): -25 °C +50 °C.
- Motores clase F, con rodamientos a bolas, protección IP55.
- Trifásicos 230/400 V 50 Hz. (hasta 4kW) y 400/690 V 50 Hz. (potencias superiores a 4kW)

Acabado:

- Anticorrosivo en resina de poliéster polimerizada a 190 °C, previo desengrase con tratamiento nanotecnológico libre de fosfatos.

Bajo demanda:

- Conjunto motor, hélice y rejilla (versión F).
- Conjunto motor, hélice y rejilla (versión G).
- Dirección aire hélice-motor.



VARIADOR VELOCIDAD
VSD: Variador electrónico de velocidad.
- VSD1/A-RFM
- VSD3/A-RFT
Suministro según pedido



CONTROL
Suministro como accesorio opcional



ALIMENTACIÓN
VSD1/A-RFM:
220-240 V 50/60 Hz
VSD3/A-RFT:
380-415 V 50/60 Hz

Fuente: SODECA

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.5. Selección de un ventilador y punto de operación

Características técnicas

Modelo	Velocidad min/max (r/min)	VSD monofásico 230 V 50/60 Hz		VSD trifásico 400 V 50/60 Hz		Intensidad máxima Motor 50 Hz (A)			Potencia eléctrica máxima (kW)	Caudal máximo min/max (m³/h)	Nivel presión sonora min/max dB(A)	Peso aprox. (Kg)
		Intensidad máxima entrada (A)	Modelo VSD	Intensidad máxima entrada (A)	Modelo VSD	230V	400V	690V				
HC/EW-71-4T/H	575/1440	15,78	VSD1/A-RFM-2	4,38	VSD3/A-RFT-2	5,41	3,11	-	1,50	8905 / 22300	58 / 78	35
HC/EW-71-6T/H	375/940	8,69	VSD1/A-RFM-1	2,41	VSD3/A-RFT-1	3,36	1,93	-	0,75	6980 / 17500	46 / 66	36
HC/EW-80-4T/H	575/1440	-	-	7,20	VSD3/A-RFT-5.5	10,70	6,15	-	3,00	13175 / 33000	62 / 82	55
HC/EW-80-4T/L	575/1440	15,78	VSD1/A-RFM-2	4,38	VSD3/A-RFT-2	5,41	3,11	-	1,50	9985 / 25000	59 / 79	44
HC/EW-80-6T/H	375/940	8,69	VSD1/A-RFM-1	2,41	VSD3/A-RFT-1	3,36	1,93	-	0,75	8775 / 22000	51 / 71	45
HC/EW-80-6T/L	370/925	6,90	VSD1/A-RFM-1	1,92	VSD3/A-RFT-1	2,52	1,45	-	0,55	7680 / 19200	50 / 70	39
HC/EW-90-4T/H	580/1450	-	-	9,48	VSD3/A-RFT-5.5	13,90	8,00	-	4,00	17400 / 43500	66 / 86	68
HC/EW-90-4T/L	575/1440	-	-	7,20	VSD3/A-RFT-5.5	10,70	6,15	-	3,00	13495 / 33800	63 / 83	63
HC/EW-90-6T/H	380/950	16,64	VSD1/A-RFM-2	4,62	VSD3/A-RFT-2	6,43	3,70	-	1,50	13320 / 33300	56 / 76	60
HC/EW-90-6T/L	380/945	12,43	VSD1/A-RFM-2	3,45	VSD3/A-RFT-2	4,68	2,69	-	1,10	10535 / 26200	53 / 73	55
HC/EW-100-4T/H	585/1465	-	-	12,81	VSD3/A-RFT-7.5	-	10,30	5,97	5,50	21565 / 54000	68 / 88	85
HC/EW-100-4T/L	580/1450	-	-	9,48	VSD3/A-RFT-5.5	13,90	8,00	-	4,00	17000 / 42500	64 / 84	71
HC/EW-100-6T/H	380/950	16,64	VSD1/A-RFM-2	4,62	VSD3/A-RFT-2	6,43	3,70	-	1,50	14800 / 37000	58 / 78	63
HC/EW-100-6T/L	380/945	12,43	VSD1/A-RFM-2	3,45	VSD3/A-RFT-2	4,68	2,69	-	1,10	11300 / 28100	56 / 76	73

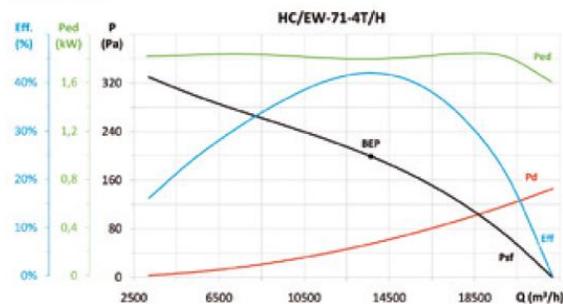
Fuente: SODECA

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.5. Selección de un ventilador y punto de operación

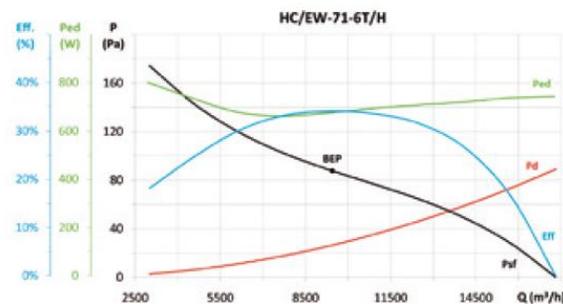


Erp. Curvas características y datos ErP



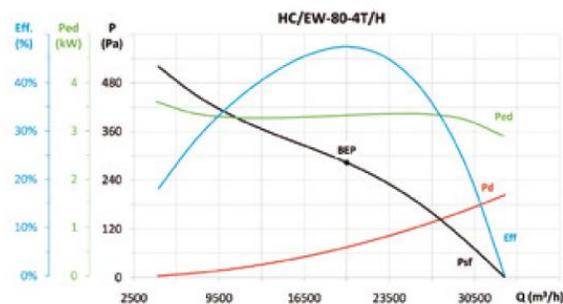
MC	EC	SR	Cc	η_e (%)*	N	[kW]	[m³/h]	[Pa]	[rpm]	VSD
C	S	1,00	1,07	44,9%	49,6	1,796	13627	199,3	1441	NECESSARY

* η_e (%) = Eff. (%) x Cc



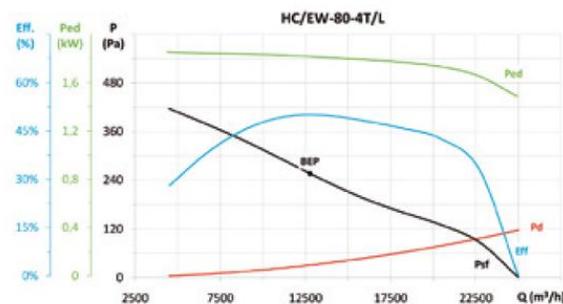
MC	EC	SR	Cc	η_e (%)*	N	[kW]	[m³/h]	[Pa]	[rpm]	VSD
C	S	1,00	1,10	37,4%	44,8	0,675	9443	87,7	959	NECESSARY

* η_e (%) = Eff. (%) x Cc



MC	EC	SR	Cc	η_e (%)*	N	[kW]	[m³/h]	[Pa]	[rpm]	VSD
C	S	1,00	1,05	49,8%	52,9	3,321	19996	283,5	1444	NECESSARY

* η_e (%) = Eff. (%) x Cc



MC	EC	SR	Cc	η_e (%)*	N	[kW]	[m³/h]	[Pa]	[rpm]	VSD
C	S	1,00	1,07	53,5%	58,2	1,818	12760	256,6	1440	NECESSARY

* η_e (%) = Eff. (%) x Cc

Fuente: SODECA

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.5. Filtrado de aire: introducción

El filtrado de aire en los sistemas de ventilación y aire acondicionado es importante, sobre todo: en instalaciones medicinales, farmacéuticas, nucleares y electrónicas.

Los sistemas de ventilación y aire acondicionado donde el aire es impulsado, **deben eliminar los componentes contaminantes** con dispositivos de eliminación de las partículas de polvo, polen y bacterias que se originan en forma natural o por la contaminación humana. Es posible que en algunos casos se deban eliminar gases cuyo olor es desagradable o su composición sea contaminante.

Si bien existen exigencias mínimas de filtrado, la eficiencia necesaria del filtrado es determinada por la naturaleza del área a ser acondicionada.

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.5. Filtrado de aire: polvos

Son las partículas finas de sustancias orgánicas e inorgánicas en suspensión en la atmósfera. Incluye fibras animales y vegetales, polen, sílice, bacterias y moho.

En las ciudades, el polvo atmosférico contiene un gran número de partículas de humo y de hollín. En una ciudad industrial, la concentración de partículas en el aire puede superar los tres millones por centímetro cúbico, mientras que en el medio del océano o en montañas altas puede ser de unos pocos centenares de miles por centímetro cúbico.

Las partículas de polvo tienen un tamaño que varía desde el medio micrón hasta muchas veces esa dimensión. Se mantienen suspendidas en el aire durante largos periodos y pueden ser transportadas a grandes distancia.

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.5. Filtrado de aire: aerosoles

En ingeniería ambiental, se denomina **aerosol** a una mezcla heterogénea de partículas sólidas o líquidas suspendidas en el aire. El tamaño de las partículas puede ser desde 0.002 micrones a más de 100, esto es, desde unas pocas moléculas hasta el tamaño en que no puedan permanecer suspendidas en el aire.

La generación de aerosoles puede ser de origen natural o debido a la actividad humana. Algunas partículas de origen natural, proceden de volcanes, de tormentas de polvo, de los incendios forestales, de la quema de pastizales, y de la pulverización de agua marina. Las actividades humanas, como la quema de combustibles y la alteración de la superficie terrestre generan aerosoles.

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.5. Filtrado de aire: aerosoles

A fin de concebir el campo de tamaños de las partículas, se puede mencionar que:

- ✓ Las partículas consideradas macroscópicas (visibles al ojo humano) tienen un tamaño igual o superior a 10 micrones.
- ✓ Las partículas sólidas del humo de cigarrillos tienen un tamaño entre 0.01 y 1 micrón.
- ✓ El tamaño de las bacterias está entre 0.3 y 40 micrones.
- ✓ El tamaño del talco cosmético está entre 0,5 y 50 micrones.
- ✓ El tamaño de las cenizas está entre 1 y 50 micrones.
- ✓ El espesor de un cabello humano esta entres 30 y 400 micrones.

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.5. Filtrado de aire: definición

Un filtro de aire es un dispositivo que elimina partículas de polvo, polen y bacterias del aire. Los filtros de aire encuentran son utilizados donde la calidad del aire es de relevancia, especialmente en los sistemas de ventilación de edificios. Para el filtrado de aire en instalaciones de ventilación y aire acondicionado, hay cuatro tipos de materiales básicos usados para los filtros de aire mecánicos: papel, espuma, fibras sintéticas y algodón.

