



Eficiencia Energética y Sostenibilidad Ambiental -3

Exposición para la Facultad de Ciencias de la UNI

Expositor :

Ing. Manuel Luque Casanave

Profesor-Investigador

Facultad de Ingeniería Mecánica

Universidad Nacional de Ingeniería

16 de mayo 2019

Lima- Perú

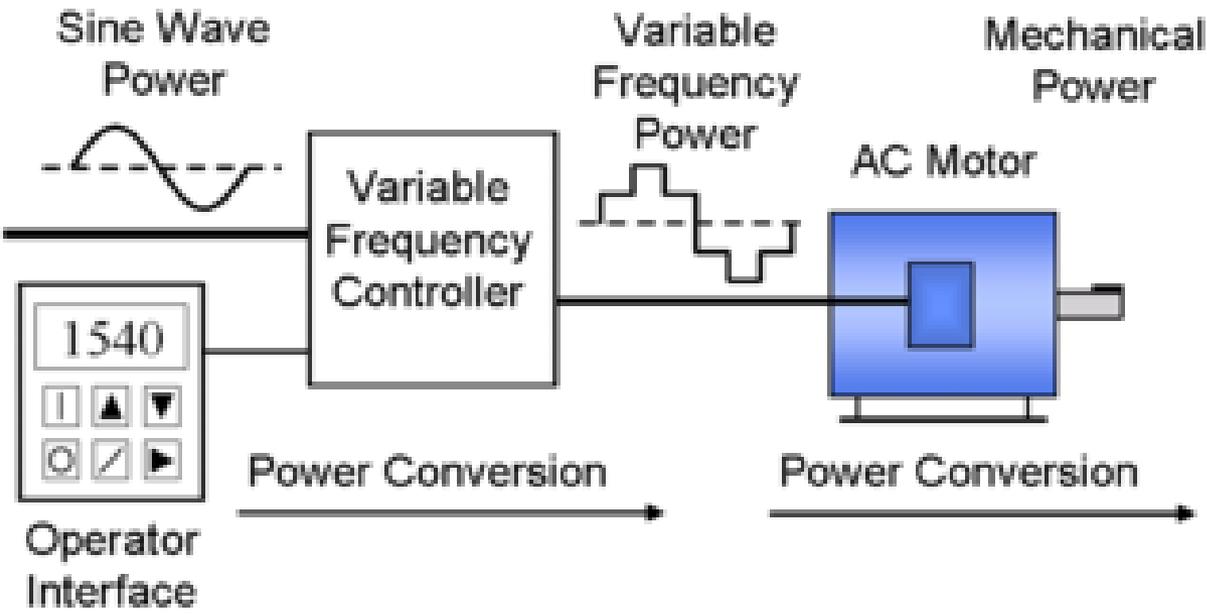
Bases Modernas para la productividad y competitividad

- Seguridad. En la Fabricación /En la Operación. Principio de Prevención y de Precaución. Concepto de Peligro y de Riesgo.
- Medio Ambiente. Conceptos de Precaución y Prevención. Prevención Ambiental. Mitigación Ambiental.
- Mantenimiento. Predictivo. Preventivo. Correctivo.
- CAD (Autocad® /CAM (Ej. Máquinas CNC). CAE (Solid Works®, Inventor®, FEA, ANSYS, CFD)
- Fabricación Flexible.
- Impresión en 3D. Materiales : ABS, PLA. Módulo de Young, Coeficiente de Poisson
- Eficiencia Energética. Concepto de indicadores operativos y de gestión. Concepto de las 3Ts
- Conectividad. Internet. Internet de las Cosas (IoT)
- Machine Learning.
- Uso de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TICs)
- Uso de Materiales amigables con el medio ambiente
- Prevención. Mitigación Ambiental.
- Minimización de Residuos y Mermas. Concepto de las 3Rs: Reducir. Reutilizar. Reciclar
- Concepto de Ecoeficiencia
- Automatización. Control Análogo (Lazo de Control PID). Control Discreto (Diagrama de Escalera). PLCs. Sistemas SCADA. Programas de Control (P.ej. LabView)
- Confiabilidad de equipos de planta. Costos de Parada de Planta. Punto de Equilibrio. Concepto de Lucro Cesante.
- Técnicas de monitoreo y control de la corrosión. Pila Galvánica. Ánodos de sacrificio. Corriente impresa

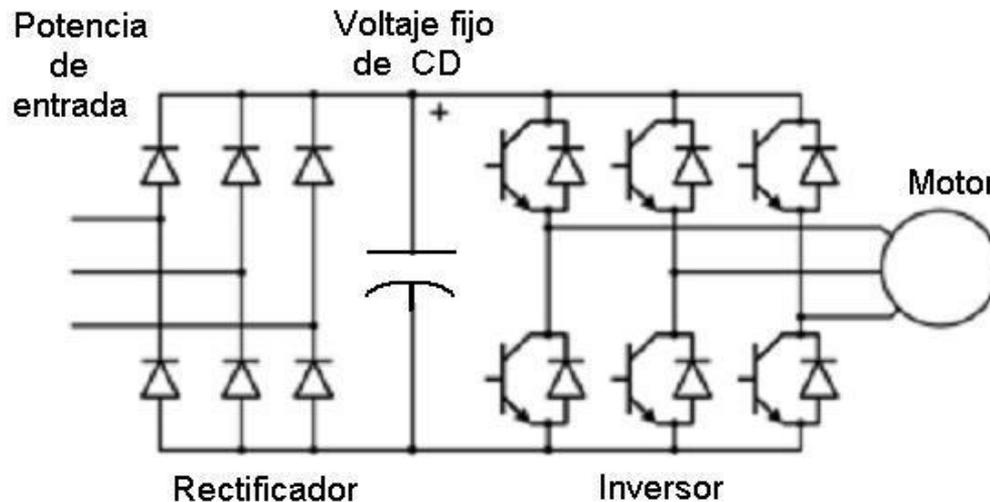
Variadores de Velocidad como Herramienta de Uso Eficiente de Motores Eléctricos

- Los variadores tienen la función rampa, que permite arranques suaves logrando eliminar los picos de demanda que generan los motores eléctricos en el arranque. Un motor en arranque directo demanda 5 a 6 veces su corriente nominal, con el variador demanda aproximadamente 2 veces su corriente nominal. Un motor con arranques continuos y en horas punta puede lograr significativos ahorros en energía eléctrica.
- Los ahorros típicos con variadores se presentan por el ahorro en potencia que se tiene en la regulación del flujo por variación de la velocidad.- Se tienen las siguientes relaciones de semejanza en bombas y ventiladores:
 - $Q1 / Q2 = D1 / D2$
 - $H1 / H2 = (Q1 / Q2)^2$
 - $Pot. 1 / Pot. 2 = (Q1 / Q2)^3$
- Relaciones de los parámetros de fluidodinámica respecto a las velocidades de la bomba :
 - $Q1 / Q2 = (N1 / N2)$
 - $H1 / H2 = (N1 / N2)^2$
 - $Pot. 1 / Pot. 2 = (N1 / N2)^3$

Esquema de Principio de los Variadores de Velocidad por Frecuencia (VFDs)



Se convierte la energía de entrada CA en CC usando un puente rectificador de diodos. Luego es convertida en una señal quasi-senoidal de CA usando un circuito inversor conmutado, que emplea transistores bipolares de puerta aislada (IGBTs) que son usados en la mayoría de circuitos inversores. Se requiere la variación proporcional del voltaje cada vez que la frecuencia es variada. Así si un motor está diseñado para trabajar a 460 voltios a 60 Hz, el voltaje aplicado debe reducirse a 230 volts cuando la frecuencia es reducida a 30 Hz. La relación Voltios/Hertz deben ser regulados en un valor constante

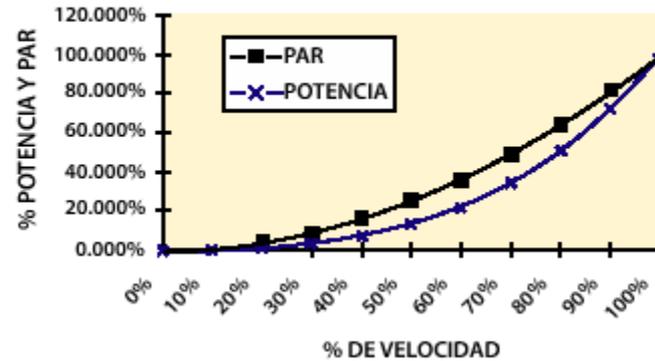


Ventajas Energéticas de los Variadores de Velocidad

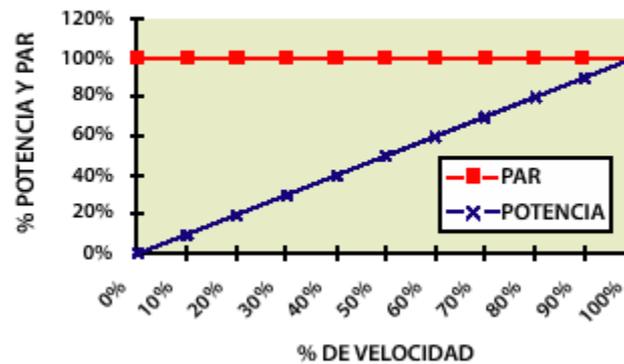
- Los variadores tienen la función rampa, que permite arranques suaves logrando eliminar los picos de demanda que generan los motores eléctricos en el arranque. Un motor en arranque directo demanda 5 a 6 veces su corriente nominal, con el variador demanda aproximadamente 2 veces su corriente nominal. Un motor con arranques continuos y en horas punta puede lograr significativos ahorros en energía eléctrica.
- Los ahorros típicos con variadores se presentan por el ahorro en potencia que se tiene en la regulación del flujo por variación de la velocidad.- Se tienen las siguientes relaciones de semejanza en bombas y ventiladores:
 - $Q_1 / Q_2 = D_1 / D_2$
 - $H_1 / H_2 = (Q_1 / Q_2)^2$
 - $Pot. 1 / Pot. 2 = (Q_1 / Q_2)^3$

Tipos de Variadores de Velocidad

CARGA DE PAR VARIABLE



CARGA DE PAR CONSTANTE



Bombas y Ventiladores



Energia Usada Por Una Bomba

$$\text{Potencia (W)} = \frac{\rho g H Q}{\eta}$$

ρ = Densidad (kg/m³)

g = Const Gravedad (9.81m/s²)

