



“Conceptos de automatización, PID, PLC y reemplazo de válvulas de control por variadores de velocidad”

Ing. Manuel H. Luque Casanave
Profesor-investigador
Facultad de Ingeniería Mecánica
Universidad Nacional de Ingeniería

Septiembre 2016

Beneficios de la Instrumentación y Control en la Industria

- Se garantiza la calidad del producto terminado
- Reducción de costos en energía (combustible, electricidad)
- Reducción de mermas en producción.
- Reducción de costos operativos en general, por menores costos logísticos, administrativos y de mantenimiento.
- Se incrementa la productividad
- Se reducen los impactos ambientales
- Se mejora la seguridad en las operaciones productivas
- Se mejora la imagen de la empresa por el componente de responsabilidad social y de ecoeficiencia.
- Operación ecoeficiente, produciendo más utilizando la misma cantidad de recursos o produciendo lo mismo utilizando menor cantidad de recursos
- Se puede contar con información histórica digital de mediciones que permita tomar decisiones operativas y de mantenimiento en los equipos y procesos de la empresa
- Se pueden hacer correlaciones periódicas de las mediciones de la instrumentación de planta con los volúmenes de producción y así determinar “consumos y costos específicos de recursos”, definidos como aquellos consumos y costos de recursos por unidad de producto terminado. Casos: kWh/unidad PT; galones de petróleo/Hl de cerveza; Sm^3 de gas natural/TM de harina producida; kWh/m² de tela. Estos son indicadores de eficiencia operativa.
- Implementación de sistemas de comunicación integrada (LAN, Ethernet) y con SCADA para compartir información en los diferentes niveles de la empresa, incluyendo el acceso a información vía smartphones.
- Se mejora la competitividad de la empresa en el mercado global

Clasificación de los sistemas de automatización :

- a) Sistemas de control discreto (on-off) que responde a una lógica discreta en la que los parámetros se representan por dos valores (1,0), asignados a dos condiciones operativas opuestas, como por ejemplo en operación, fuera de servicio; en operación normal, en alarma; abierto, cerrado; arriba, abajo; arranque, parada; entre otras condiciones.

- b) Sistemas de control análogo, que responde a una lógica análoga en la que los parámetros asumen valores continuos, como por ejemplo 78,50°C; 0,3m³/s; entre otros.

Simbología en la instrumentación

- Para la representación iconográfica de los instrumentos y sus señales en los diseños y planos de ambos sistemas de control, se utiliza universalmente la simbología estándar de la International Society of Automation (ISA). www.isa.org

TIPOS DE SEÑALES	
	conexión al proceso
	señal neumática
	señal eléctrica (análoga)
	señal eléctrica (discreta)
	tubo capilar
	señal hidráulica
	enlace digital

	Montado en Tablero Normalmente accesible al operador	Montado en Campo	Ubicación Auxiliar. Normalmente accesible al operador.
Instrumento Discreto o Aislado			
Display compartido, Control compartido.			
Función de Computadora			
Control Lógico Programable			

Terminología en Instrumentación

- Exactitud
- Precisión
- Resolución
- Error
- Rango
- Punto de consigna (Set point)
- Tiempo de respuesta
- Tiempo muerto
- Banda muerta
- Rangeabilidad
- Linealidad
- Elemento Primario (sensor)
- Transmisor
- Controlador
- Indicador
- Registrador
- Actuador final (válvula de control, posicionador, servomotor)

- Acondicionador de señal
- Convertidor de señal (A/D con C.I. ADC y D/A con C.I. DAC)
- Señales estándar en instrumentación análoga (3-15 psi, 4-20 mA DC, 1-5 V DC, 0-10 V DC)
- Variable controlada
- Variable manipulada
- Lazo de control (Control loop): Lazo simple, lazo en cascada
- PID
- MMI
- RTU
- Controlar
- Monitorear
- Puertos de comunicación: USB; EIA RS-232; EIA RS-422; EIA RS-485
- Diagrama de escalera (Ladder diagram)
- Controlador Lógico Programable (PLC)
- SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)

Sistemas de Control Discreto

- Los sistemas de control discreto (on-off) para ejercer el control de los procesos productivos están asociados a un eslabonamiento secuencial de eventos, a una lógica booleana o discreta de respuesta, en el que una actividad del proceso es función de los resultados discretos de la(s) actividad(es) precedente(s)
- Se expresa en el diseño del Diagrama de Escalera (Ladder Diagram) en el que se presenta la lógica de control basada en la articulación y conexión con:
- Componentes de entrada : contactos auxiliares de contactores; contactos de relays auxiliares; pulsadores de arranque y de parada, de reset; conmutadores; interruptores de nivel, de flujo, de temperatura, de presión, sensores de alarmas.

- Componentes de salida : contactores de motores, contactores de accionamiento de cargas y equipos eléctricos; relays auxiliares, temporizadores, contadores de eventos, programadores, lámparas de indicación o de alarma visual, klaxons de alarma auditiva.
- Diseñado en base al criterio de eventos secuenciales, se implementa como un “circuito de control” con lógica cableada en un tablero de control, al que llegan las señales discretas de los componentes de entrada y del que -según la lógica cableada- salen las señales discretas a los componentes de salida para controlar el proceso.
- Ejerciendo una buena práctica operativa el circuito de control se diseña con un conmutador manual/automático para permitir cambiar a operación manual para afrontar algún evento no contemplado o ante una contingencia, de modo que se pueda concluir la secuencia operativa e interactuar con cada equipo individualmente sin poner en riesgo la integridad del proceso productivo.

- En la figura 1 se presenta un Diagrama de Escalera, en el que se muestran los elementos de entrada (contactos) y elementos de salida (relays, lámparas indicadoras), así como el tablero en el que se implementa el circuito de control discreto. Aplicaciones: automatización de procesos de fabricación secuencial, centro de control de motores, central de alarmas, entre otros.