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.5. Filtrado de aire: concepto de eficiencia

La eficiencia es un valor que permite evaluar cuanto polvo contenido en el aire que atraviesa al filtro es retenido y cuanto lo atraviesa. Por ejemplo una eficiencia del 80 % indica que el filtro durante su funcionamiento deja pasar al lado del aire limpio el 20 % del polvo que filtra ya que el 80 % es retenido. La eficacia de los filtros de aire influye significativamente en la calidad del aire interior del recinto acondicionado.

La eficiencia de un filtro queda establecida por el tipo de prueba al que es sometido y a la norma bajo la cual se mide la eficiencia.

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.5. Filtrado de aire: concepto de eficiencia

Son tres las pruebas utilizadas para determinar la eficiencia de los filtros de aire.

1. PRUEBA DE RETENCIÓN (ARRESTANCIA): Esta prueba determina únicamente el porcentaje en peso que retiene el filtro del total del polvo que es contenido en el aire que atraviesa el filtro. Por ejemplo: un filtro con 90 % de «arrestancia» (retención) significa que el 90% del peso del polvo es retenido por el filtro.

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.5. Filtrado de aire: concepto de eficiencia

Son tres las pruebas utilizadas para determinar la eficiencia de los filtros de aire.

2. **PRUEBA DE MANCHA:** En esta prueba se mide la opacidad relativa entre lo sucio resultante sobre un blanco colocado en el lado del aire limpio y otro colocado en el lado del aire sucio. La eficiencia es un valor correspondiente al porcentaje de disminución de la transmisión de la luz relativa entre ambos blancos. Este ensayo está basado en el método de prueba ASHRAE* 52.1-1999.

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.5. Filtrado de aire: concepto de eficiencia

Son tres las pruebas utilizadas para determinar la eficiencia de los filtros de aire.

3. PRUEBA D.O.P.: Esta prueba consiste en dejar evaporar en un flujo de aire, no contaminado, la sustancia Di-Octanil-Phtalato (sustancia que al ser calentada emana partículas uniformes de 0,3 micrones). El filtro es sometido al flujo del aire contaminado con D.O.P. y la eficiencia se determina por la medición de la reflexión de la luz causada por el contenido remanente de D.O.P. en el lado del aire limpio.

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.5. Filtrado de aire: concepto de eficiencia

Comparativamente, se puede resumir la diferencia y el concepto de las pruebas de la siguiente forma: La retención (arrestancia) de un filtro es una medida independiente del tipo de polvo que se desea filtrar. La prueba de mancha depende exclusivamente del tipo de polvo al que se someta el filtro. La prueba D.O.P. generaliza el tipo y tamaño de las partículas contaminantes.

En forma aproximada se podría afirmar que «arrestancia» es una eficiencia en peso del contaminante. La «prueba de «mancha» es un ensayo del volumen del contaminante, y D.O.P. es una prueba exclusivamente por el conteo de las partículas contaminantes.

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.5. Filtrado de aire: clasificación según eficiencia

Si bien existen otras normas, las más utilizadas son las normas EN 779 y EN 1822 Europeas y la norma 52.2 de ASHRAE.

Las norma EN 779 y EN 1822 designan los filtros mediante letras y números:

- ✓ G1, G2, G3 y G4 Para los filtros de paso de polvo grueso
- ✓ F5, F6, F7, F8 y F9 para los filtros de paso de polvo fino.
- ✓ H10, H11, H12, H13 y H14 para los filtros de alta eficiencia.
- ✓ U15, U15 y U17 para los filtros de ultra alta eficiencia.

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.5. Filtrado de aire: clasificación según eficiencia

NORMA	CLASE	RETENCIÓN MEDIA (Arrestancia)	EFICIENCIA MEDIA (Prueba de mancha)	EFICIENCIA (Prueba D.O.P)
EN 779	G1 G2 G3 G4	Menor que 65 % Entre 65 y 80 % Entre 80 y 90 % Mayor que 90 %		
EN779	F5 F6 F7 F8 F9		Entre 40 y 60 % Entre 60 y 80 % Entre 80 y 90 % Entre 90 y 95 % Mayor que 95 %	
EN 1822 HEPA** 0,3 μ	H10 H11 H12 H13 H14			Mayor que 85 % Mayor que 95 % Mayor que 99,5 % Mayor que 99,95 % Mayor que 99,995 %
EN 1822 ULPA *** 0,12 μ	U15 U16 U17			Mayor que 99,9995 % Mayor que 99,99995 % Mayor que 99,999995 %

** HEPA – High Efficiency Particle Air) *** ULPA – Ultra Low Penetration Air)

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.5. Filtrado de aire: clasificación según eficiencia

SEGÚN LA NORMAS ASHRAE 52.2:

Esta norma establece la clasificación «MER» (Minimum Efficiency Reporting) – Mínima Eficiencia), clasificación que establece tres amplios grupos, según el tamaño de las partículas:

- ✓ E1: de 0.3 a 1.0 micrones
- ✓ E2: de 1.0 a 3.0 micrones
- ✓ E3: de 3.0 a 10 micrones

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.5. Filtrado de aire: clasificación según eficiencia

Clasificación MER	E1 0,3 – 1,0 μ	E1 1,0 – 3,0 μ	E3 3,0 – 10 μ	RETENCIÓN PROMEDIO (Arrestancia)
MER 1 MER 2 MER 3 MER 4	--	--	Menor que 20% Menor que 20% Menor que 20% Menor que 20%	Menor que 65 % Entre 65 y 69,9% Entre 70 y 74,9% Mayor que 75 %
MER 5 MER 6 MER 7 MER 8	--	--	Entre 20 y 34,9 % Entre 35 y 49,9 % Entre 50 y 69,9 % Entre 70 y 84,9 %	--
MER 9 MER 10 MER 11 MER 12	--	-- Entre 50 y 64,9 % Entre 65 y 79,9 % Entre 80 y 89,9%	Mayor que 85 % Mayor que 85 % Mayor que 85 % Mayor que 90 %	--
MER 13 MER 14 MER 15 MER 16 MER 17 MER 18 MER 19	-- Entre 75 y 84,5 % Entre 85 y 94,9 % 95 % o Mayor Mayor 99,97% Mayor 99,99 % Mayor 99,999 %	90 % o Mayor 90 % o Mayor 90 % o Mayor 95 % o Mayor -- -- --	90 % o Mayor 90 % o Mayor 90 % o Mayor 95 % o Mayor -- -- --	--
MER 20	Partículas 0,12 μ Mayor 99,9999 %	--	--	

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.5. Filtrado de aire: clasificación según eficiencia

TIPO	RETENCIÓN MEDIA (Arrestancia)	EN 779	ASHRAE 52.2	PERDIDA DE CARGA	
				Limpio mm c.a.	Colmatado mm c.a.
FILTROS GRUESOS (Prefiltros)	Menor que 65 %	G1	--	15	25
	Entre 65 y 80 %	G2	MER 1 MER 2 MER 3 MER 4	15	25
	Entre 80 y 90 %	G3	MER 5 MER 6	15	25
	Mayor que 90 %	G4	MER 7 MER 8	15	25

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.5. Filtrado de aire: clasificación según eficiencia

TIPO	EFICIENCIA MEDIA (Prueba de mancha)	EN 779	ASHRAE 52.2	PERDIDA DE CARGA	
				Limpio mm c.a.	Colmatado mm c.a.
FILTROS INTERMEDIOS	Entre 40 y 60 %	F5	MER 9 MER 10	25	50
	Entre 60 y 80 %	F6	MER 11 MER 12	25	50
	Entre 80 y 90 %	F7	MER 13	25	50
	Entre 90 y 95 %	F8	MER 14	25	50
	Mayor que 95 %	F9	MER 15 MER 16	25	50

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.5. Filtrado de aire: clasificación según eficiencia

TIPO	EFICIENCIA MEDIA (Prueba de mancha)	EN 779	ASHRAE 52.2	PERDIDA DE CARGA	
				Limpio mm c.a.	Colmatado mm c.a.
FILTROS HEPA 0,3 μ	Mayor que 85 %	H10	--	35	50
	Mayor que 95 %	H11	--	35	50
	Mayor que 99,5 %	H12	MER 17	35	50
	Mayor que 99,95 %	H13	MER 18	35	50
	Mayor que 99,995 %	H14	MER 19	35	50
FILTROS ULPA 0,12 μ	Mayor que 99,9995 %	U15	MER 20	35	50
	Mayor que 99,99995 %	U16		35	50
	Mayor que 99,999995 %	U17		35	50

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.5. Filtrado de aire: clasificación según eficiencia

TIPO	NECESIDADES DE FILTRADO	EN 779	APLICACIÓN
FILTROS GRUESOS (Filtros para partículas mayores a 10 μ)	- Insectos	G2	- Protección contra insectos.
	- Polvos de escapes	G3	- Filtrado de aire exterior y retorno en sistemas de aire acondicionado con baja necesidad de calidad de aire.
	- Arena	G3	
	- Esporas	G4	- Filtros de entrada en cabinas de pintura.
	- Polen	G4	- Filtros de campanas de cocinas.
	- Polvo de cemento	G4	- Prefiltros para filtros F6 a F9

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.5. Filtrado de aire: clasificación según eficiencia

TIPO	NECESIDADES DE FILTRADO	EN 779	APLICACIÓN
FILTROS INTERMEDIOS (Filtros para partículas finas de polvo de 1 a 10 μ)	<ul style="list-style-type: none"> - Esporas. - Polen. 	F5	<ul style="list-style-type: none"> - Filtrado del aire exterior para ambientes con bajas necesidades de calidad de aire (talleres, depósitos). - Filtros de entrada en cabinas de pintura. - Filtros de campanas de cocinas. - Prefiltros para filtros F6 a F9
	<ul style="list-style-type: none"> - Polvo de cemento. - Bacterias y gérmenes. - Polvo atmosférico. 	F6	<ul style="list-style-type: none"> - Filtrado final en unidades de tratamiento de aire, para áreas de producción y ventas, almacenes y edificios de oficinas. - Prefiltros para filtros H10 a H11
	<ul style="list-style-type: none"> - Humo de aceite. - Humo de tabaco. - Humos ferrosos 	F7 F8 F9	<ul style="list-style-type: none"> - Filtrado final en unidades de tratamiento de aire, para edificios de oficinas, museos, fábricas, hospitales, centros de cómputos. - Prefiltros para filtros H12 a H14 y filtros de carbón activado-

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.5. Filtrado de aire: clasificación según eficiencia

TIPO	NECESIDADES DE FILTRADO	EN 779	APLICACIÓN
FILTROS ABSOLUTOS HEPA y ULPA	- Gérmenes - Bacterias - Virus - Humo de tabaco - Humo ferroso	H11	- Filtrado final en recintos con altos o altísimos requerimientos (Laboratorios de producción en el campo farmacéutico e industrias alimenticias, como así también miniatura electrónica y técnicas médicas).
	Filtros para partículas menores a $0,1 \mu$	H12	- Filtrado final en salas limpias de las clases 6 y 5 según VDI 2083
	- Vapor de aceite - Aerosoles suspendidos de material radiactivo. - Gérmenes - Bacterias - Virus	H13	- Filtrado final en plantas nucleares - Filtrado de ingreso para salas de operaciones. - Filtrado final en ambientes estériles.
			- Filtrado final en salas limpias de las clases 4 y 3 según VDI 2083
	- Aerosoles.	H14 U15 U16	- Filtrado de ingreso para salas de industria de micro electrónica y farmacéutico. - Filtrado final en salas limpias de las clases 2 y 1 según VDI 2083

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.5. Filtrado de aire: filtros de carbón activado

Para la retención de olores y algunos gases que estén presentes en el aire se utilizan filtros de carbón activado.