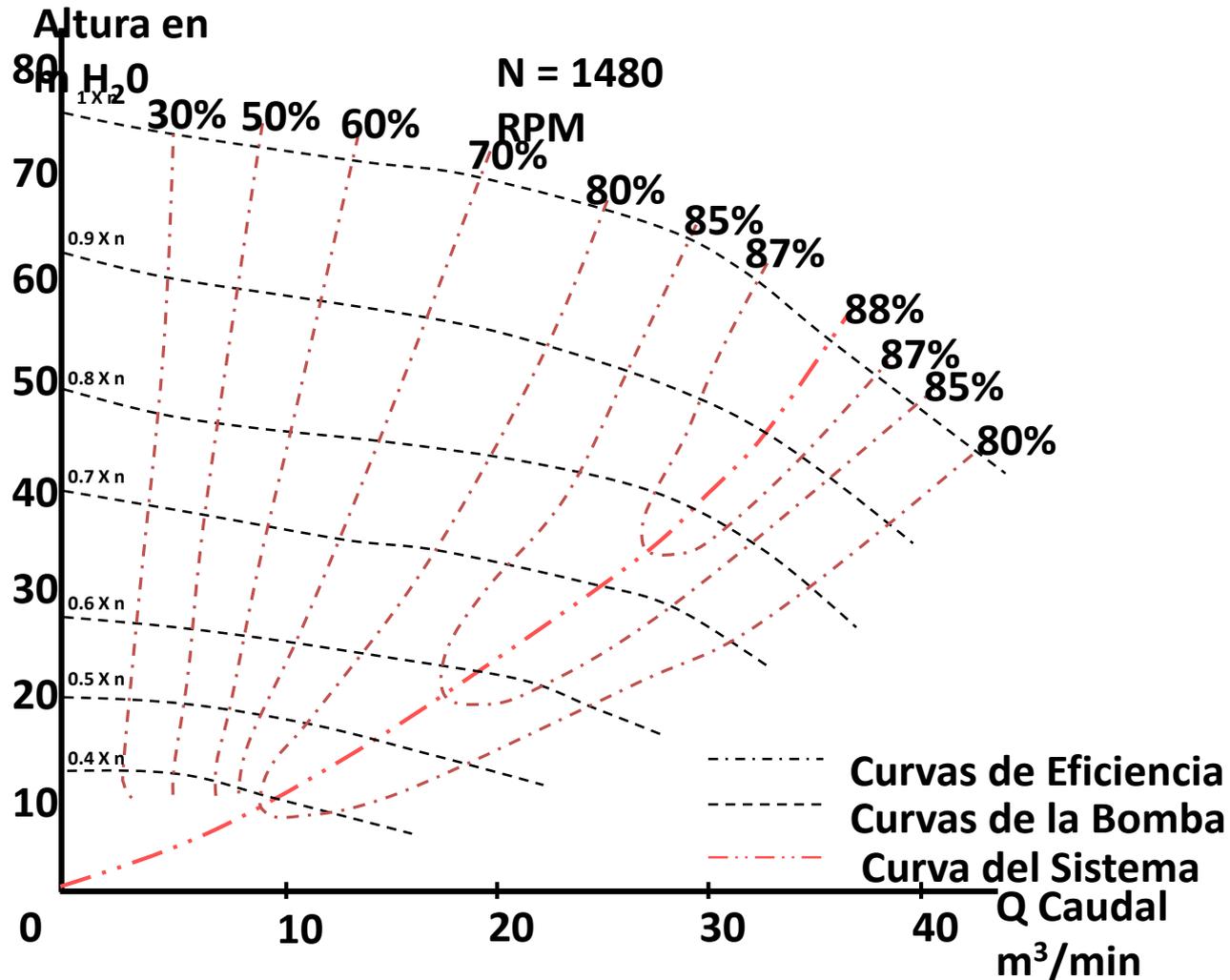
H = Altura en metros

Q = Caudal m³/s

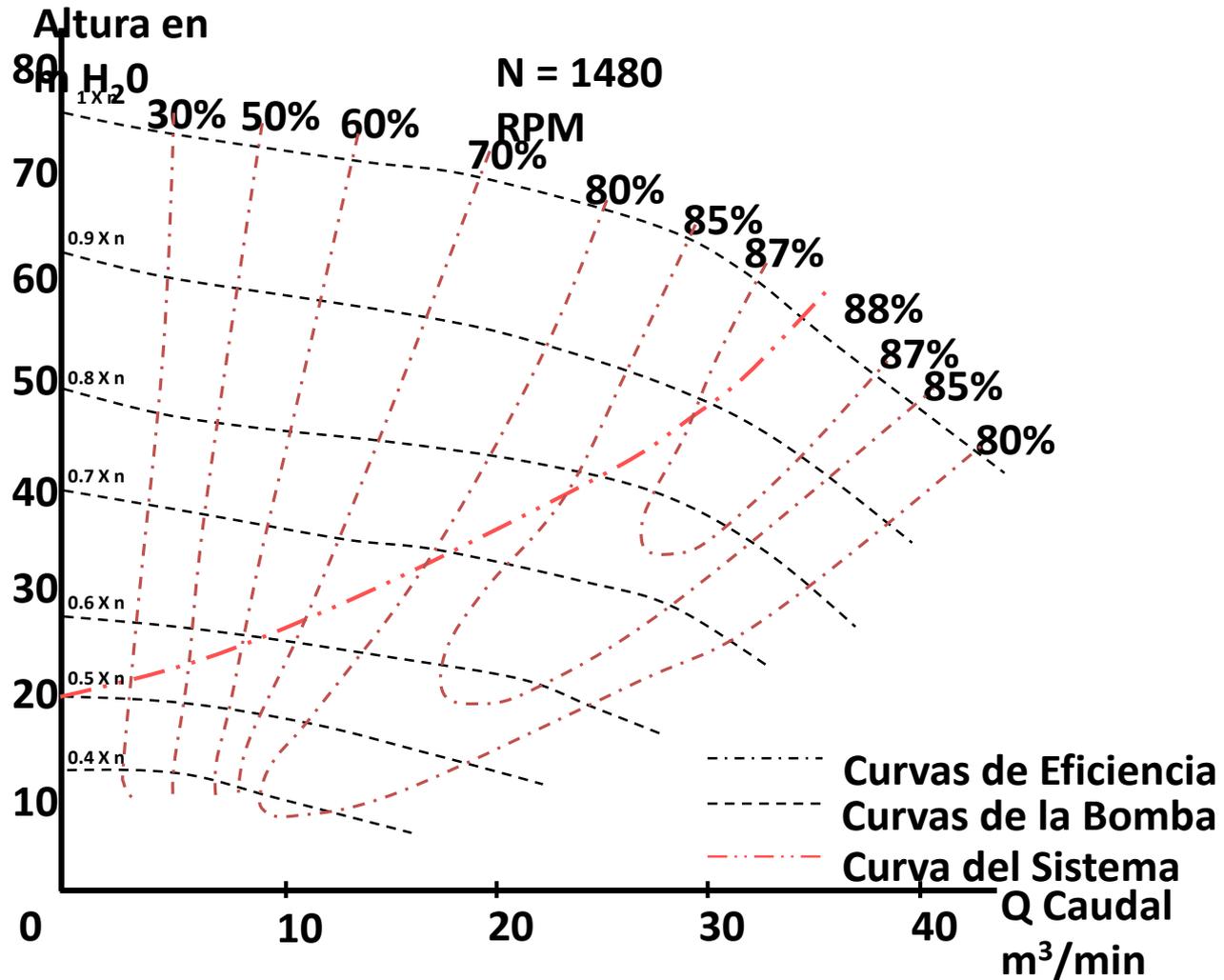
η = Eficiencia De La Bomba

Potencia \propto Q x H

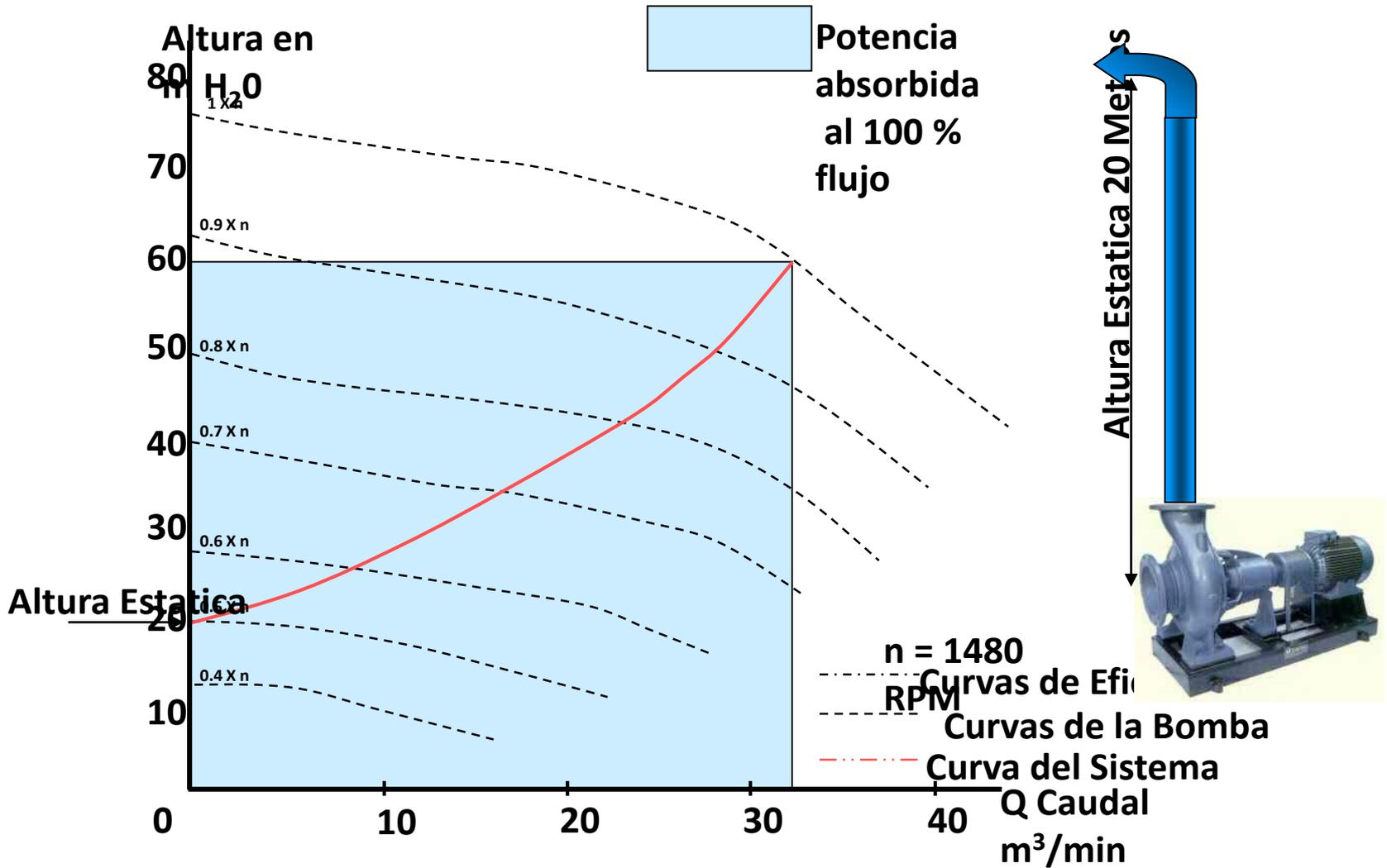
Curvas de Eficiencia De Una Bomba