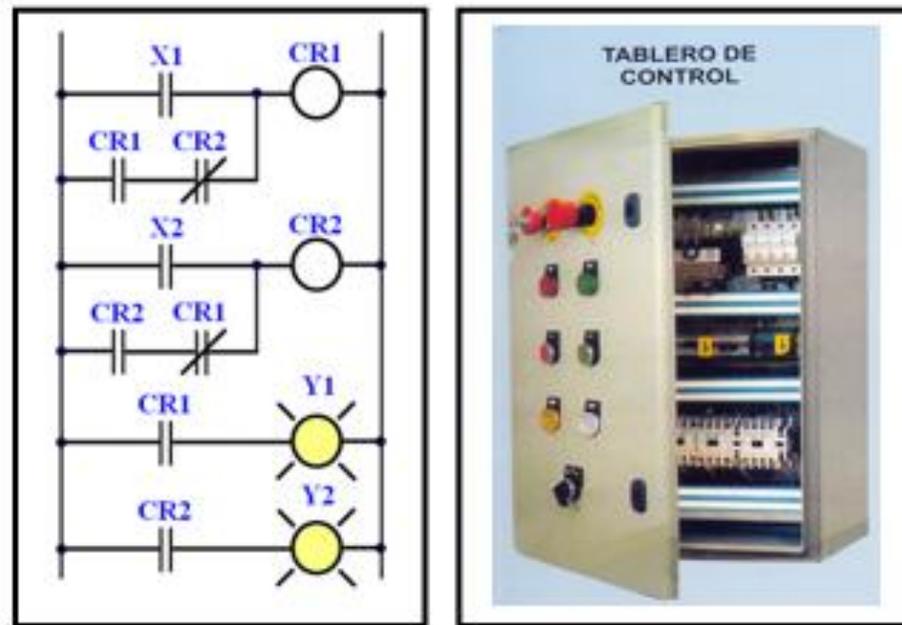
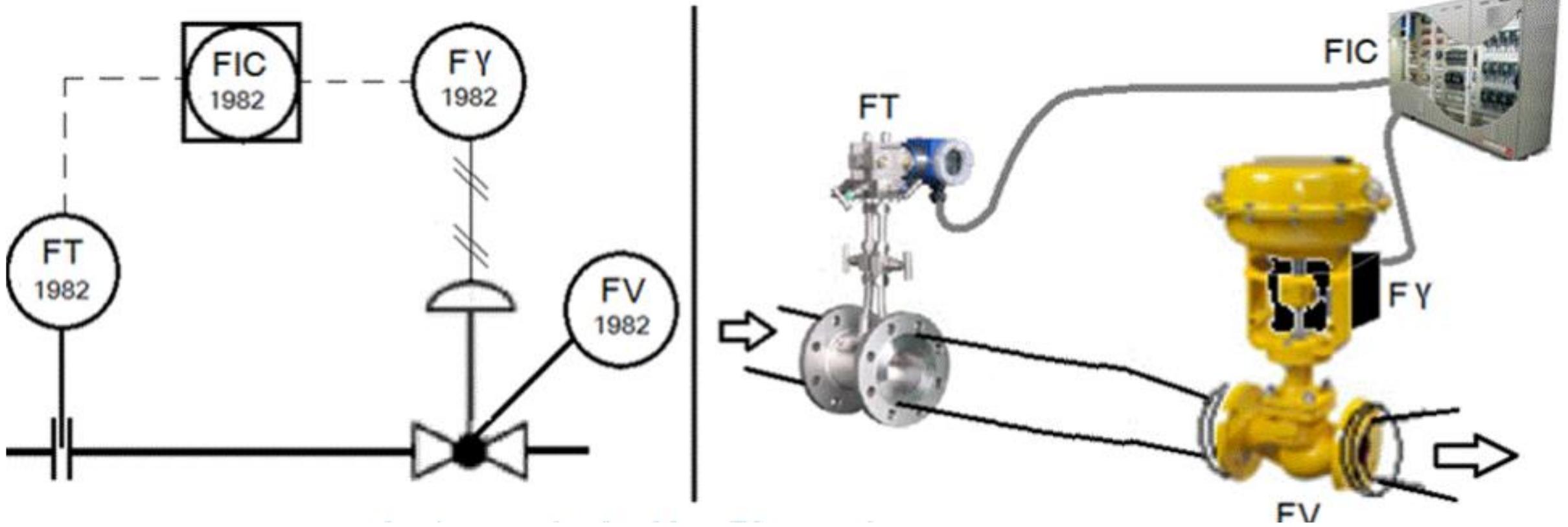


Fig. 1. Diagrama de escalera y tablero en un sistema de control discreto

Sistemas de Control Análogo

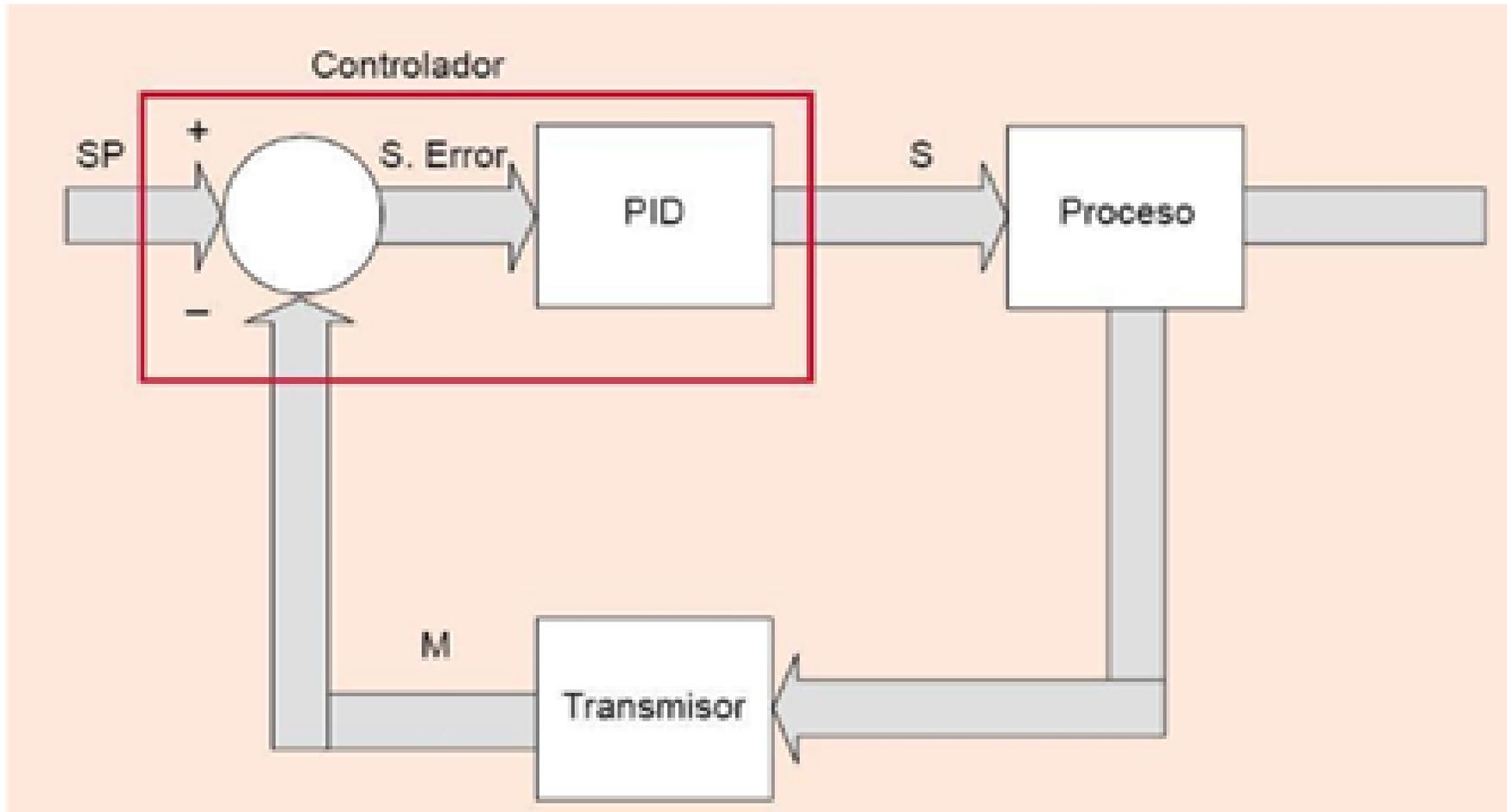
- Los sistemas de control análogo para ejercer el control de los procesos productivos están asociados a lazos de control en los que participan señales análogas.
- En un lazo de control el *transmisor* recibe una señal de un *elemento primario* o sensor, cuyo valor representa al parámetro medido, acondiciona la señal, la convierte en una señal estándar (3-15 psi, 4-20 mA DC, 1-5 V DC, 0-10 V DC) y la envía al *controlador*, el que compara esta señal de medición con el valor deseado o punto de consigna (set point) que ha ingresado el usuario al configurar el controlador.