Los filtros de carbón activado, se basan en el llamado **proceso de adsorción** (no confundirse con absorción). Este proceso tiene lugar por la acción de fuerzas físico-químicas y se basa en la retención en la superficie de un sólido (carbón activado) de las moléculas que hay en disolución en el aire.

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.5. Filtrado de aire: filtros de carbón activado

El carbón activado es un material que se caracteriza por poseer una cantidad muy grande de microporos (poros menores a 1 nanómetro de radio). A causa de su alta microporosidad, un solo gramo de carbón activado puede poseer un área superficial de 500 m² o más.

El carbón activado puede tener un área superficial mayor de 500 m²/g, siendo fácilmente alcanzables valores de 1000 m²/g.

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.5. Filtrado de aire: filtros de carbón activado

- ✓ Supresión de olores y sabores indeseables (desodorización).
- ✓ Retención de solventes: tolueno, xileno, benceno, entre otros.
- ✓ Eliminación de vapores de mercurio.
- ✓ Adsorción de vapores de gasolina.
- ✓ Adsorción de gases radioactivos.
- ✓ Adsorción de gases tóxicos en mascararas para uso civil y militar.
- ✓ Retención de los gases nobles radiactivos, liberados en procesos de la industria nuclear.
- ✓ Eliminación del iodo radiactivo producido en las centrales nucleares.

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.5. Filtrado de aire: filtros de carbón activado

TIPO	NECESIDADES DE FILTRADO	CLASE	APLICACIÓN
FILTROS DE CARBÓN	- Aire de salida de cocinas	- -	- Filtrado de ingreso para áreas, que requieran la ausencia de gases,
ACTIVADO (Filtros para retención de gases y olores)	- Substancia nocivas - Humos - Gases de combustión - Vapores de solventes - Sabores de alimentos - Gases radioactivos.		sustancias nocivas u olores desagradables, - Filtrado final en instalaciones nucleares. - Filtrado de salidas de aire que requieran cumplir con normas de protección ambiental.

G.3. IMPULSIÓN DE FLUIDOS GASEOSOS

G.3.5. Filtrado de aire: filtros de carbón activado

Filtros plisados de mediana eficiencia



- Alta capacidad de carga.
- Baja caída de presión inicial.
- Máxima durabilidad.
- Tipo de plisado radial.
- Marco de cartón troquelado.

Características Constructivas

Los filtros poseen un medio filtrante no tejido, compuesto por fibras de algodón reforzadas con fibras sintéticas con soporte metálico de Expanmetal de aluminio adherido totalmente al medio filtrante. Su tipo de plisado radial ofrece una superficie de filtración 4,6 veces superior respecto al área frontal.

Marco Perimetral:
Fabricado en cartulina doble encapsada de 450 gr/m² de alta resistencia, con refuerzos diagonales en ambas caras resultantes del troquelado de las mismas y está totalmente adherido al medio filtrante en su perimetral.

Aplicaciones

- Instalaciones centrales de aire acondicionado y ventilación industrial de calidad, cubriendo laboratorios, hospitales, edificios de oficinas, centrales telefónicas, auditorios, plantas procesadoras de alimentos, salas de radiodiagnóstico e industrias en general.
- Pre-filtro de etapas posteriores de mayor eficiencia.
- Mejoramiento de la calidad en las tomas de aire exterior o como filtros finales en instalaciones de ventilación industrial.

- Cómo especificar** Filtros plisados de mediana eficiencia, con medio filtrante no tejido, de fibras de algodón reforzadas con fibras sintéticas. Con soporte metálico de Expanmetal de aluminio adherido al medio filtrante y marco perimetral de cartulina doble encapsada, de 450 gr/m² de alta resistencia, con refuerzos diagonales en ambas caras.

Especificar dimensiones en mm.

Presentación

Dimensiones del filtro (mm)	Dimensiones de la caja (mm)	Cantidad de filtros por caja
495x495x24	510x510x310	12
495x597x24	510x610x310	
597x597x24	610x610x310	

Punto de saturación

Utilizando un Manómetro de columna inclinada, se puede determinar cuando los filtros han llegado a su punto de saturación.

Se recomienda para este tipo de filtros, no superar los 230 Pa.

Eficiencias

Modelo	Clasificación según normas			
	DIN 24 192/2	DIN EN 779	INDICE MERV	ASHRAE 52-1-92
PREFIL 4	E14	G4	3	25% < Fm < 40% 90 < Am

Em: Eficiencia a velocidad facial constante de 100m/min. Según ensayo colorimétrico.
Am: Atenuancia promedio en % según ensayo en peso con polvo sintético.

Cuadro de medidas estándar, caudales y pérdidas de carga inicial

Modelo	Dimensiones (mm)			Caudal (m ³ /h)			Pérdida de carga (Pa)			Peso (kg)				
	Ancho	Largo	Espesor	Bajo	Medio	Alto	Bajo	Medio	Alto					
PREFIL 4	495	495	24	1739	1890	2079	70	76	90	0,26				
	495	597		2079	2250	2475					0,34			
	597	597		2557	2790	3069					0,30			
	495	302		1188	1296	1512					0,36			
	495	394		1584	1728	2016					0,44			
	495	495		2079	2268	2646					0,50			
	495	597	394	48	2475	2700	3150	60	76	90	0,47			
					597	597	3095					3348	3816	0,59
					622	597	3168					3456	4032	0,62
					495	495	2646					2835	3024	0,74
					597	597	3906					4185	4464	0,96
					495	495	90					2646	2835	3024
597	597	90	3906	4185	4464	65	76	100	0,96					

INSTRUMENTOS DE MEDICION

Características generales

El Manómetro de columna inclinada es un elemento de control indispensable, en todo sistema de filtrado de aire, ya que permite determinar el momento adecuado para el cambio de los filtros por saturación. Este instrumento también se utiliza para indicar los valores de presión estática en ambientes controlados.

Instalación

Instale el Manómetro en una superficie vertical adecuada. El ambiente debe estar libre de vapores de sustancias cloradas, o solventes tales como benceno, acetona, tetracloruro de carbono, etc. El instrumento permite medir presiones de hasta 700 Pascales y temperaturas de hasta 60°C.

Perfore dos orificios de 3,5mm en línea vertical, con una separación de 100mm e instale el instrumento con los tornillos autorroscantes provistos. Sin apretar demasiado coloque el instrumento de forma vertical con ayuda del nivel incluido en la parte inferior derecha del mismo. Verifique que haya quedado en esa posición y repita el proceso si es necesario.

Llenado

Gire en sentido antihorario la perilla de ajuste de cero hasta que se detenga; gírela nuevamente pero en sentido horario unas tres vueltas, de modo que se deje la posibilidad de ajuste en cualquier dirección. Retire el tapón de llenado en el extremo superior izquierdo e introduzca el líquido lentamente hasta verlo cerca del cero de la escala.

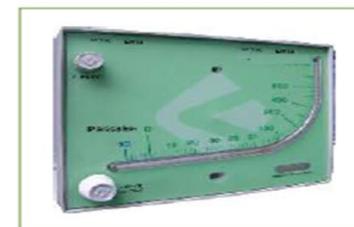
ATENCIÓN: use solamente fluido rojo de peso específico 0,826.

Ajuste exactamente el cero del instrumento girando la perilla según corresponda y reponga el tapón de llenado. Si el ajuste es imposible, por exceso de líquido, retire nuevamente el tapón y extraiga el exceso.

El instrumento incluye dos tubos de PVC flexible de 1,5m cada uno (color rojo y cristal) y adaptadores para conexión a 1/8 pulgadas NPT.

Conecte el tubo rojo a la entrada de alta presión del manómetro (ALTA, a la izquierda) y el otro extremo a la presión más elevada a medir. Repita el procedimiento con el tubo restante en la entrada de baja presión (BAJA, a la derecha) y a la presión más baja a medir. **Este valor, muchas veces, corresponde a la presión atmosférica.**

Manómetro	Rango	Fluido
	-10 a 700 Pascal	0,826 Rojo



Mantenimiento

Verifique periódicamente el nivel de fluido y reajuste el cero del instrumento según sea necesario. Agregue fluido solo si es necesario. Para limpieza use solo jabón neutro y agua, evitando solventes que puedan dañar el instrumento (vea Instalación). Limpie la perilla con un pincel pequeño y suave.

Indicadores

Presión estática: Tenga en cuenta que las velocidades de aire superiores a 5m/seg son una fuente de posibles errores en la medición. Es conveniente usar sondas para presión estática. De no ser disponibles, ingrese las conexiones al conducto en ángulo recto a la corriente de aire, y dele una terminación suave en los extremos.

Saturación de filtros: instale el manómetro a distancia no mayor de 1m del banco filtrante. Conecte el lado de descarga del filtro al conector BAJA en la parte superior del instrumento y el otro tubo al conector ALTA y a la presión positiva. Utilice las flechas autoadhesivas (roja y verde) para indicar lectura de filtro limpio y sucio.

G.4. OPORTUNIDADES DE MEJORA

G.4. OPORTUNIDADES DE MEJORA

G.4.1. Buenas prácticas de diseño de sistemas basados en fluidos mecánicos

1. **Correcto dimensionamiento de los ductos**, esto es, las prestaciones deben estar calculadas acorde con la necesidad del sistema o la planta. El consumo de un ventilador es directamente proporcional a la presión total de trabajo P_t ; de no cuidar el diseño de los ductos (pérdidas de carga) en muchos casos se puede estar consumiendo hasta un 50 % más de energía de lo necesario. Calcular por Darcy, considerando Reynolds. Habitualmente se usan nomogramas.
2. **No exceder las velocidades recomendadas** por ruido y excesivo incremento de potencia consumida.