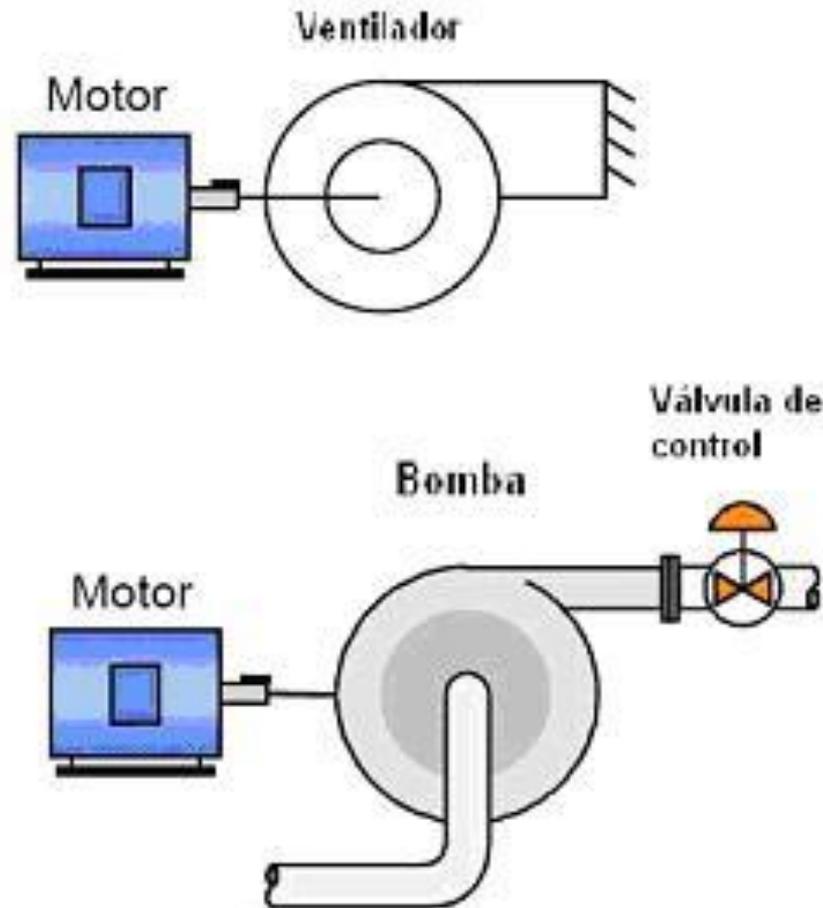
Curvas de Eficiencia De La Bomba



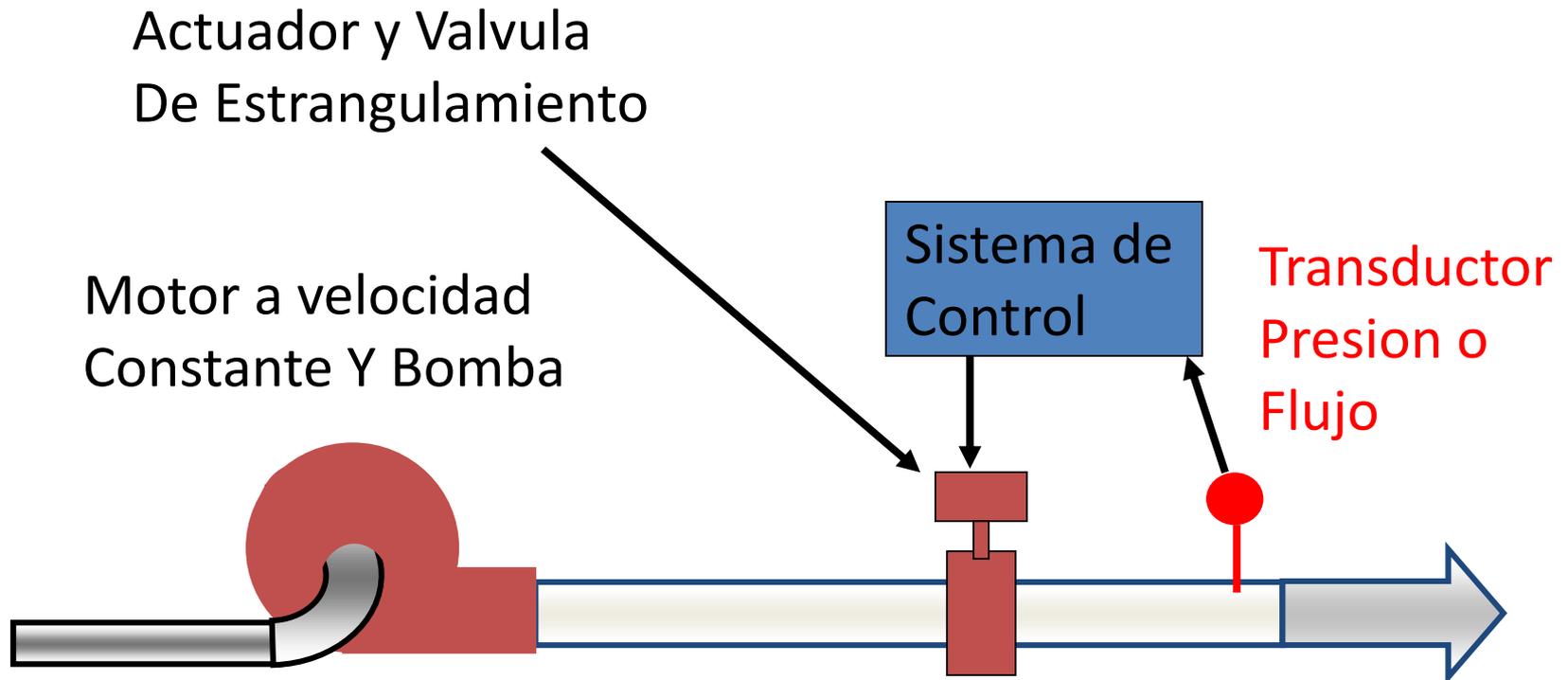
Bomba a Flujo Constante



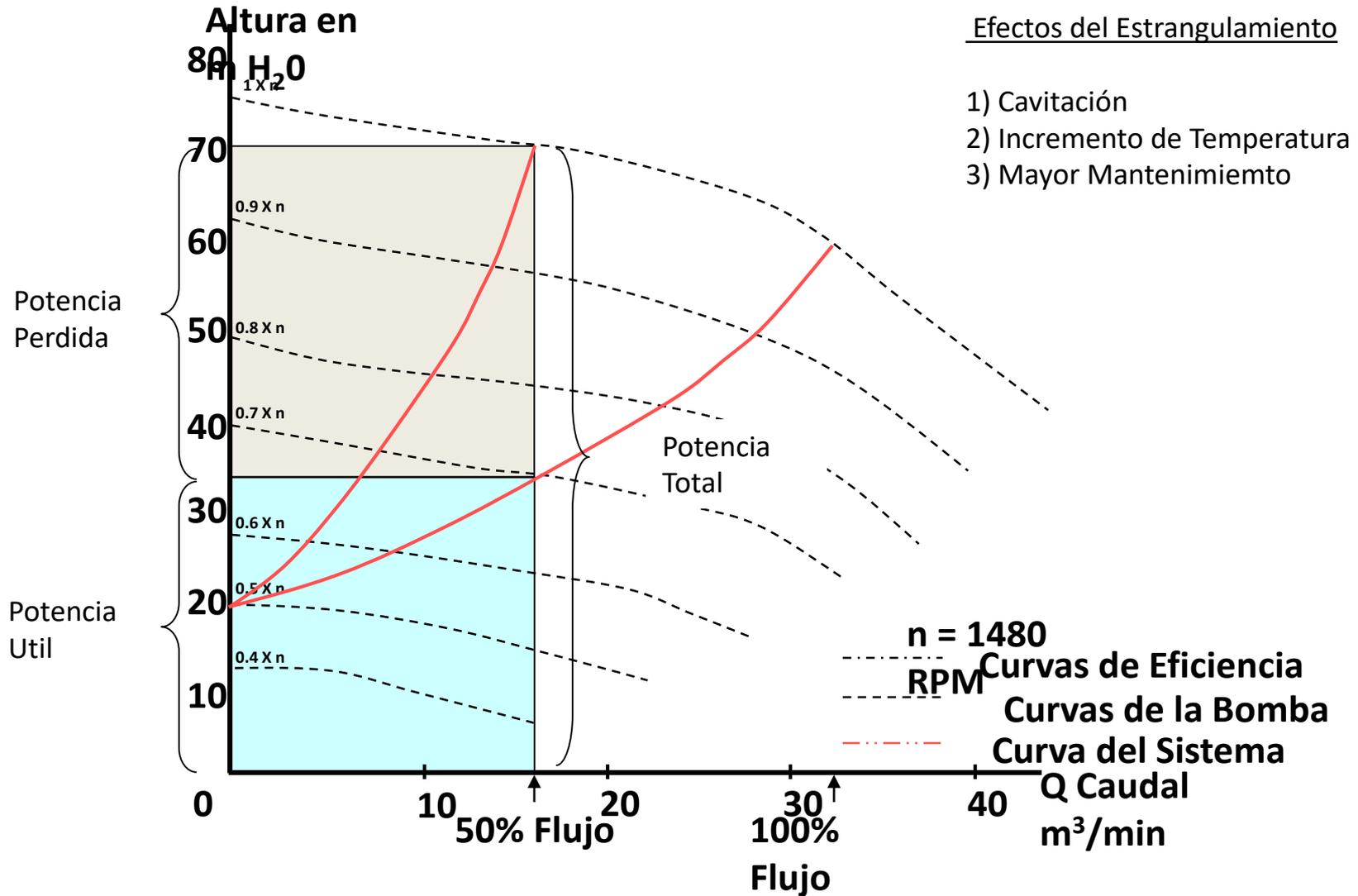
Operación Tradicional para el control de Flujo de un Ventilador y de una Bomba