- Como señal de salida entrega una señal estándar de control (3-15 psi, 4-20 mA DC, 1-5 V DC, 0-10 V DC) hacia el *actuador o elemento final* (válvula de control, posicionador, variador de velocidad , servomotor, motor de pasos.
- Un variador de velocidad (frequency driver) es una opción tecnológica moderna que sustituye a las válvulas de control de flujo con mejora en la eficiencia energética al reducir las pérdidas de presión estática por estrangulamiento de la válvula. Puede ser operado manualmente o automáticamente, en este último caso al integrarse a un lazo de control.

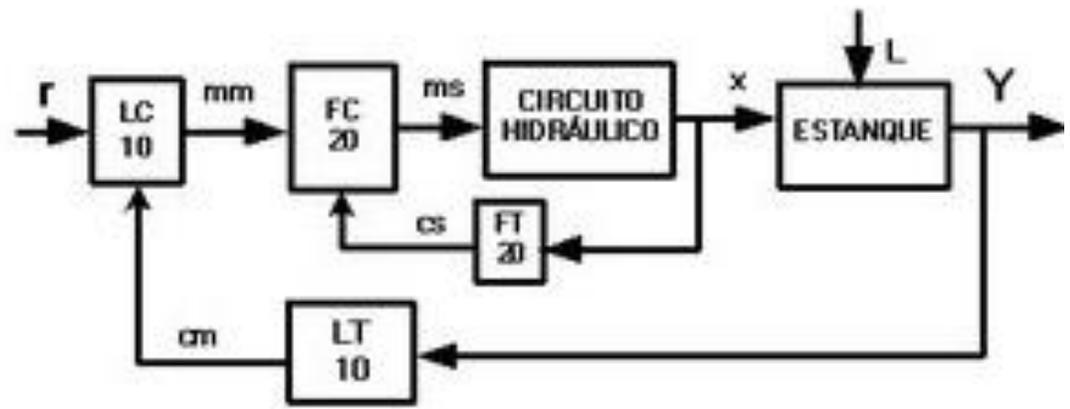
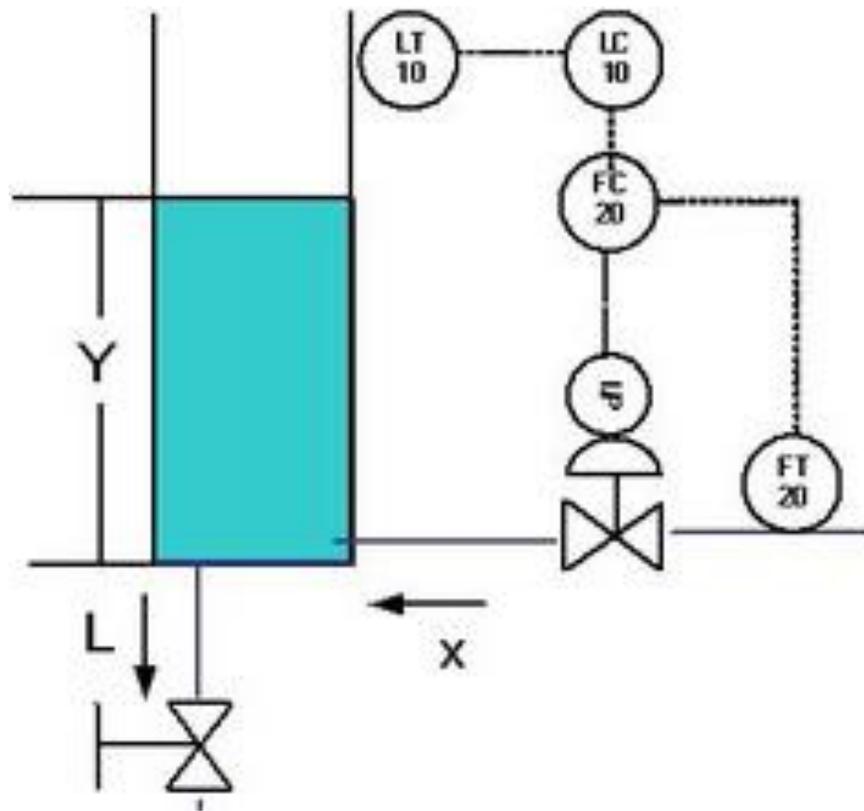


Lazo de Control simple

- Esta señal es utilizada para corregir el proceso y mantener el valor del parámetro operando en el punto de consigna, cuyo valor se determina en base a la aplicación del algoritmo PID (en lazo de control PID) o del algoritmo de lógica difusa Fuzzy Logic (en lazo de control difuso).
- La implementación de transmisores basados en microprocesadores y con acceso a redes inalámbricas han revolucionado los sistemas de control industrial, están estandarizados a través de las normas IEEE 802.11, normas europeas EN 50170 y EN 50254, asimismo han sido estandarizados en la norma IEC 61158 Comunicación Digital de Datos para Mediciones y Control.