G.4. OPORTUNIDADES DE MEJORA

G.4.1. Buenas prácticas de diseño de sistemas basados en fluidos mecánicos

- 3. Alturas de captación adecuadas:** la distancia de captación de partículas eleva el consumo de potencia y el mayor dimensionamiento de las secciones y equipos. Una altura excesiva no resulta simple de valorizar ya que ello obliga a manejar caudales mayores y por ende más potencia.
- 4. Dimensionamiento o tipo de filtros.** La incorrecta elección de filtros por sus características y dimensiones son causantes de mayores potencias consumidas, como así también la falta de limpieza de los mismos. Deben observarse durante la operación los indicadores de presión diferenciales de los filtros evitando así alcanzar los valores máximos recomendados.

G.4. OPORTUNIDADES DE MEJORA

G.4.1. Buenas prácticas de diseño de sistemas basados en fluidos mecánicos

5. **Elección de la bomba/ventilador:** el incorrecto dimensionamiento y tipo de bomba/ventilador, genera deficientes prestaciones, problemas logísticos de mantenimiento de los mismos y consumo de potencia o rendimiento). Hay que asegurarse que las curvas características del equipo estén garantizadas por el fabricante y que funcione en la zona óptima de rendimiento.
6. **Las infiltraciones de aire de ventilación.** El deficiente sellado del recinto de ventilación o climatización trae como consecuencia el ingreso de aire no deseado que producirá desbalances y en algunos casos bloqueos de las unidades intercambiadoras. Esto se traduce en mayores costos de energía para refrigeración.

G.4. OPORTUNIDADES DE MEJORA

G.4.2. Leyes de afinidad y su relación con los VFD

Si un ventilador o bomba debe funcionar en condiciones diferentes de las ensayadas, no resulta práctico y/o económico efectuar nuevos ensayos para determinar sus prestaciones. Mediante el uso de las llamadas «leyes de afinidad», es posible determinar, con buena precisión, las nuevas prestaciones a partir de ensayos efectuados en condiciones normalizadas.

Estas leyes están descriptas en forma de ecuaciones y su exactitud es suficiente para la mayoría de las aplicaciones, siempre que el diferencial de presión sea inferior a 3 kPa (en cuyo caso se debería considerar la compresibilidad del gas).

G.4. OPORTUNIDADES DE MEJORA

G.4.2. Leyes de afinidad y su relación con los VFD

Las leyes de afinidad expresan la relación matemática que existe entre el **caudal**, la **velocidad** de la bomba (rpm), la **altura** y el **consumo de energía** para el caso de bombas centrífugas.

Las leyes muestran que una pequeña reducción en el caudal se convertirá en reducciones importantes de potencia y, por tanto, de consumos energéticos. **Las leyes son la base del ahorro energético.**

Cuando se modifica una de las variables involucradas en el rendimiento de la bomba, las otras variables se pueden calcular utilizando la ley de afinidad.

G.4. OPORTUNIDADES DE MEJORA

G.4.2. Leyes de afinidad y su relación con los VFD

Las ecuaciones que se verán a continuación se basan en el hecho de que dos equipos (en este caso, ventiladores) de una serie homóloga tienen también homólogas sus curvas características y, para puntos de operación semejantes, tienen el mismo rendimiento.

Veremos qué ocurre cuando cambian la densidad del aire, la velocidad de giro del motor y el diámetro.

G.4. OPORTUNIDADES DE MEJORA

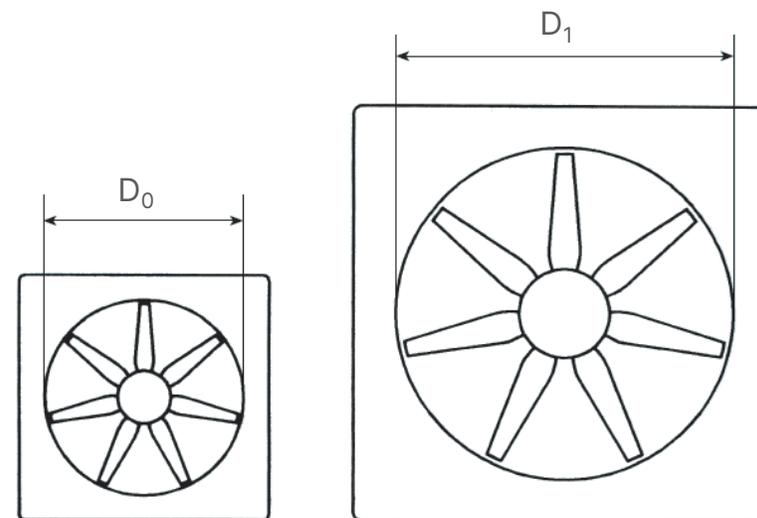
G.4.2. Leyes de afinidad y su relación con los VFD

CAUDAL $\dot{V}_1 = \dot{V}_0 \cdot \left(\frac{D_1}{D_0}\right)^3$

PRESIÓN $p_1 = p_0 \cdot \left(\frac{D_1}{D_0}\right)^2$

POTENCIA $\dot{W}_1 = \dot{W}_0 \cdot \left(\frac{D_1}{D_0}\right)^5$

NIVEL SONORO $L_{wt,1} = L_{wt,0} + 70 \cdot \log\left(\frac{D_1}{D_0}\right)$



Fuente: «Manual práctico de Ventilación», de Salvador Escoda S.A.

G.4. OPORTUNIDADES DE MEJORA

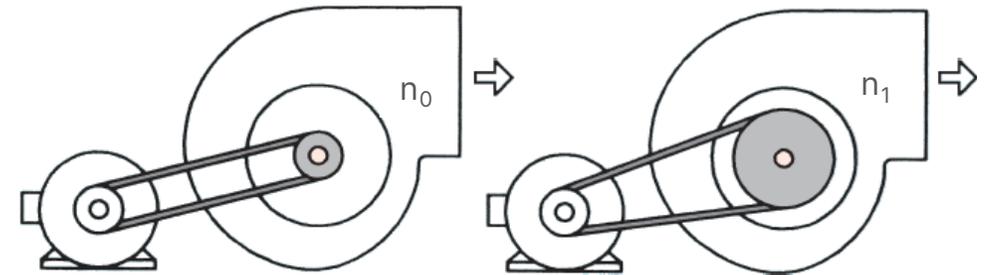
G.4.2. Leyes de afinidad y su relación con los VFD

CAUDAL $\dot{V}_1 = \dot{V}_0 \cdot \frac{n_1}{n_0}$

PRESIÓN $p_1 = p_0 \cdot \left(\frac{n_1}{n_0}\right)^2$

POTENCIA $\dot{W}_1 = \dot{W}_0 \cdot \left(\frac{n_1}{n_0}\right)^3$

NIVEL SONORO $L_{wt,1} = L_{wt,0} + 50 \cdot \log\left(\frac{n_1}{n_0}\right)$



Fuente: «Manual práctico de Ventilación», de Salvador Escoda S.A.

G.4. OPORTUNIDADES DE MEJORA

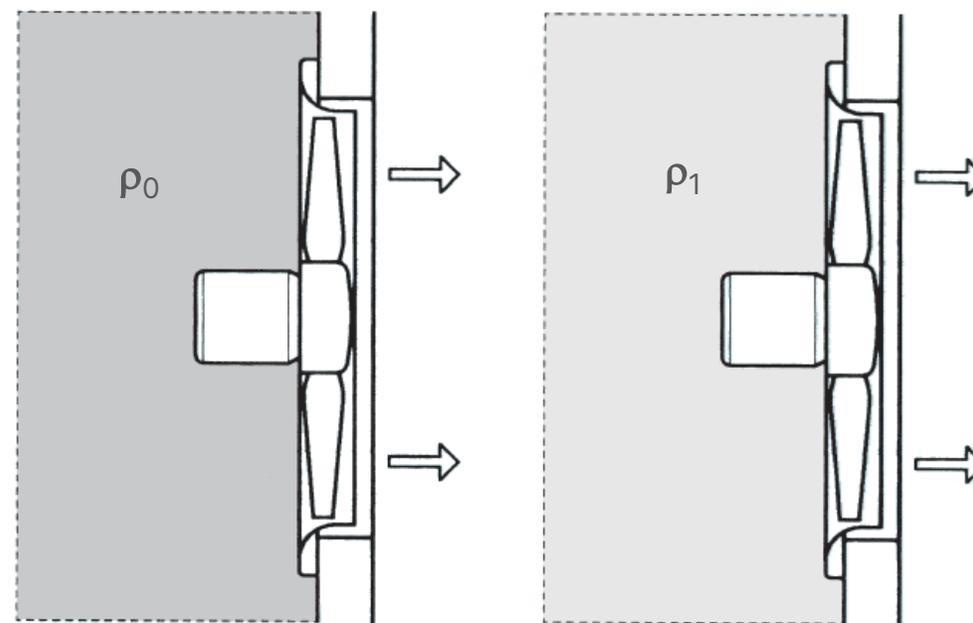
G.4.2. Leyes de afinidad y su relación con los VFD

CAUDAL $\dot{V}_1 = \dot{V}_0$

PRESIÓN $p_1 = p_0 \cdot \frac{\rho_1}{\rho_0}$

POTENCIA $\dot{W}_1 = \dot{W}_0 \cdot \frac{\rho_1}{\rho_0}$

NIVEL SONORO $L_{wt,1} = L_{wt,0} + 20 \cdot \log\left(\frac{\rho_1}{\rho_0}\right)$



Fuente: «Manual práctico de Ventilación», de Salvador Escoda S.A.

G.4. OPORTUNIDADES DE MEJORA

G.4.2. Leyes de afinidad y su relación con los VFD

Además de lo anterior, las leyes permiten obtener la siguiente expresión, que logra resumir el cálculo de pérdidas de carga mayores y menores.

Para cualquier punto de la curva de demanda del sistema, se cumple que:

$$p_{estática,2} = p_{estática,1} \cdot \left(\frac{\dot{V}_2}{\dot{V}_1} \right)^2$$

Esto simplifica enormemente la carga de trabajo para calcular los puntos de la curva, y sólo se necesita partir de las coordenadas de un punto. Concretamente, este punto, dado que pertenece a la curva del sistema, suele ser el punto de diseño: caudal y presión estática necesaria en la cantidad requerida. A partir de él se construye la curva.

G.4. OPORTUNIDADES DE MEJORA

G.4.2. Leyes de afinidad y su relación con los VFD

Como hemos visto, a través de la variación de la densidad del fluido, la velocidad de giro del motor y/o el diámetro de la tubería es posible predecir el comportamiento mecánico sin necesariamente ensayar.