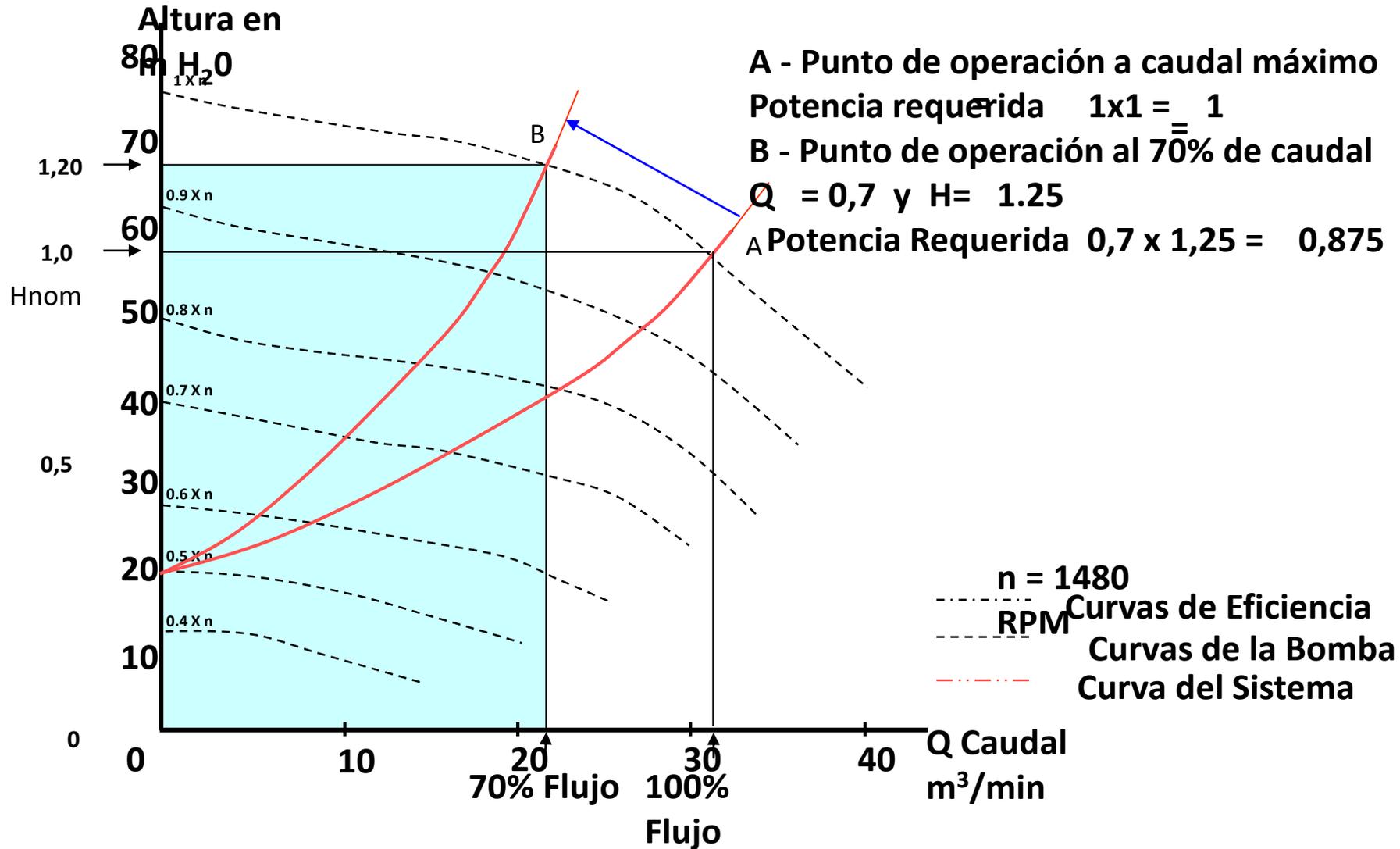
Sistema Con Valvula



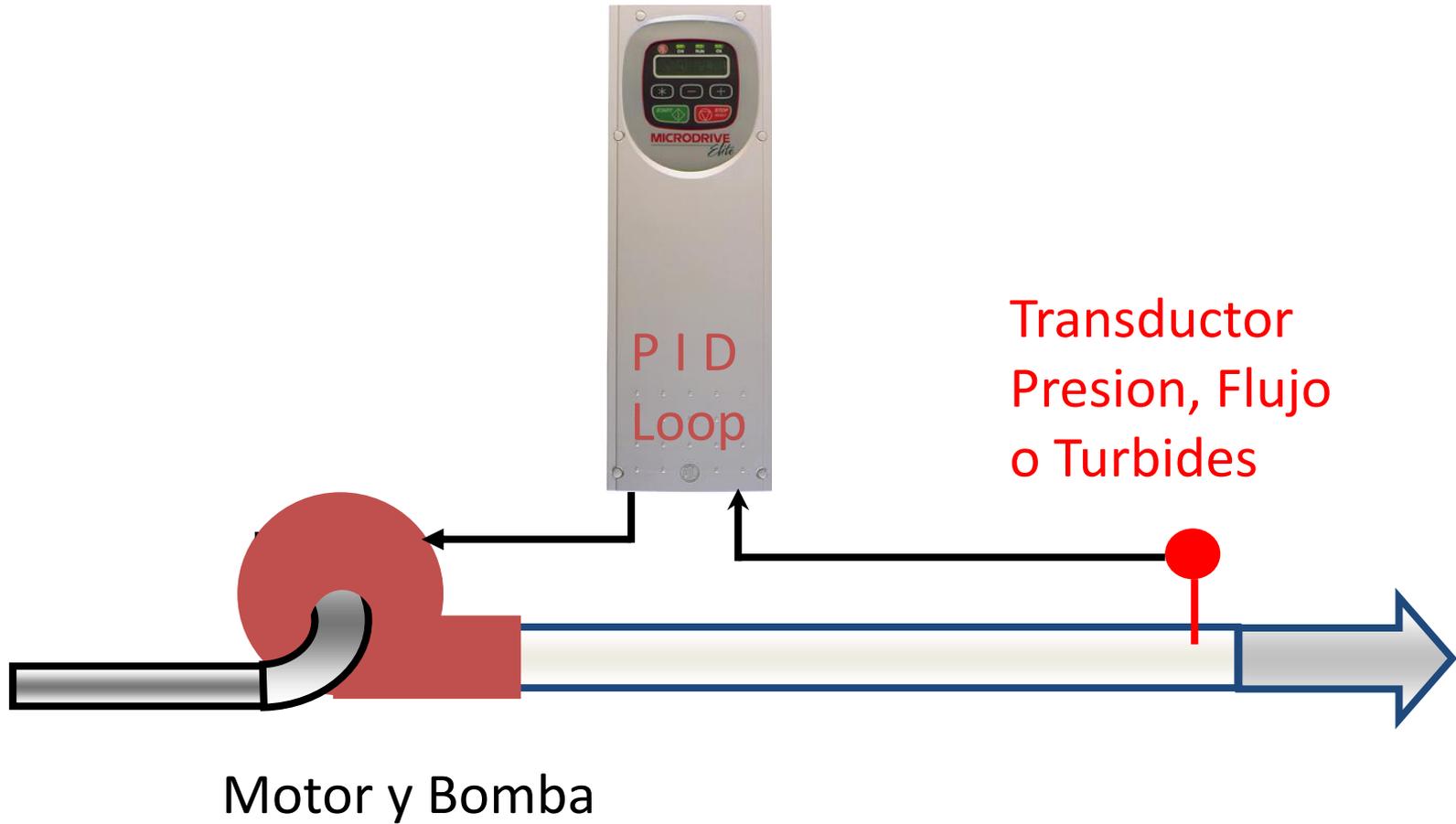
Potencia Perdida Con Sistema De Estrangulamiento



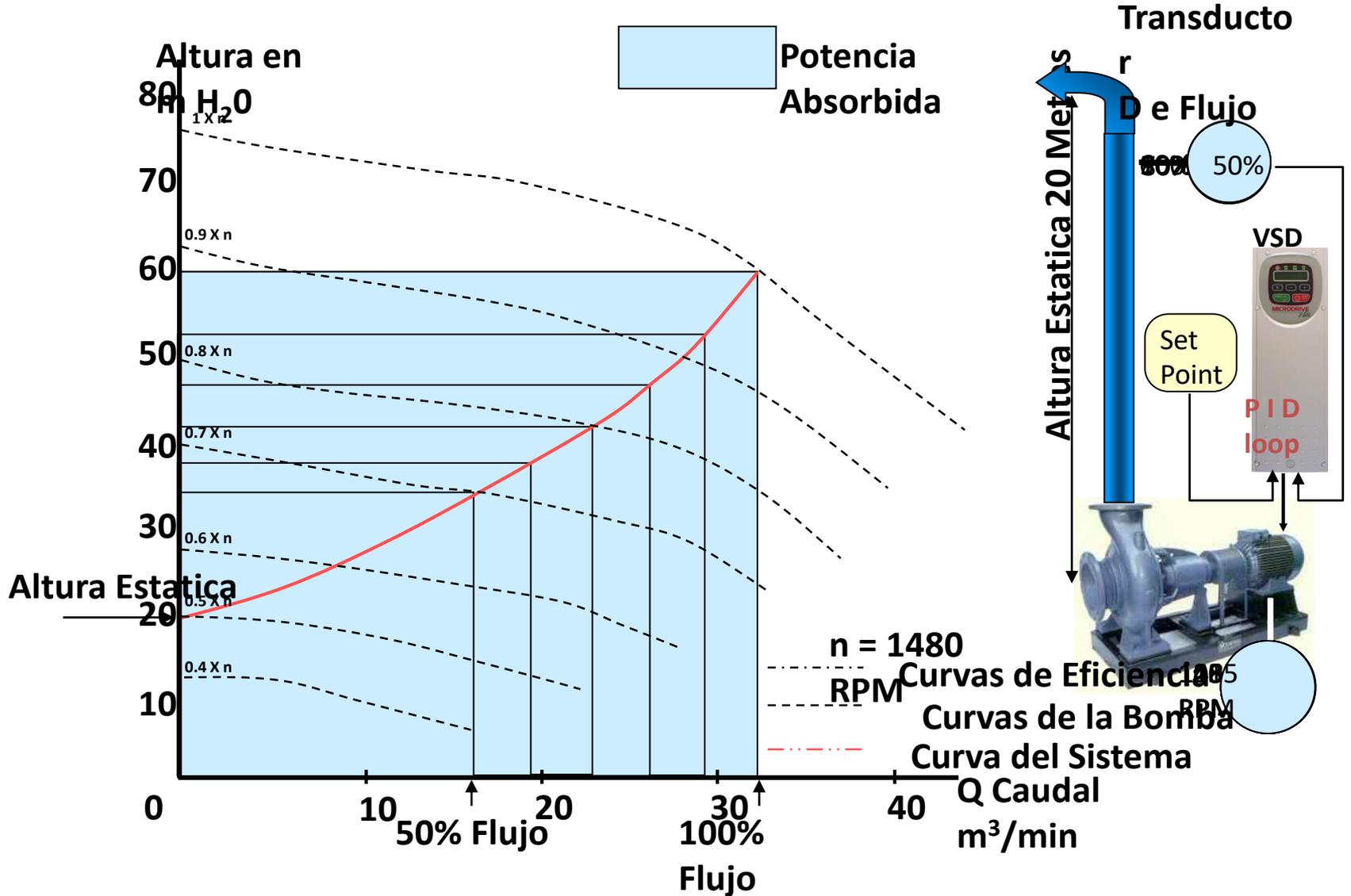
Energía Consumida Usando Válvula De Estrangulamiento