Lazo de control PID



Lazo de control en cascada

- Para determinar los elementos de un lazo de control, se debe definir la variable controlada del proceso, es decir aquella que desea controlar (p.ej: el nivel de un tanque, la temperatura del tanque, el flujo de agua, etc.) y la variable manipulada, que es aquella sobre la que actúa el actuador final para mantener la variable controlada en el valor deseado o set point (p.ej: el flujo de vapor, etc).
-
- Aplicaciones: automatización de procesos de producción continuos, sistemas de monitoreo y control de la operación de equipos: calderas, hornos, secadores, intercambiadores de calor, sistemas con variadores de velocidad(*), molinos, turbogeneradores, entre otros.
- (*) Reemplaza en los procesos industriales a las válvulas de control reduciendo costos operativos, pues se minimizan las pérdidas por estrangulación de las válvulas . Ver Diagrama H-Q

Controladores Lógicos Programables- PLCs

- Los controladores lógicos programables (PLCs), que están basados en microprocesador, integran en una sola unidad los dos sistemas de control discreto y análogo.
- Constan de un hardware apropiado con una fuente de energía (Power Supply), un CPU, tarjetas de entradas y salidas, tanto análogas como discretas, así como tarjetas de comunicación para su conectividad con PCs o Lap Tops o con sistemas inalámbricos, posee puertos seriales RS-232 y USB para conectividad con PCs y RS-485 para conectividad con expansiones del mismo PLC, con otros PLCs o con instrumentos de planta, los mismos que pueden estar ubicados hasta 1200 metros de distancia.



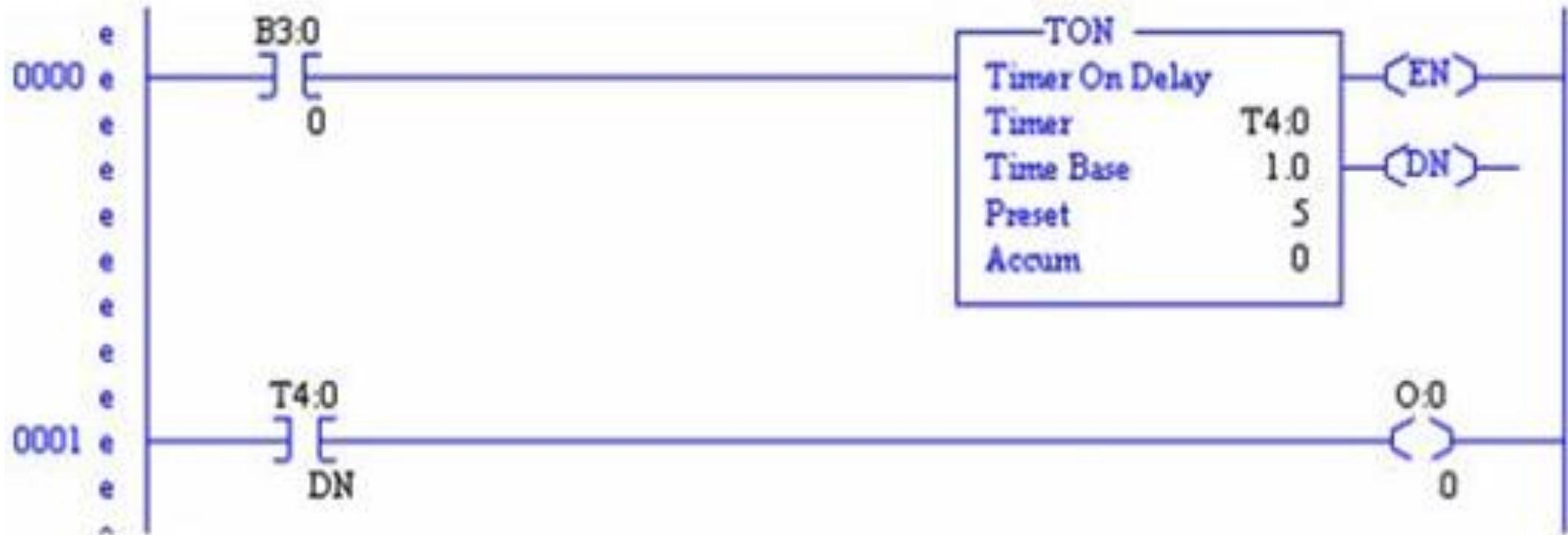
PLC típico para aplicaciones industriales

- Una ventaja técnico-económica es que en el PLC los relays auxiliares del control discreto y los controladores PID o controladores difusos del control análogo son virtuales, así como los temporizadores y los contadores de eventos, ello reduce dramáticamente los costos respecto a la opciones de lógica cableada en el caso de control discreto y de lazos de control análogo con controladores físicos.
- Los PLCs tienen un software de configuración con instrucciones de Diagrama de Escalera para el control discreto y de Bloques de programa para el control análogo, asimismo se cuenta con un software de supervisión para el monitoreo y control de los procesos vía una PC o una Lap Top.