Si a través de los VFD es posible modificar la velocidad de giro, entonces son pertinentes las ecuaciones que responden al segundo grupo de expresiones de las leyes de afinidad. En este sentido, reducir la velocidad en un 5 % a través de un VFD, significa 5¹ % menos de caudal, 5² % menos de presión y, sobre todo, 5³ % menos de potencia. Esto demuestra que la reducción de la velocidad disminuye de manera cúbica la potencia. Esto permite estimar los ahorros de una manera más sencilla, proyectando escenarios para comparar.

G.4. OPORTUNIDADES DE MEJORA

G.4.2. Leyes de afinidad y su relación con los VFD

EJEMPLO:

Sea un ventilador que, girando a 1400 rpm, entrega un caudal de 1500 m³/h a una presión de 22 mmca. instalado en un sistema determinado. La potencia absorbida es 1.5 kW. ¿Qué presión y caudal daría girando a 2000 rpm? ¿Cuánto consumiría entonces?

Caudal	$Q_F = 1500 * 2000 / 1400 = 2143 \text{ m}^3/\text{h}$
Presión	$P_F = 22 * 2000^2 / 1400^2 = 44.9 \text{ mmca}$
Potencia	$P_F = 1.5 * 2000^3 / 1400^3 = 4.373 \text{ kW}$

G.4. OPORTUNIDADES DE MEJORA

G.4.2. Leyes de afinidad y su relación con los VFD

Se considera que el 50% de los motores de inducción en uso están destinados a accionar bombas, sopladores y ventiladores. Estos equipos son calculados para cubrir requerimientos máximos de la carga, aunque, es común que el sistema demande una amplia gama de puntos de operación, hasta fracciones de los parámetros de diseño.

Elementos como válvulas reguladoras o dampers son muy utilizados en ventiladores y bombas para adecuarse a estas necesidades, siendo confiables y simples, pero **afectan severamente la eficiencia del sistema.**

G.4. OPORTUNIDADES DE MEJORA

G.4.2. Leyes de afinidad y su relación con los VFD

El desarrollo de variadores de velocidad plantea una alternativa más eficiente para el control de flujo, permitiendo aprovechar los accionamientos existentes.

El ventilador o bomba mas comúnmente empleado, es el **tipo centrífugo**, el cual imparte la energía al fluido por la **fuerza centrífuga**, incrementando la presión y produciendo un flujo a la salida.

G.4. OPORTUNIDADES DE MEJORA

G.4.2. Leyes de afinidad y su relación con los VFD

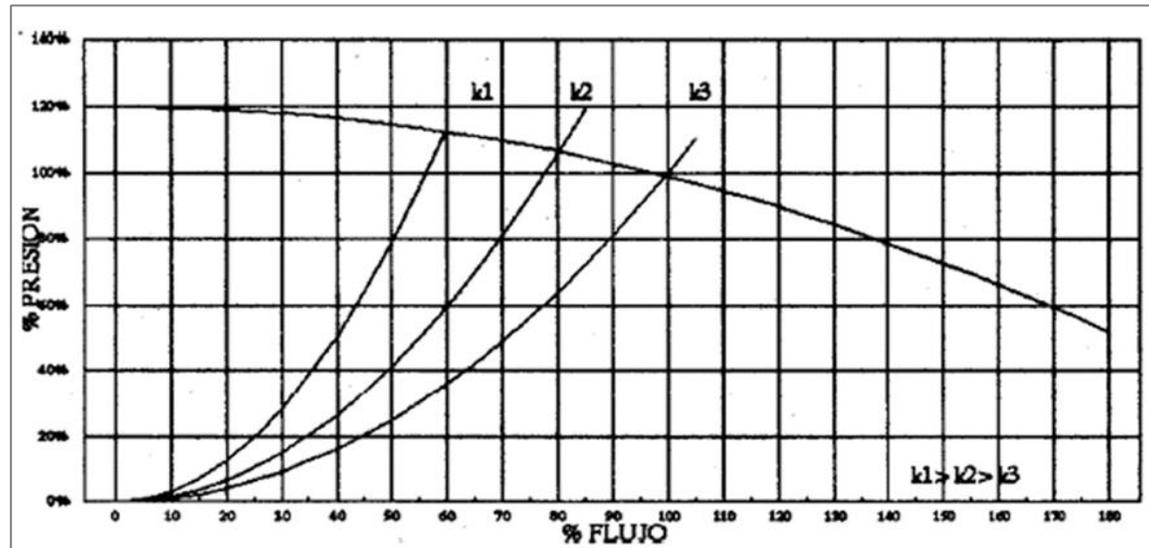
Para poder alcanzar los diferentes puntos de operación requeridos por el sistema, se emplean básicamente tres métodos para modular el flujo:

- ✓ Compuertas en la descarga (gases)
- ✓ Aletas regulables en la entrada (gases)
- ✓ Accionamientos de velocidad variable

G.4. OPORTUNIDADES DE MEJORA

G.4.2. Leyes de afinidad y su relación con los VFD

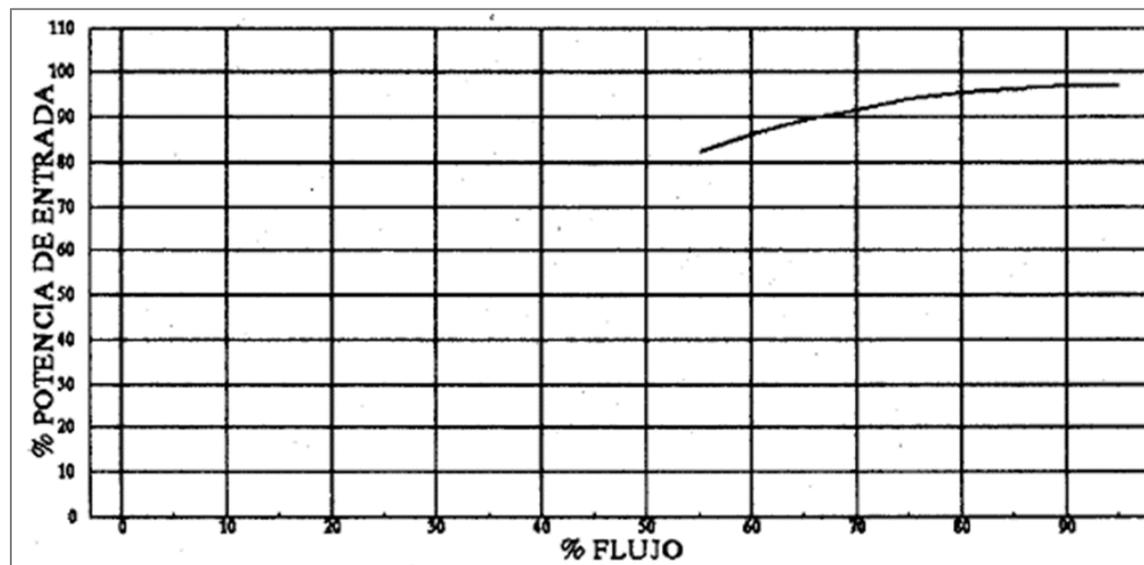
COMPUERTAS EN LA DESCARGA. La regulación se obtiene variando la apertura de las persianas, esto provoca que se incremento la resistencia del aire, afectándose las pérdidas de carga y por lo tanto su curva de operación. Así será:



G.4. OPORTUNIDADES DE MEJORA

G.4.2. Leyes de afinidad y su relación con los VFD

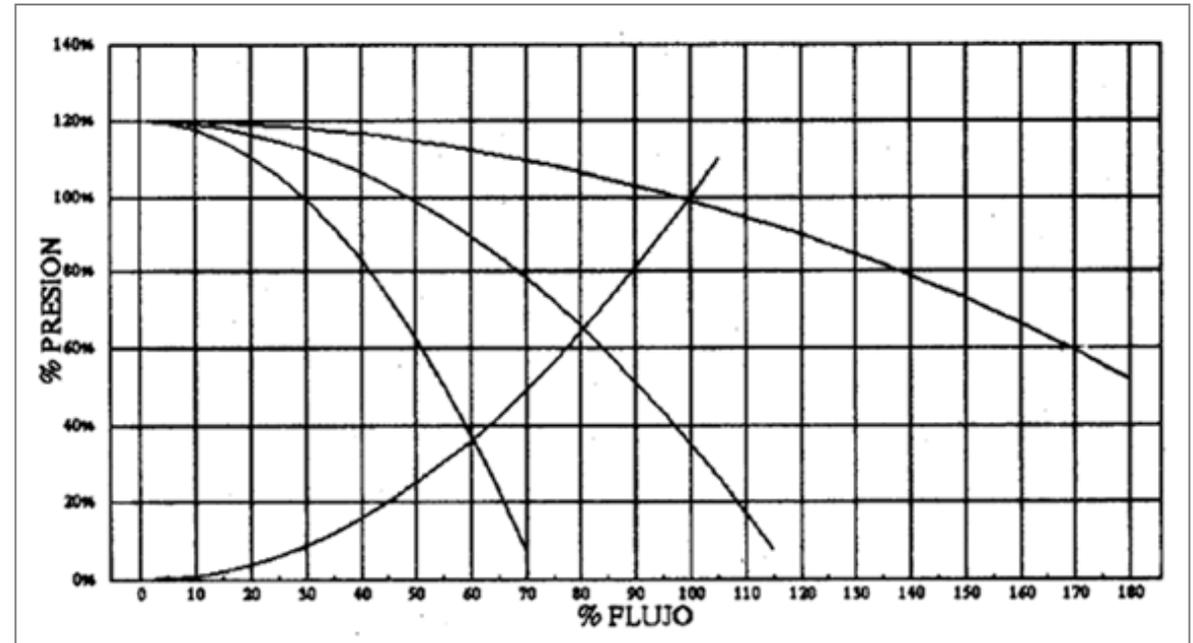
COMPUERTAS EN LA DESCARGA. El arreglo permite tener diferentes puntos de operación. La reducción en el flujo está acompañada de un incremento en la presión y los requerimientos de potencia decrecen gradualmente con la disminución del flujo.



G.4. OPORTUNIDADES DE MEJORA

G.4.2. Leyes de afinidad y su relación con los VFD

ALETAS REGULABLES EN LA ENTRADA.
Se regula la posición de las aletas de la succión, modificándose la curva del ventilador la que intercepta la curva del sistema en diferentes puntos. Al disminuir el flujo se reduce la presión, requiriendo menor potencia para el mismo caudal respecto del método anterior.