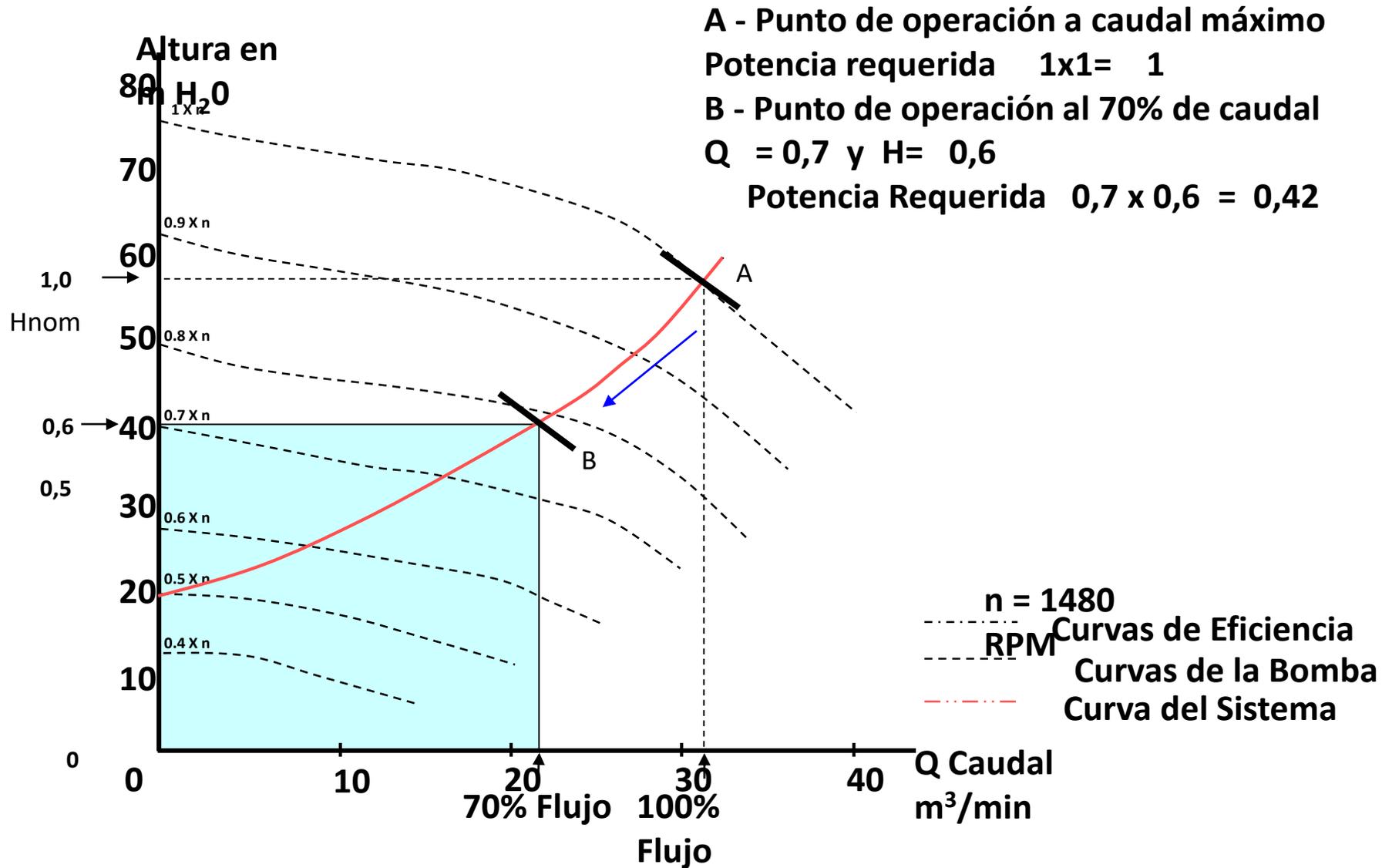
Sistema Con Variador De Velocidad



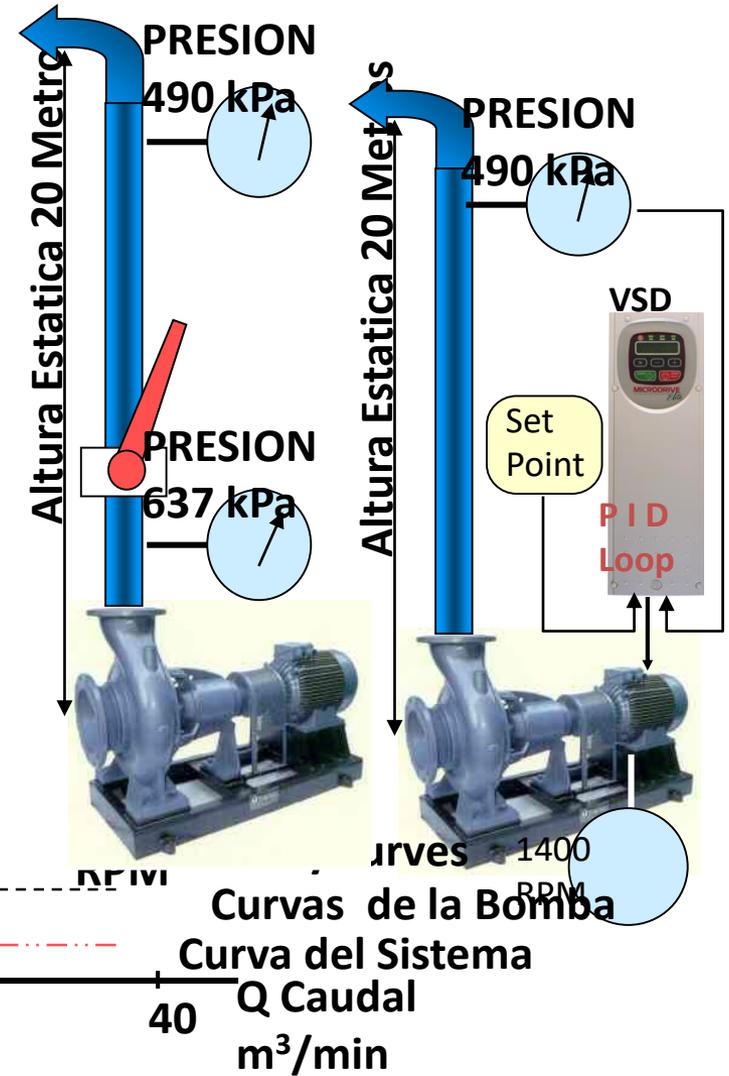
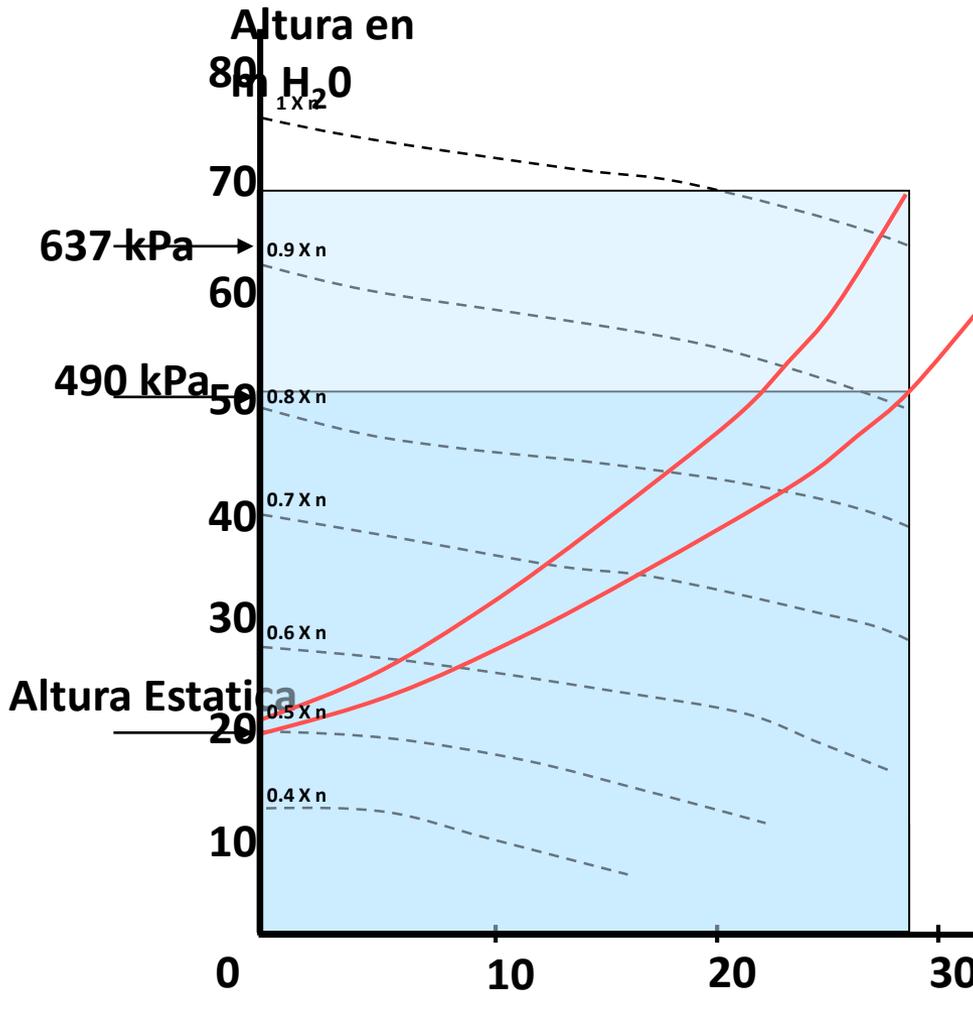
Sistema de Flujo Variable Con Variador De Velocidad



Energía Consumida Usando Variador De Velocidad



Bombas a Presion Constante



Calculo Del Ahorro

$$P = \frac{Q \times H \times d \times g}{n}$$

- Control por Estrangulamiento

$$P_1 = \frac{Q_M \text{ (m}^3\text{/h)} \times H_1 \text{ (m)} \times d \text{ (Kg./dm}^3\text{)} \times g \text{ (m/s}^2\text{)}}{3600 \times n_1}$$