Vista de un PLC con CPU y módulos de entrada y salida

- Las ventajas del control con PLCs para mejorar la eficiencia energética de los procesos industriales son: la flexibilidad operativa, dado que para cambiar de un sistema de control a otro no se necesita recablear, solo se modifica el programa; alta velocidad de procesamiento; gran capacidad de memoria para almacenar data y la conectividad que posee a través de protocolos industriales estándar (Profibus, Fieldbus, HART, CAN bus, DeviceNet, otros).
- En la siguiente figura se presenta la función de temporizado “Timer On Delay” (TON) con entradas discretas y salidas discretas, expresado en lenguaje de PLC

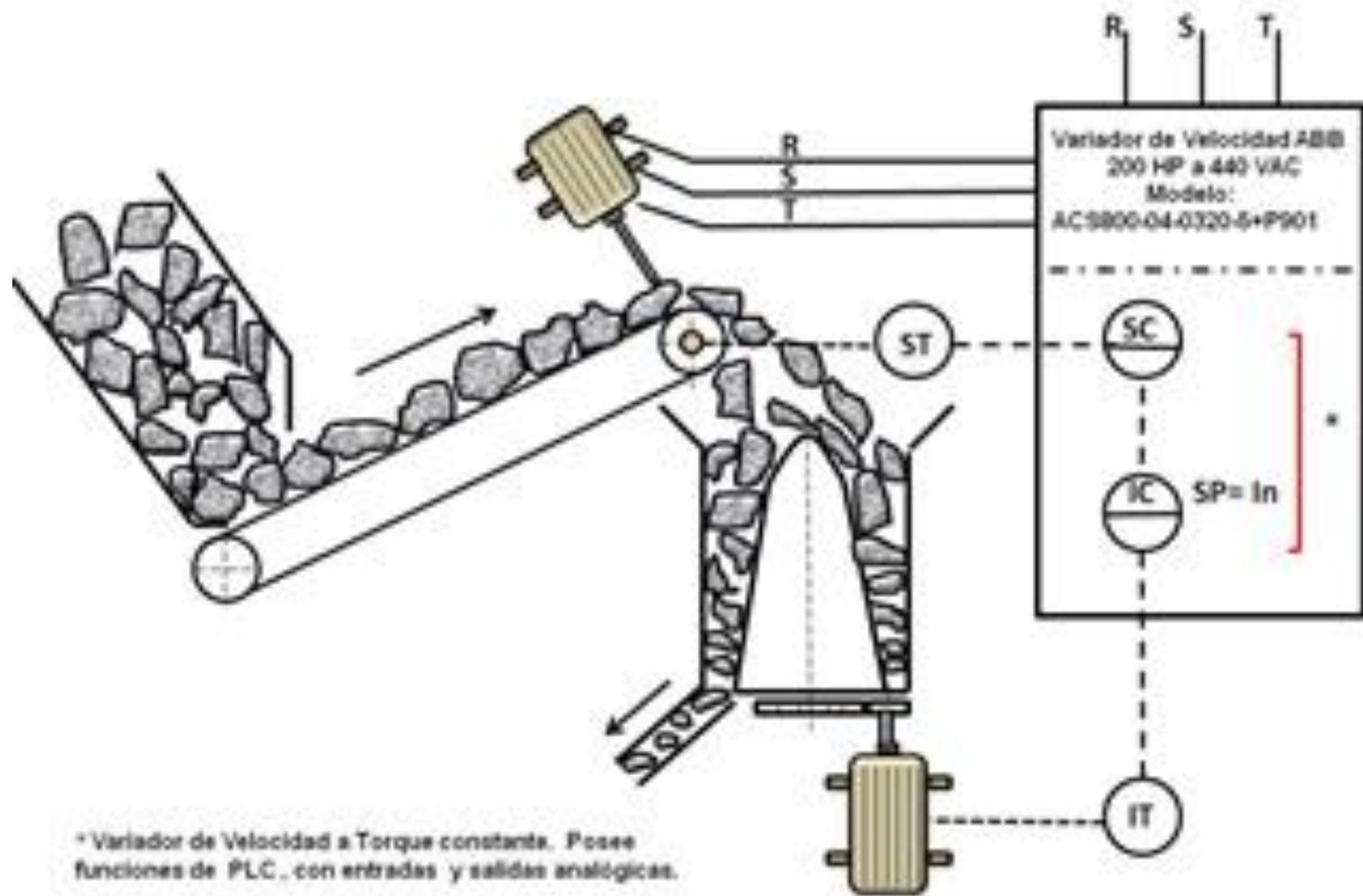


Instrucciones de control discreto con la función de temporizado en lenguaje PLC

- La automatización permite integrar a todas las áreas de la empresa mediante un sistema de supervisión y control (SCADA) para que la información de campo sea distribuida para toma de decisiones específicas en producción -a través de indicadores como los consumos específicos de energía-, para hacer balances de energía y realizar la gestión de la eficiencia energética, para manejo de stocks en logística, decisiones de mantenimiento, de control de calidad y para gerencia; en un sistema piramidal de información en configuraciones de redes LAN, Ethernet, entre otras.
- En la base de la pirámide de la información están los dispositivos de campo: transmisores, controladores, válvulas de control. En un segundo nivel están los PLCs, los sistemas de control distribuido (DCS). En el tercer nivel están los sistemas de control de procesos, en un cuarto nivel los sistemas de gestión de planta y en el nivel superior está la dirección corporativa de la empresa. Ver figura siguiente