G.4. OPORTUNIDADES DE MEJORA

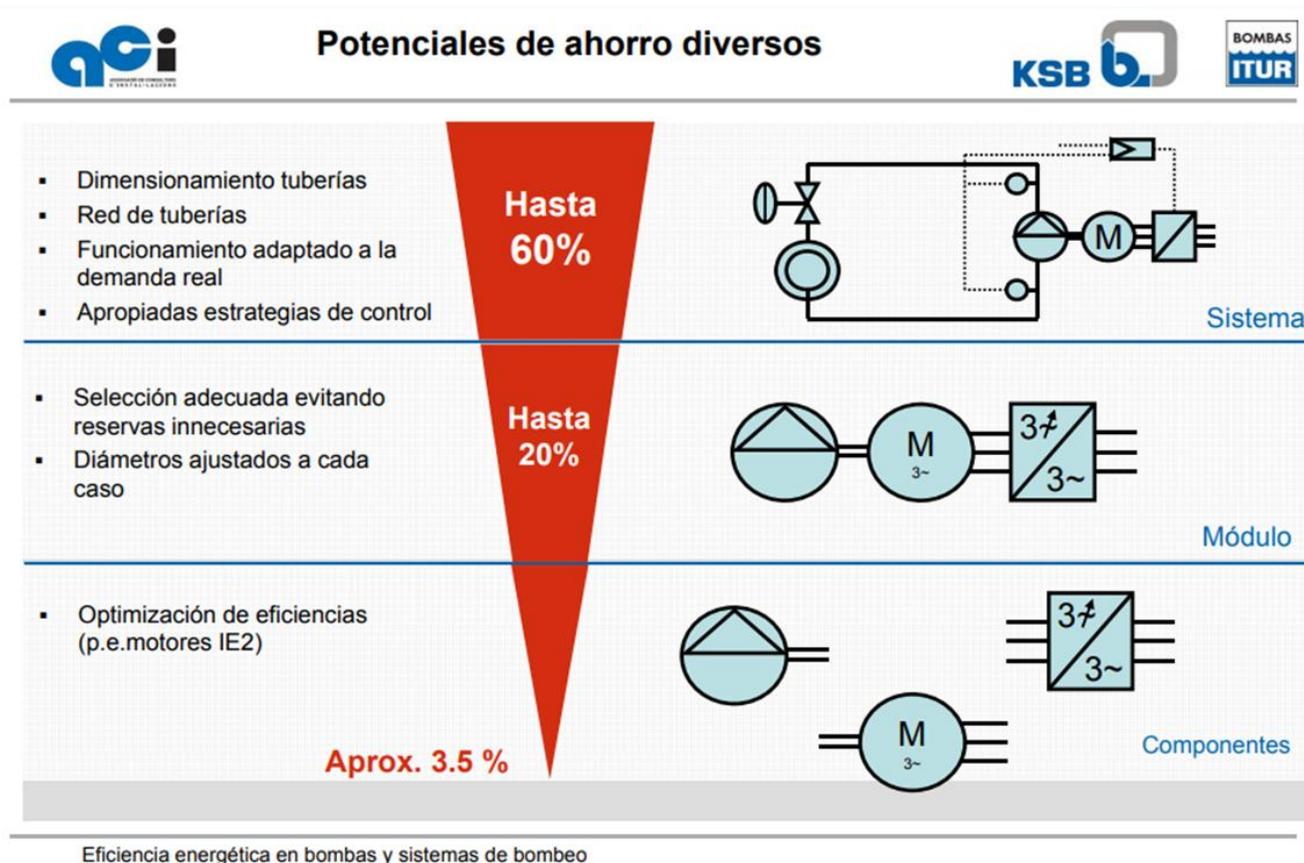
G.4.2. Leyes de afinidad y su relación con los VFD

ACCIONAMIENTO DE VELOCIDAD VARIABLE (VFD). Se aprovecha el cambio en la curva del ventilador conforme se varía su velocidad, cuyo comportamiento se define por las leyes de afinidad (variación de la velocidad de giro), consiguiendo que el ventilador siga de una manera muy cercana a la curva del sistema, cuando se varía su velocidad.

Con este método se mejora la eficiencia, obteniéndose el resultado deseado con la mínima potencia de entrada.

G.4. OPORTUNIDADES DE MEJORA

G.4.2. Leyes de afinidad y su relación con los VFD



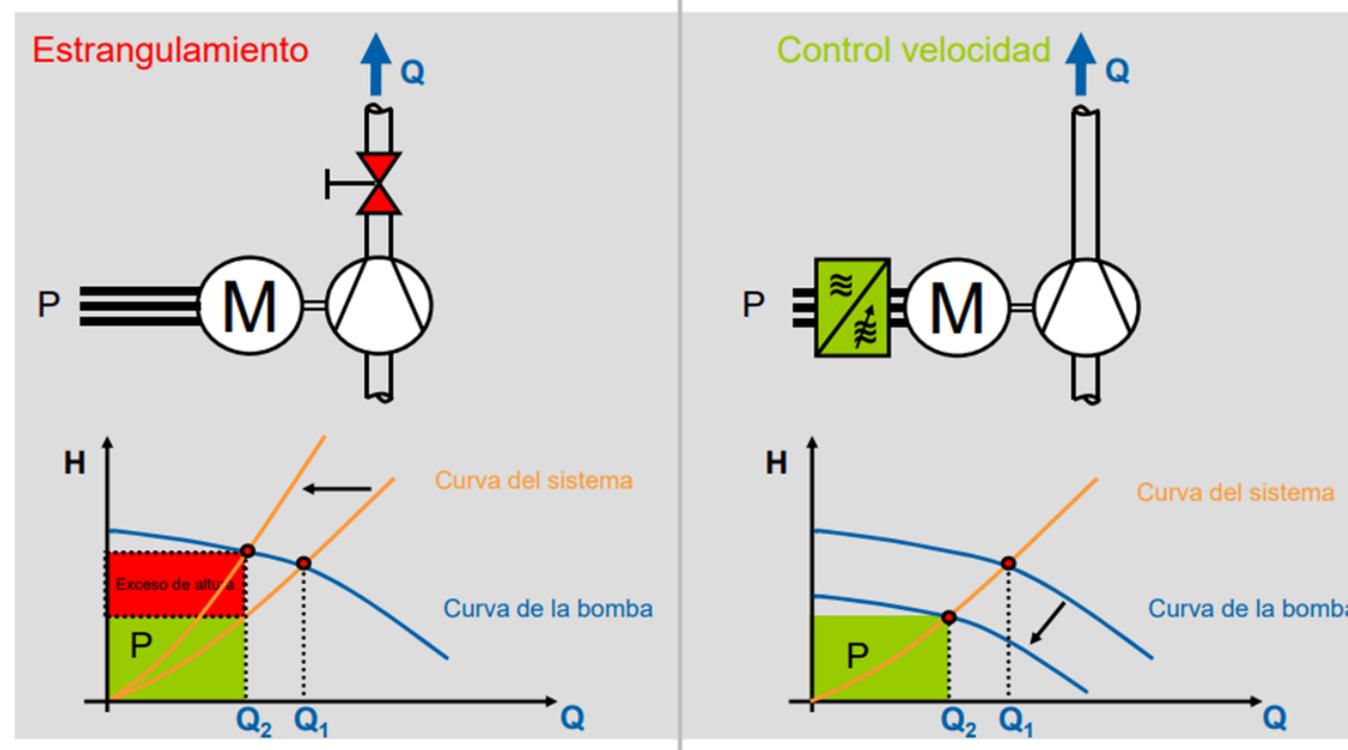
Fuente: [KSB](#)

G.4. OPORTUNIDADES DE MEJORA

G.4.2. Leyes de afinidad y su relación con los VFD



Comparativa entre métodos de regulación



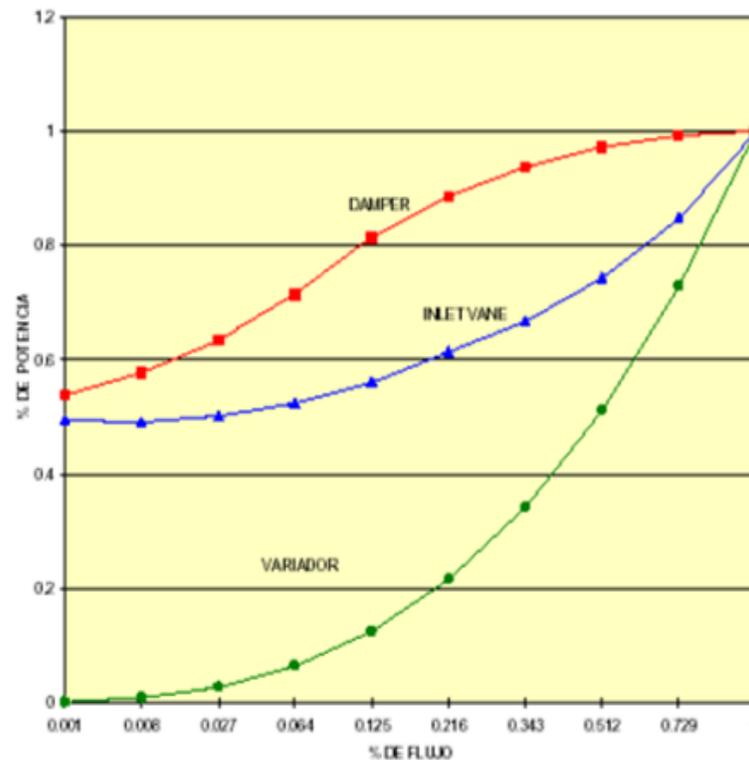
Fuente: [KSB](#)

Eficiencia energética en bombas y sistemas de bombeo

G.4. OPORTUNIDADES DE MEJORA

G.4.2. Leyes de afinidad y su relación con los VFD

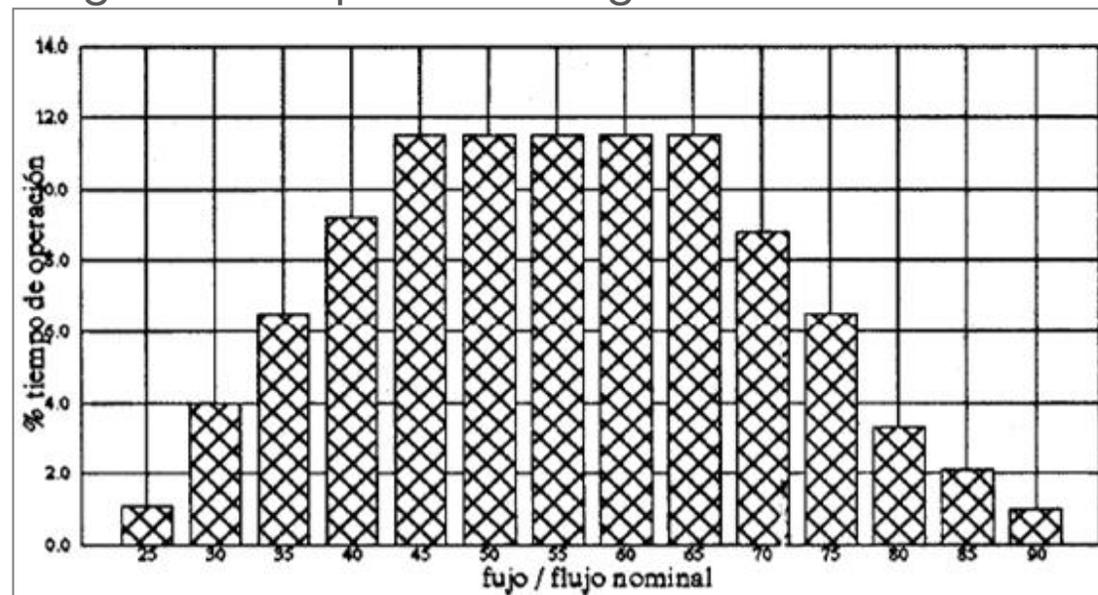
COMPARACIÓN DE LOS TRES MÉTODOS (PARA GASES):



G.4. OPORTUNIDADES DE MEJORA

G.4.2. Leyes de afinidad y su relación con los VFD

Para cuantificar el ahorro de energía y los beneficios económicos que se obtienen con el variador de velocidad se comparan los requerimientos de potencia contra el método de compuertas en la descarga ante un perfil de carga dado.