KW

- Control Con Variador de Velocidad

$$P_2 = \frac{Q_M \text{ (m}^3\text{/h)} \times H_2 \text{ (m)} \times d \text{ (Kg./dm}^3\text{)} \times g \text{ (m/s}^2\text{)}}{3600 \times n_2}$$

KW

- Ahorro de Potencia

$$P \text{ (ahorrada)} = \frac{P_1 - P_2}{0,9} \text{ (0,9 Rendimiento Motor)}$$

- Ahorro de Energía

$$W \text{ (ahorrada)} = P \text{ ahorrada} \times T \text{ operaci3n}$$

(K w h / a)

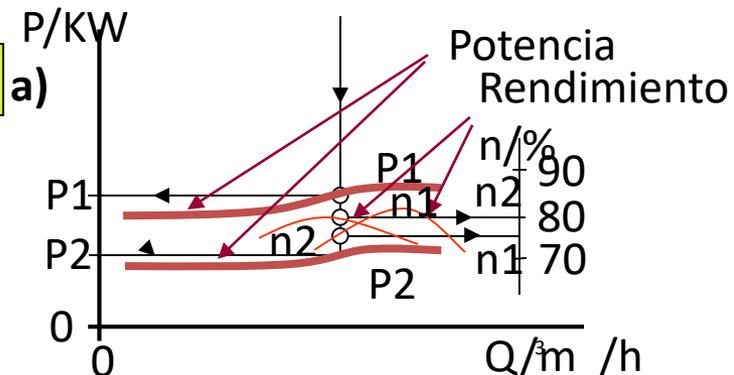
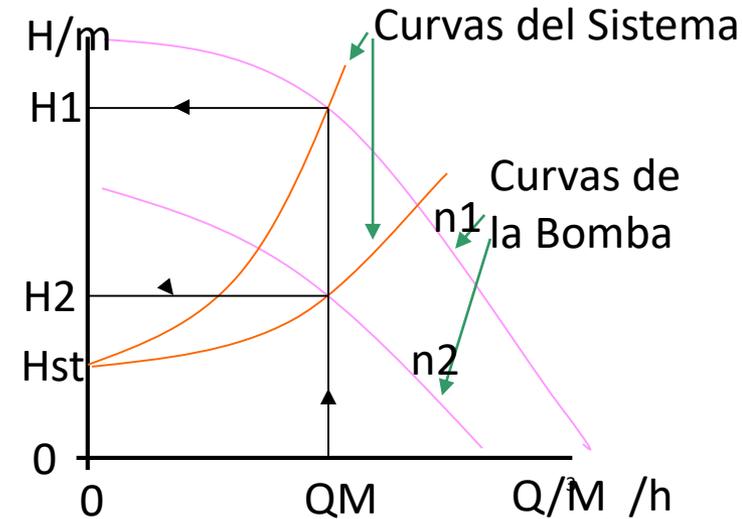
- Ahorro de Dinero al Añoo

$$K \$ = W \text{ (ahorrada)} \times K e \text{ (Precio / K W / h)}$$

- Tiempo de Retorno de Inversi3n

$$T_r = \frac{\text{Precio del Variador}}{K \$}$$

US\$



Calculo del Ahorro

- Control por Estrangulamiento

$$P1 = \frac{500 \times 65 \times 1 \times 9,81}{3600 \times 0,75} = 118 \text{ KW}$$

- Control Con Variador de Velocidad

$$P2 = \frac{500 \times 12,5 \times 1 \times 9,81}{3600 \times 0,85} = 20 \text{ KW}$$

- Ahorro de Potencia

$$P \text{ (ahorrada)} = \frac{118 - 20}{0,9} \text{ KW} = 109 \text{ KW}$$

- Ahorro de Energía

$$W \text{ (ahorrada)} = 109 \text{ KW} \times 8000 \text{ h/a} \\ = 871000 \text{ KW h/a}$$