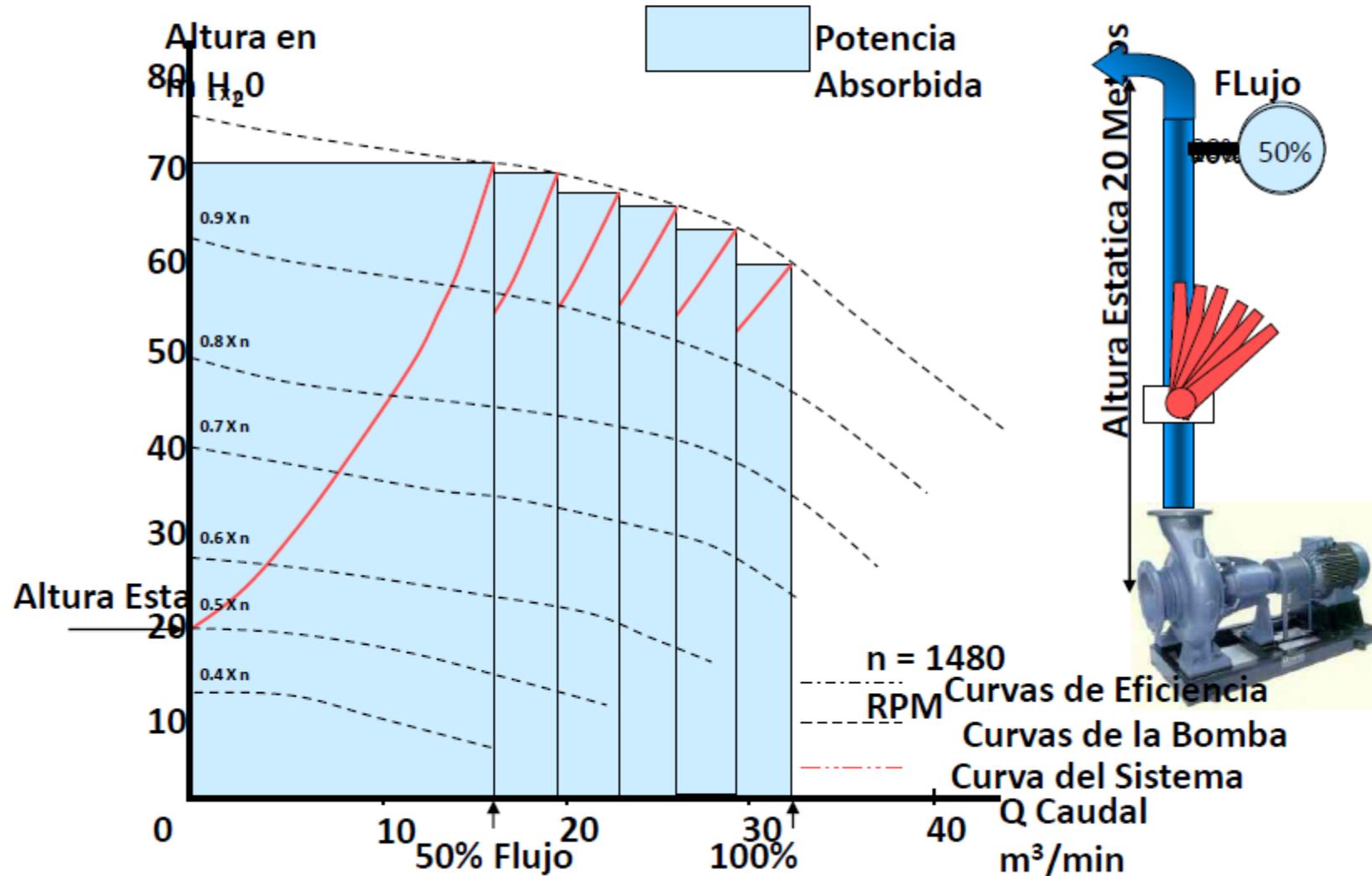


Pirámide de la información en una planta industrial

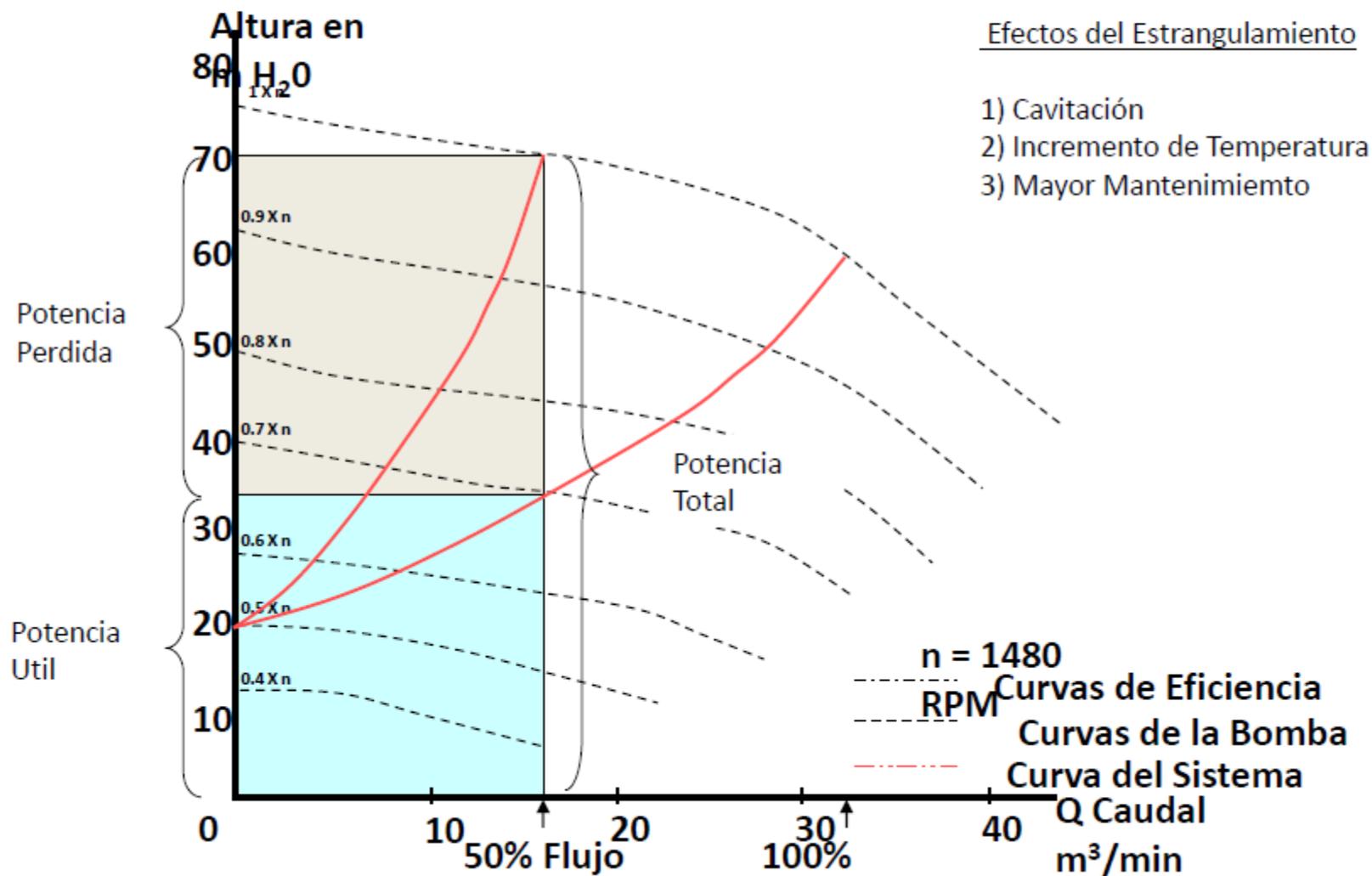


Caso de control en cascada con un variador de velocidad