G.4. OPORTUNIDADES DE MEJORA

G.4.2. Leyes de afinidad y su relación con los VFD

PROPUESTA DE EJERCICIO 1. Teniendo en cuenta la curva comparativa de la figura representativa de los distintos métodos de control de un ventilador centrífugo (12.5 HP) y suponiendo que el proceso diario requiera distintos porcentajes del flujo nominal según la siguiente demanda, considerando un costo de la energía de 55 \$/kWh, comparar los costos operativos de los tres métodos de control descriptos.

Flujo Nominal [%] – Tiempo de uso [h]

100 % - 6 h

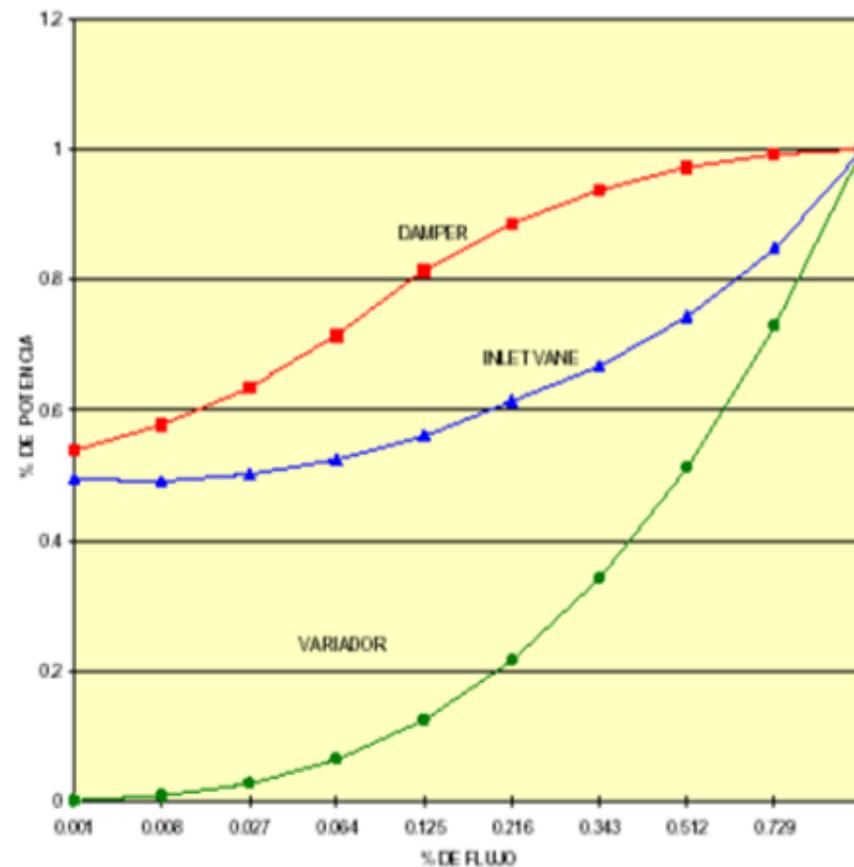
73 % - 6 h

51 % - 8 h

34 % - 4 h

G.4. OPORTUNIDADES DE MEJORA

G.4.2. Leyes de afinidad y su relación con los VFD



G.4. OPORTUNIDADES DE MEJORA

G.4.2. Leyes de afinidad y su relación con los VFD

EJERCICIO. Teniendo en cuenta la curva comparativa de la figura representativa de los distintos métodos de control de un ventilador centrífugo (12.5 HP) y suponiendo que el proceso diario requiera distintos porcentajes del flujo nominal según la siguiente demanda, considerando un costo de la energía de 55 \$/kWh, comparar los costos operativos de los tres métodos de control descriptos.

Flujo Nominal [%] – Tiempo de uso [h]

100 % - 6 h

73 % - 6 h

51 % - 8 h

34 % - 4 h

G.4. OPORTUNIDADES DE MEJORA

G.4.2. Leyes de afinidad y su relación con los VFD

SOLUCIÓN. 12 HP equivalen a 8.952 kW. Así:

Factor de carga consumido por cada método de control:

Flujo nominal [%]	Tiempo [h]	Damper [%]	Inlet Vane [%]	VFD [%]
100	6	100	100	100
76	6	99	85	75
51	8	97	75	53
34	4	95	68	35

Potencia [HP] consumida por el ventilador por cada método de control:

Flujo nominal [%]	Tiempo [h]	Damper [HP]	Inlet Vane [HP]	VFD [HP]
100	6	12	12	12
76	6	11.88	10.2	9
51	8	11.64	9	6.36
34	4	11.4	8.16	4.2

G.4. OPORTUNIDADES DE MEJORA

G.4.2. Leyes de afinidad y su relación con los VFD

SOLUCIÓN. 12 HP equivalen a 8.952 kW. Así:

Potencia [kW] consumida por el ventilador por cada método de control:

Flujo nominal [%]	Tiempo [h]	Damper [kW]	Inlet Vane [kW]	VFD [kW]
100	6	8.95	8.95	8.95
76	6	8.86	7.61	6.71
51	8	8.68	6.71	4.74
34	4	8.50	6.09	3.13

Energía [kWh] consumida por el ventilador por cada método de control:

Flujo nominal [%]	Tiempo [h]	Damper [kWh]	Inlet Vane [kWh]	VFD [kWh]
100	6	53.71	53.71	53.71
76	6	53.17	45.66	40.28
51	8	69.47	53.71	37.96
34	4	34.02	24.35	12.53
Energía [kWh/día]		210.37	177.43	144.49

G.4. OPORTUNIDADES DE MEJORA

G.4.2. Leyes de afinidad y su relación con los VFD

SOLUCIÓN. Considerando equipo en servicio, el costo del damper no se toma en cuenta, pero sí el del VFD porque estamos analizándolo. Se calculan así los siguientes ahorros:

- Ahorro diario entre VFD vs Inlet Vane: 32.94 kWh
- Ahorro diario entre VFD vs Damper: 65.89 kWh

Considerando 260 días hábiles al año en los cuales opera el ventilador 24 h:

- Ahorro anual VFD vs Inlet Vane: 8564.40 kWh
- Ahorro anual VFD vs Damper: 17131.4 kWh

G.4. OPORTUNIDADES DE MEJORA

G.4.2. Leyes de afinidad y su relación con los VFD

SOLUCIÓN. Tomando el costo de 55 \$/kWh se valorizan los ahorros:

- Ahorro anual VFD vs Inlet Vane: 471042 \$/año
- Ahorro anual VFD vs Damper: 942227 \$/año

Estimando el precio de compra de un VFD en 2000 USD (aproximadamente 2 M\$):

- Recupero de inversión de VFD vs Inlet Vane: 50.95 meses (4 años y 3 meses)
- Recupero de inversión de VFD vs Damper: 25.47 meses (2 años y 1.5 meses)

G.5. ANEXO

G.5. ANEXO

G.5.1. Ejemplos de dispositivos: filtros en la toma de aire del ventilador



G.5. ANEXO

G.5.1. Ejemplos de dispositivos: ensamblado de ventilador



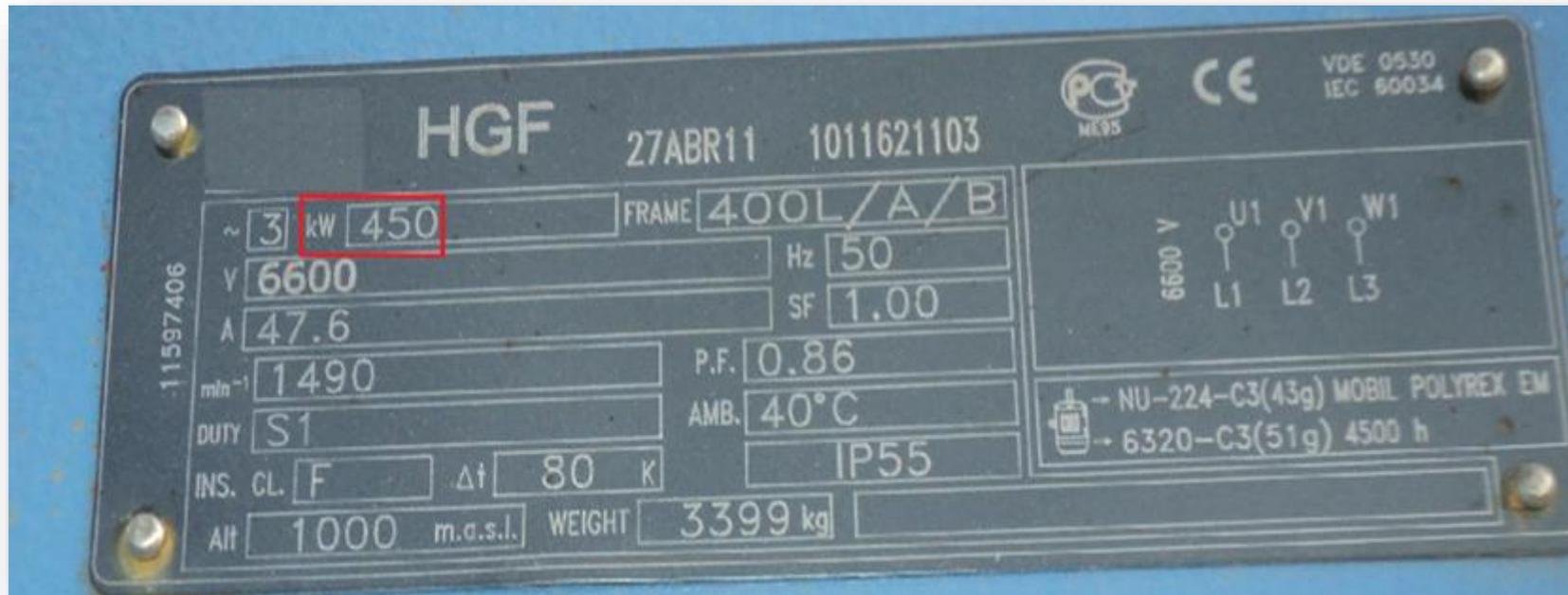
G.5. ANEXO

G.5.1. Ejemplos de dispositivos: sistema de movimiento de aire para secado de harina



G.5. ANEXO

G.5.1. Ejemplos de dispositivos: placa característica de los motores eléctricos



G.5. ANEXO

G.5.1. Ejemplos de dispositivos: sistema de captación de polvos en plataformas volcadoras



G.5. ANEXO

G.5.1. Ejemplos de dispositivos: sistema de aspiración



G.5. ANEXO

G.5.2. Unidades de Tratamiento de Aire: definición

Son equipos para **renovación** de aire industrial, su **filtrado**, **calefacción** y **refrigeración** según necesidad del proceso fabril.