- Ahorro de Dinero al Año

$$K \$ = 871000 \text{ KW h/a} \times 0.0253 \$ \\ = 22000 \$/a$$

- Tiempo de Retorno de Inversión

$$T r = \frac{26000}{22000} = 15 \text{ Meses}$$

$$H1 = 65 \text{ m}$$

$$H2 = 12,5 \text{ m}$$

$$n1 = 0,75$$

$$n2 = 0,85$$

$$QM = 500 \text{ m}^3 / \text{h}$$

$$d = 1 \text{ Kg} / \text{dm}^3 \\ \text{(agua)}$$

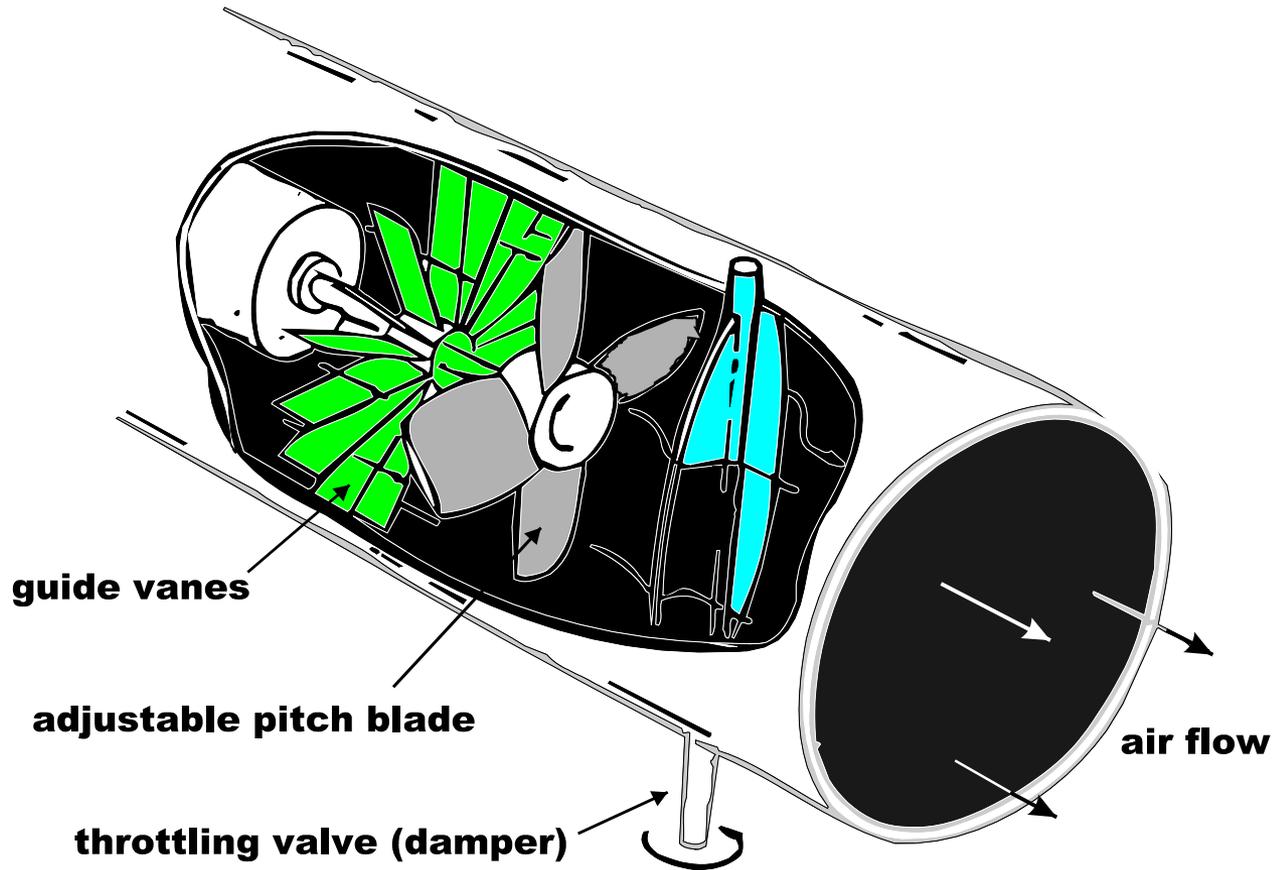
$$K e = 0,0253$$

$$T o = 8000 \text{ h/a}$$

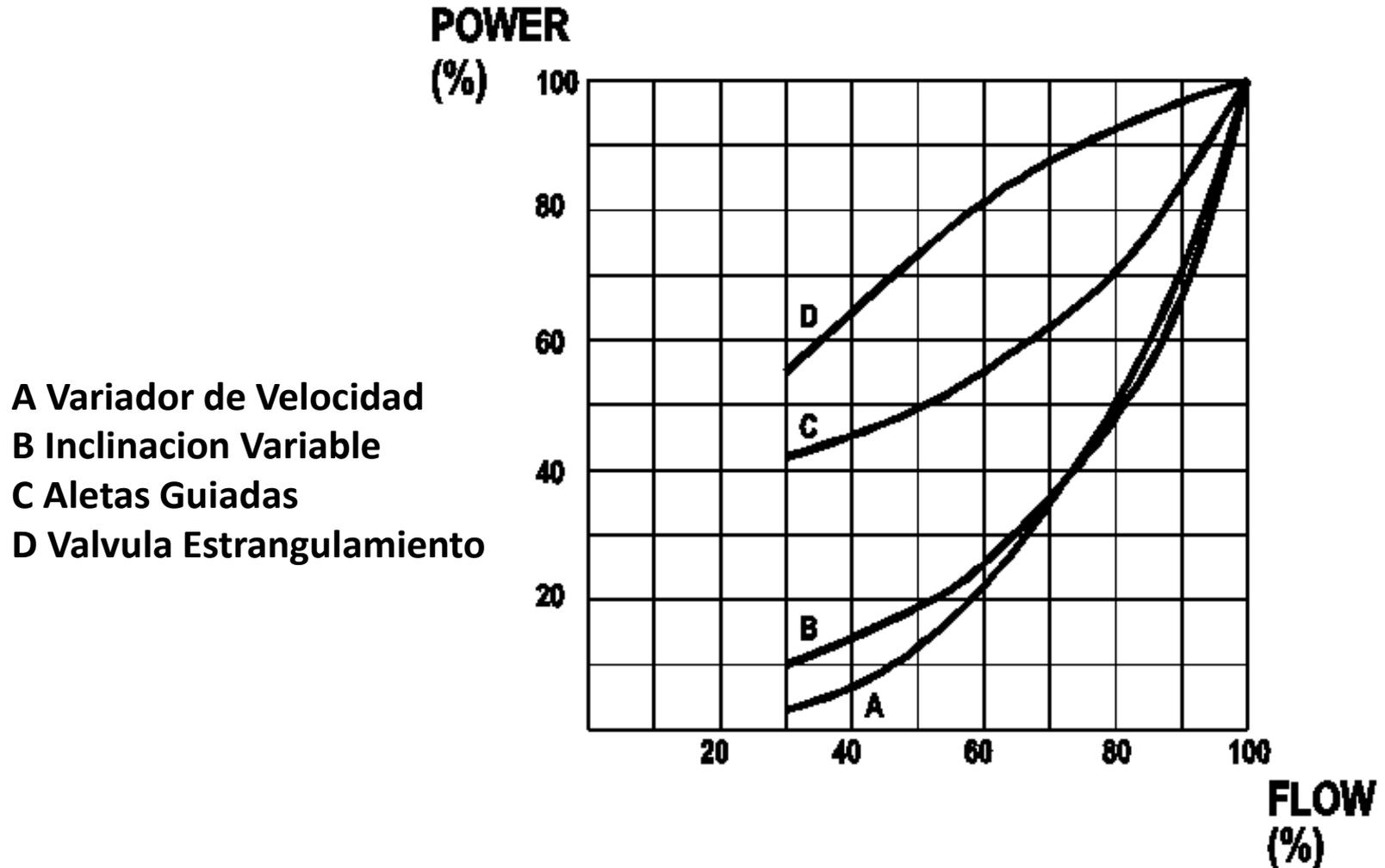
$$P m = 200 \text{ KW}$$

$$P V = 26000$$

Control De Flujo



Potencia Requerida Para Control de Flujo de Aire



Energía Consumida por un Ventilador

Potencia \propto Velocidad³

Ejemplo Un Ventilador a 100% Velocidad
Consume 100kW

100kW \propto 100% Velocidad

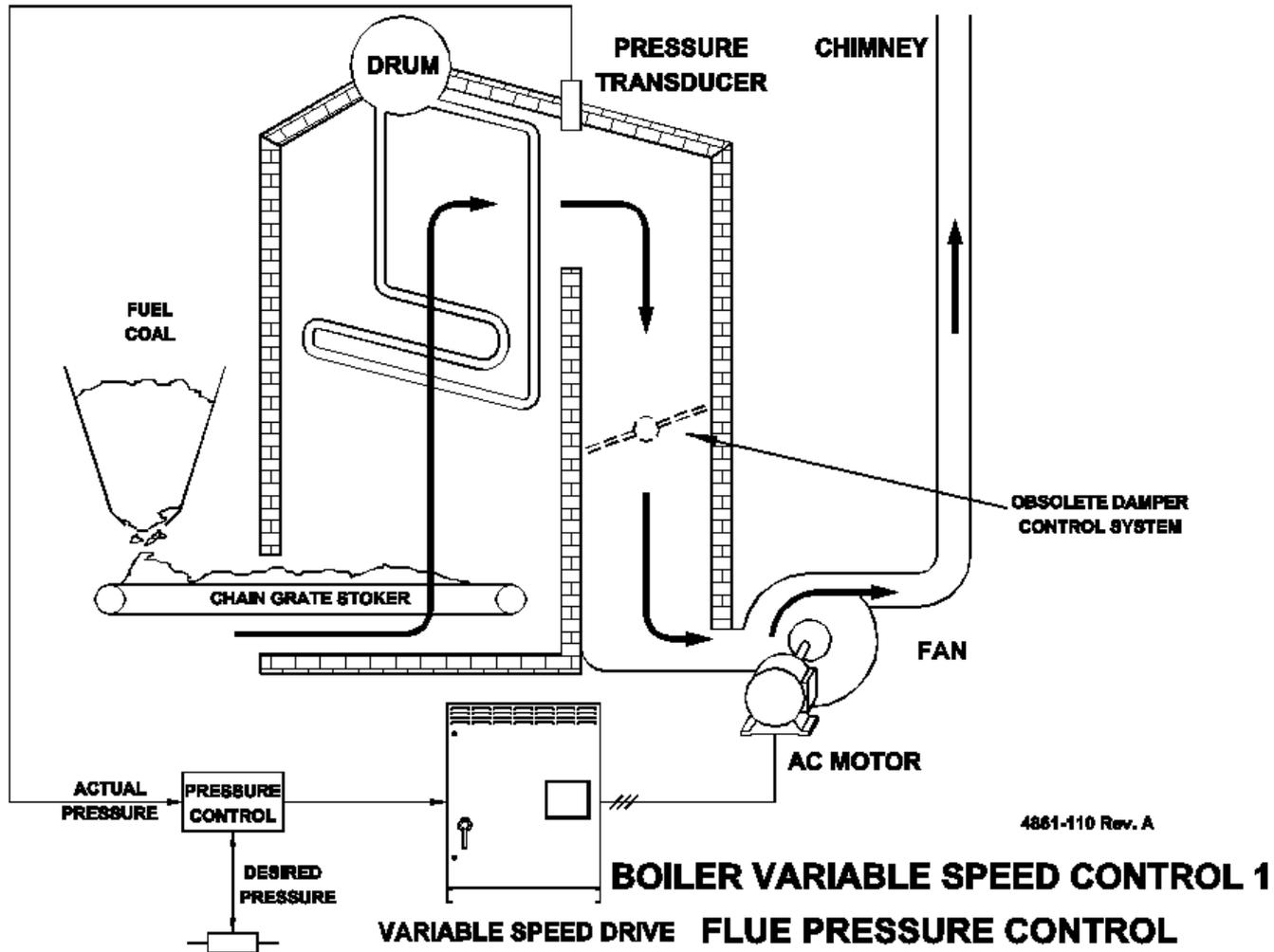
Si la velocidad es reducida al 90%, La nueva energía consumida = 0.9^3 de la energía original