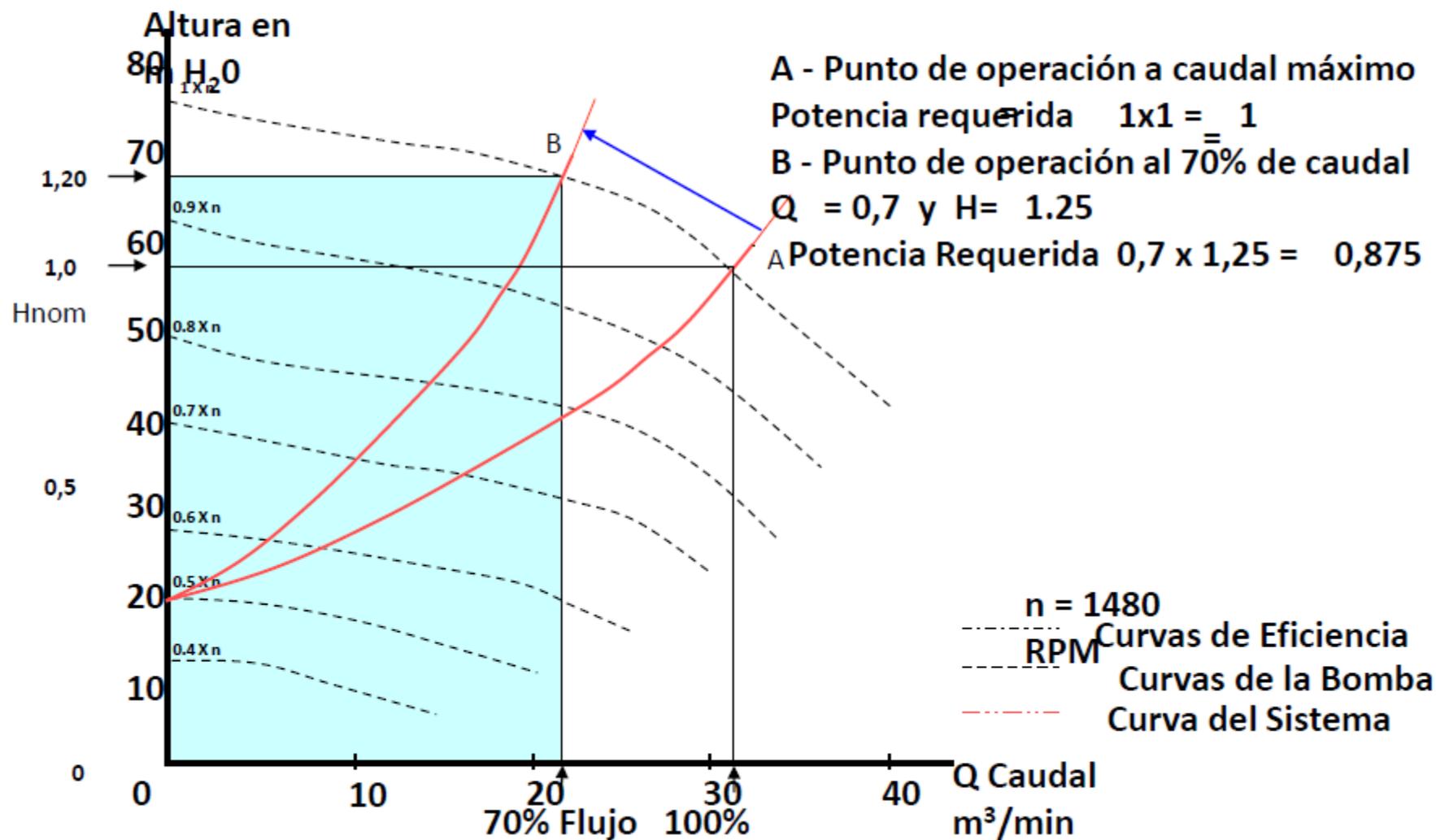
Sistema De Flujo Variable Con Estrangulamiento



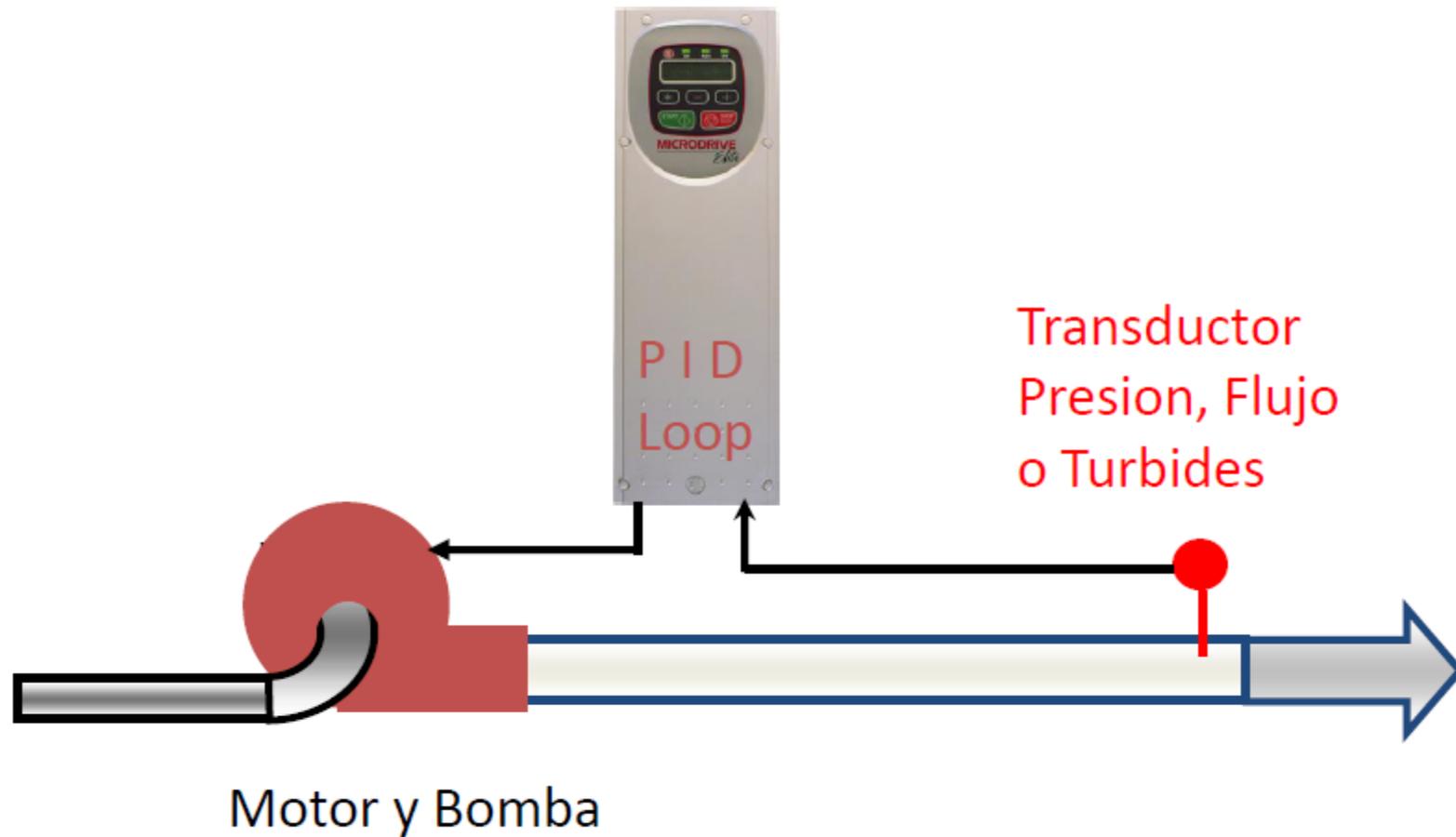
Potencia Perdida Con Sistema De Estrangulamiento