G.5. ANEXO

G.5.2. Unidades de Tratamiento de Aire: montaje



G.5. ANEXO

G.5.2. Unidades de Tratamiento de Aire: intercambiador y panel soporte de filtros de aire



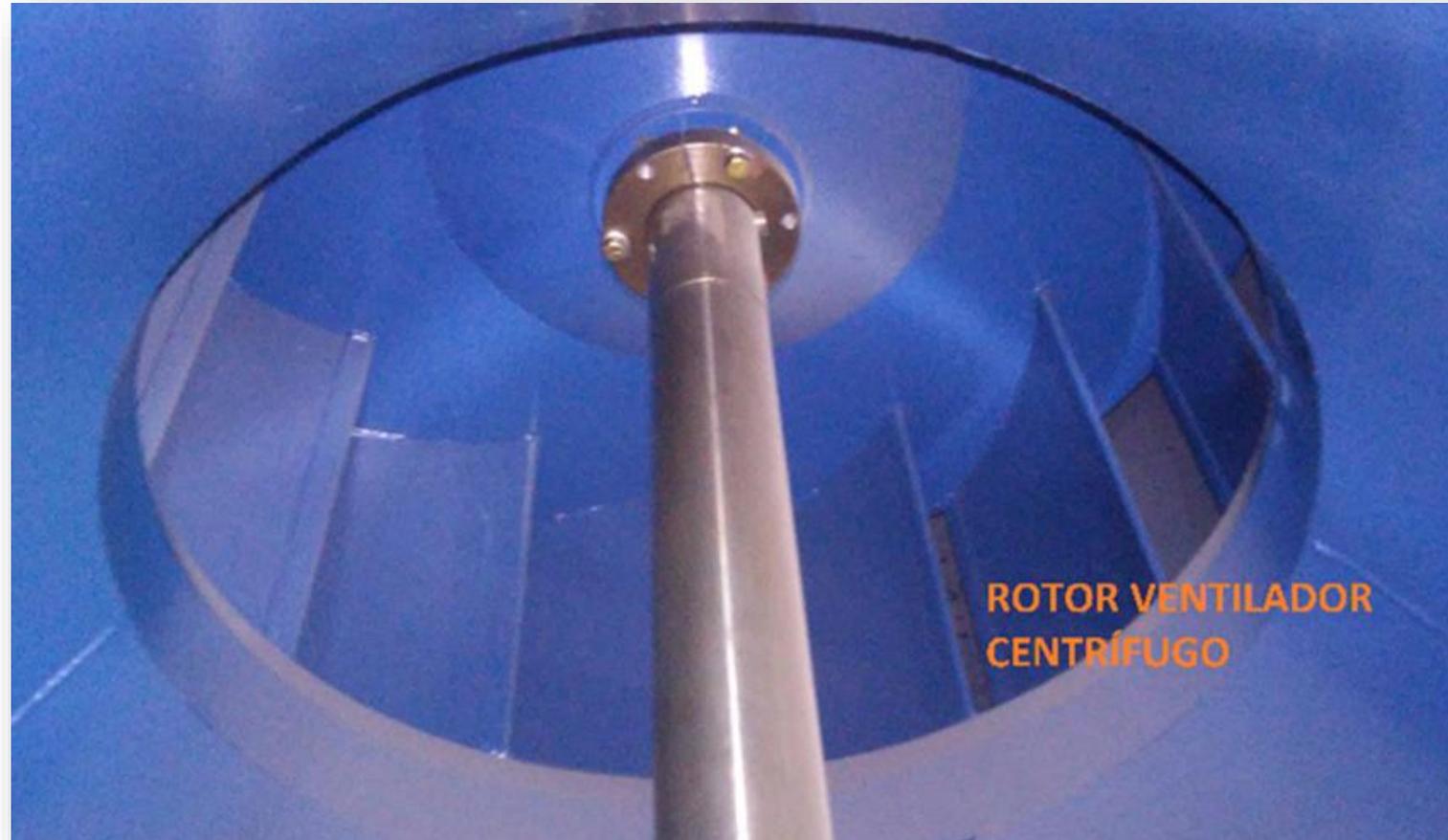
G.5. ANEXO

G.5.2. Unidades de Tratamiento de Aire: plenum de succión (filtros montados)



G.5. ANEXO

G.5.2. Unidades de Tratamiento de Aire: rotor de ventilador centrífugo



G.5. ANEXO

G.5.2. Unidades de Tratamiento de Aire: placa de datos técnicos

UD. DE TRATAMIENTO DE AIRE - HVAC UNIT	
MODELO: MODEL :	AHU-50.1
CAUDAL DE AIRE: AIR FLOW:	50.400 m ³ /h
CAPACIDAD FRIGORIFICA TOTAL: TOTAL COOLING CAPACITY:	225.000 Frig/h
CAPACIDAD CALORIFICA TOTAL: HEATING CAPACITY:	Cal/h
VENTILADOR MOD./TAMAÑO: FAN MODEL/SIZE:	DADE - 363/0.9 -II
MOTOR ELECTRICO: 3x380V-50Hz ELECTRIC MOTOR: IE2	IP-55 25/4 CVN° P
UTA N°	AHU #5
COMITENTE	
AÑO CONST.	07/2015

G.5. ANEXO

G.5.2. Unidades de Tratamiento de Aire: ductos de distribución



G.5. ANEXO

G.5.2. Unidades de Tratamiento de Aire: derivación de ductos



G.5. ANEXO

G.5.2. Unidades de Tratamiento de Aire: conducto principal de distribución



G.5. ANEXO

G.5.2. Unidades de Tratamiento de Aire: tablero de calefacción



G.5. ANEXO

G.5.2. Unidades de Tratamiento de Aire: quemador de gas natural (en vena de aire)



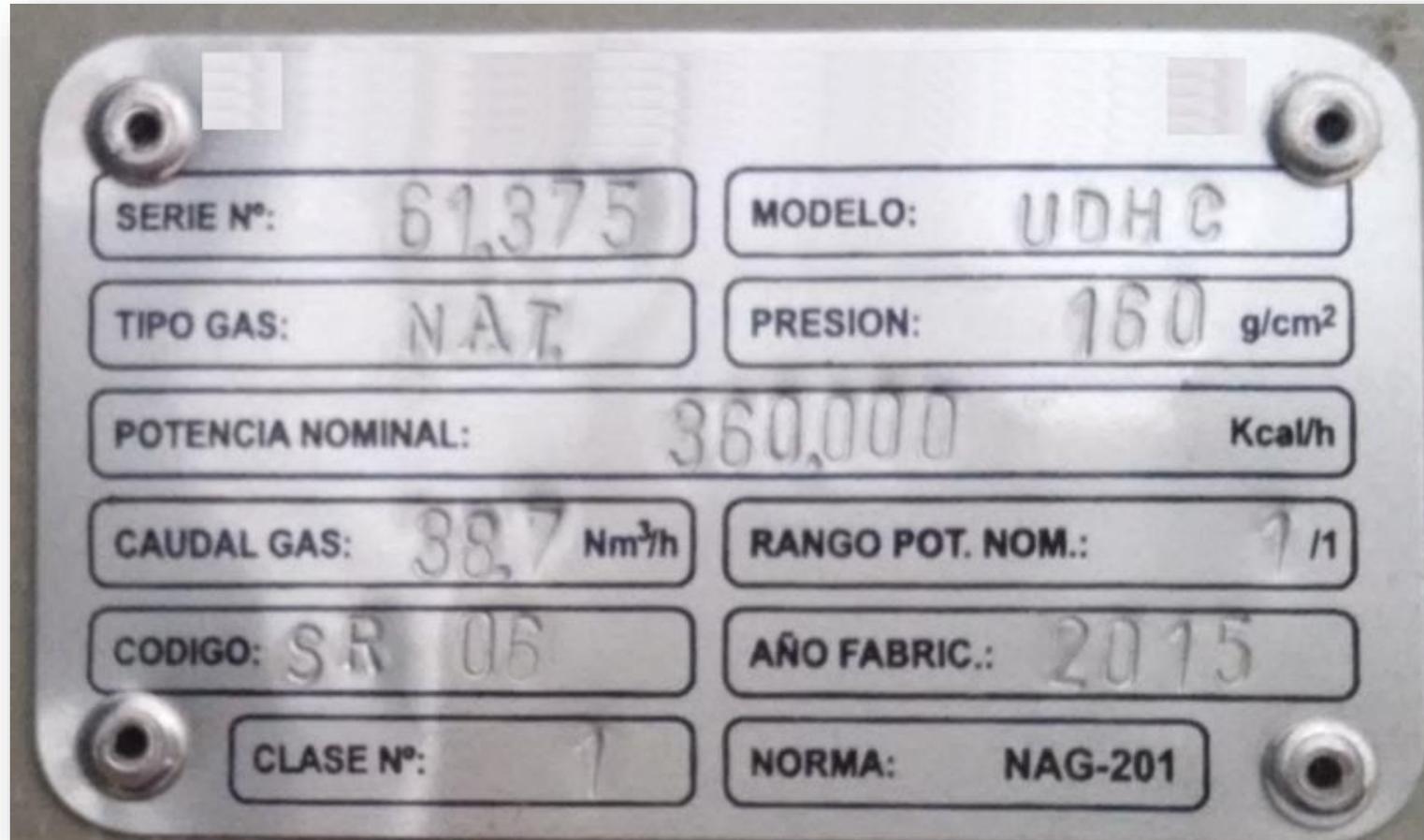
G.5. ANEXO

G.5.2. Unidades de Tratamiento de Aire: manifold de quemador a gas natural



G.5. ANEXO

G.5.2. Unidades de Tratamiento de Aire: placa de potencia térmica



Gracias por su atención.

eficiencia@santafe.gov.ar

Secretaría de Energía

Subsecretaría de Energías Renovables y Eficiencia Energética



Ministerio de
Desarrollo Productivo