72.9kW @ 90 % Velocidad

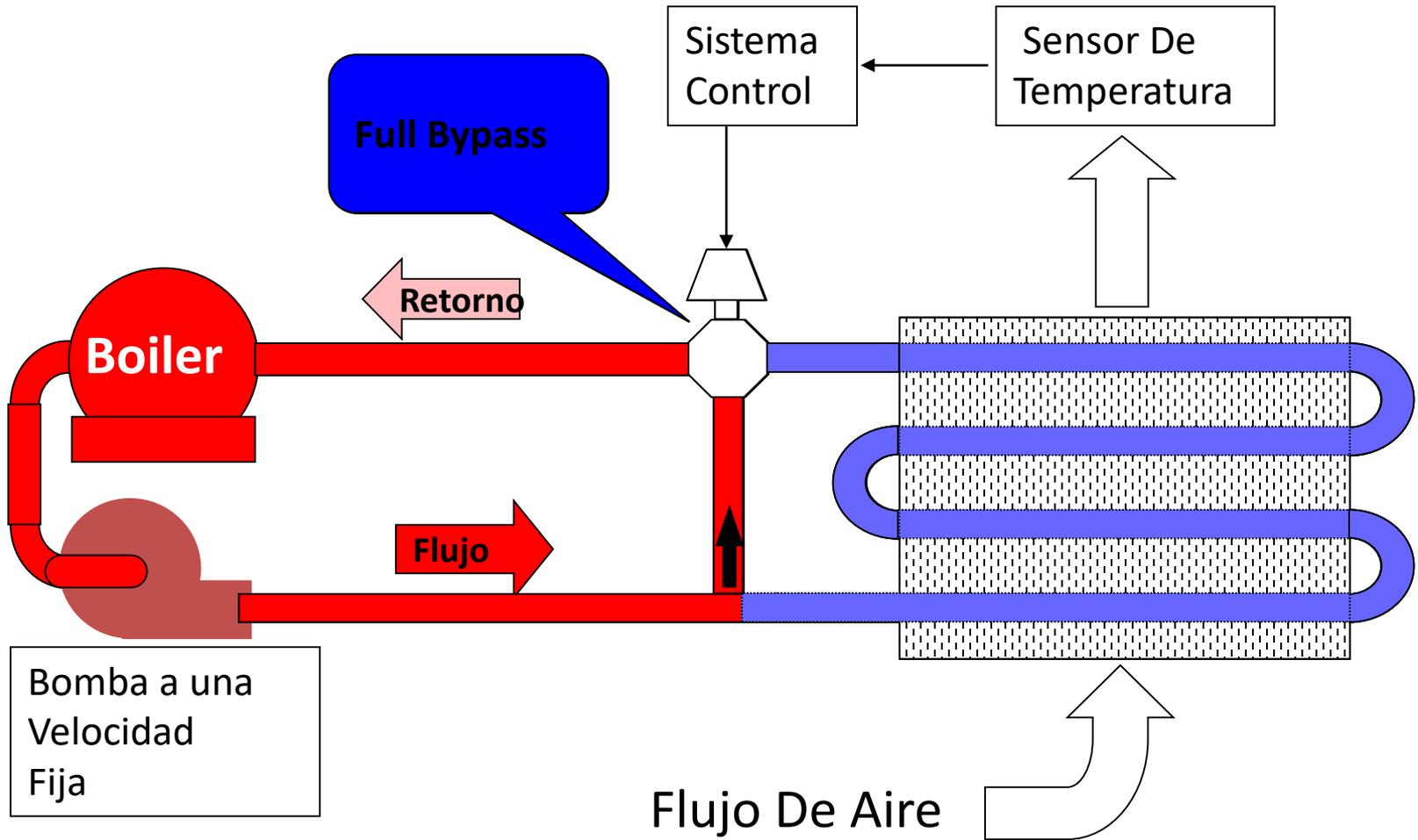
51.2kW @ 80 % Velocidad

21.6kW @ 60 % Velocidad

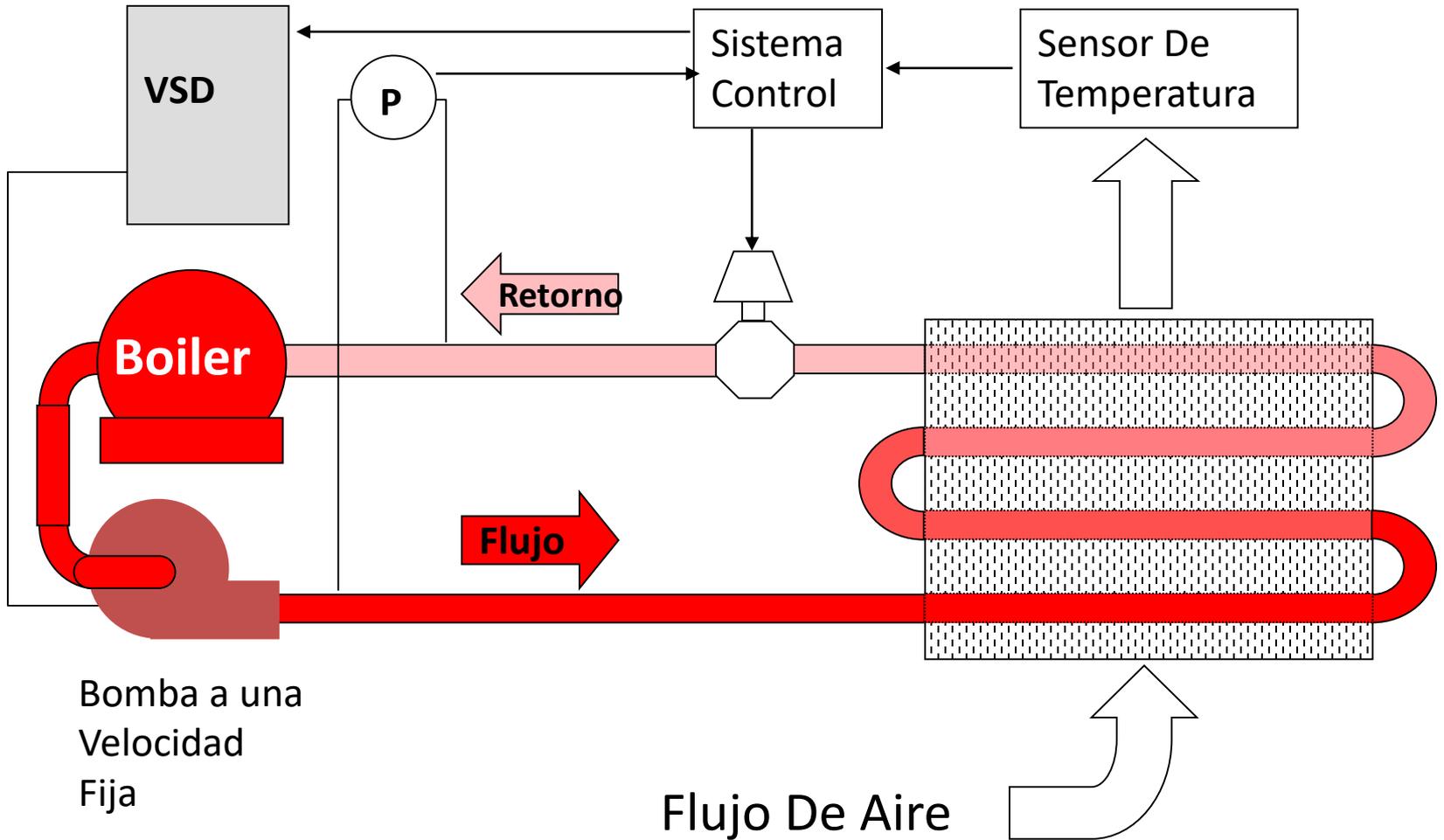
Ejemplo: Control de una Caldera



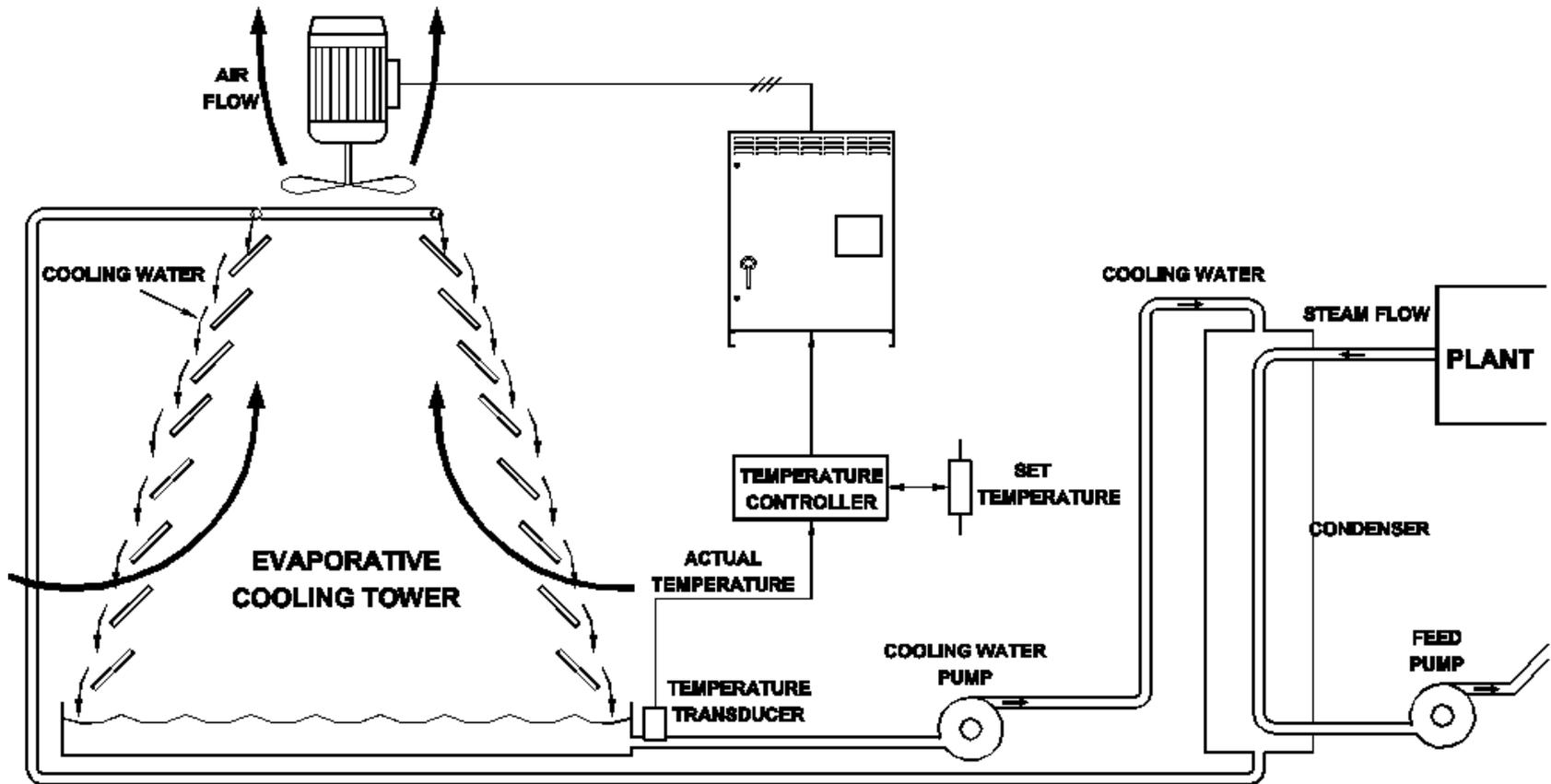
Empleando Valvula como by-pass



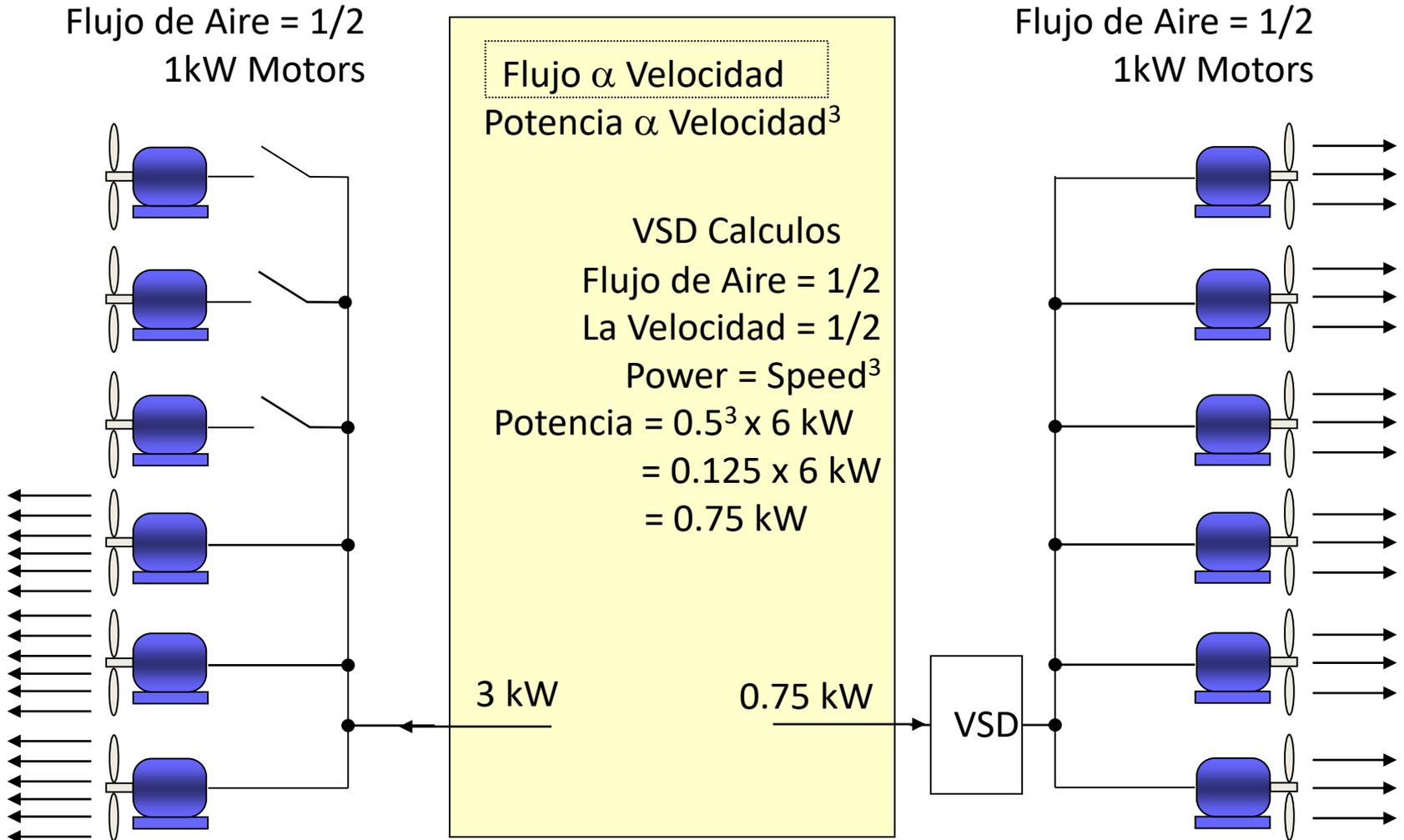
Replacing by-pass Valves



Torre de Enfriamiento



Ahorro con Múltiples Ventiladores



Aplicación de Variadores en Minería

- Fajas Transportadoras
- Se ahorra al mantener la velocidad de las fajas de alimentación de mineral a velocidad variable para alimentar a chancadoras, molinos, etc.- El Set Point de un lazo de control PID sería la corriente eléctrica que evidencie una operación a óptima carga de la chancadora o del molino