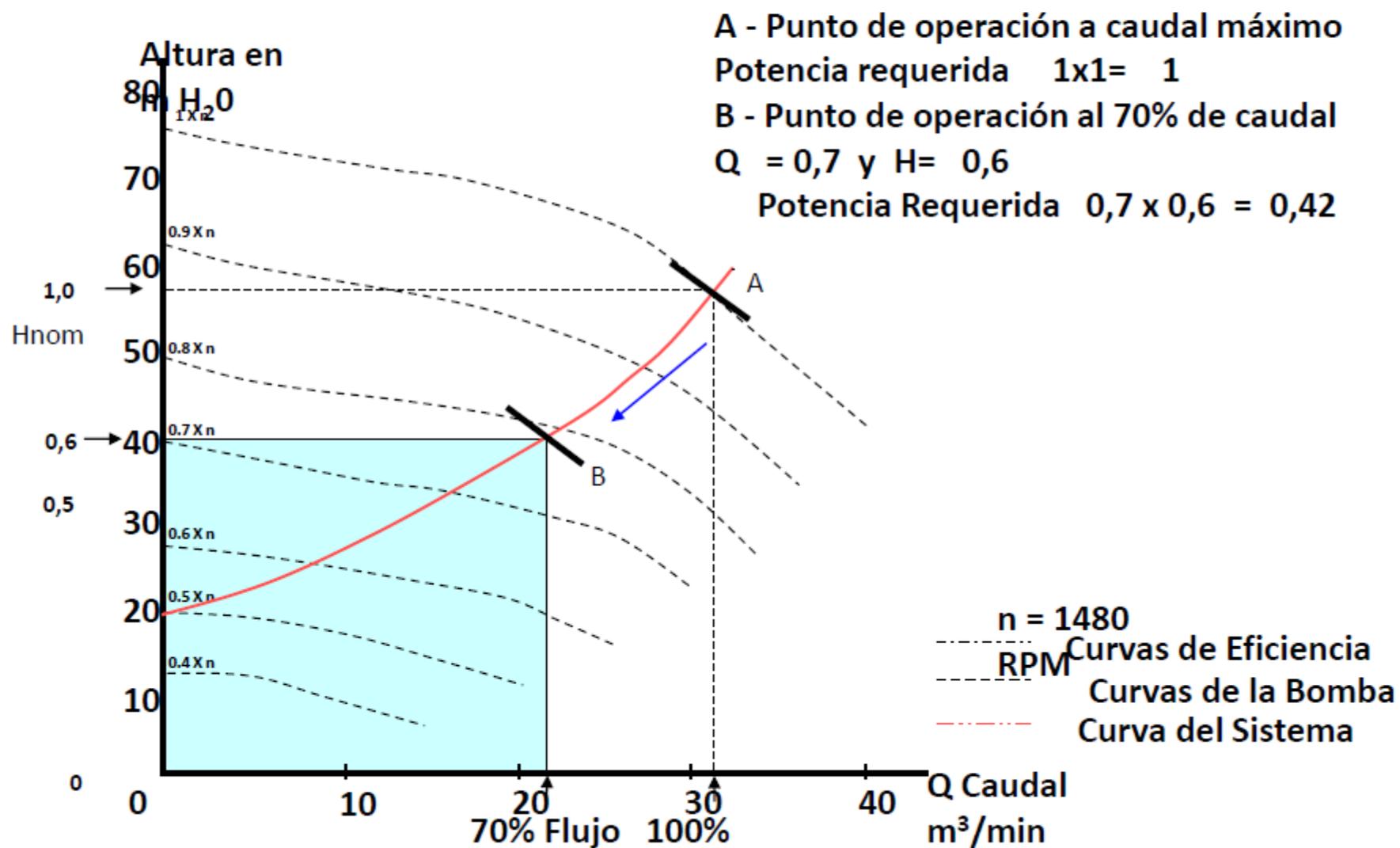
Energía Consumida Usando Válvula De Estrangulamiento



Sistema Con Variador De Velocidad



Energía Consumida Usando Variador De Velocidad



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

$$T_r = \frac{26000}{22000} = 15 \text{ Meses}$$

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

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

$$n1 = 0,75$$

$$n2 = 0,85$$

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

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

$$K_e = 0,0253$$

$$T_o = 8000 \text{ h/a}$$

$$P_m = 200 \text{ KW}$$

$$P_V = 26000$$

Caso de un control automático en lenguaje PLC
utilizando el algoritmo PID con lazo de control en
cascada.

Rung 0

BTR	
BLOCK TRANSFER READ	
RACK	0
GROUP	0
MODULE	0
CONTROL BLOCK	F10:100
DATA FILE	F8:17
LENGTH	64
CONTINUOUS	Y

F10:100
(U)
15

(-EN)
(-DN)
(-ER)

Rung 1

PID	
PID	
CONTROL BLOCK	F10:120
PROCESS VARIABLE	F8:17
TIEBACK	N15:10
CONTROL VARIABLE	F10:32

F10:120
(U)
15

Rung 2

PID	
PID	
CONTROL BLOCK	F10:30
PROCESS VARIABLE	F8:12
TIEBACK	N15:90
CONTROL VARIABLE	F8:21

F10:30
(U)
15

Rung 3

BTR	
BLOCK TRANSFER READ	
RACK	0
GROUP	0
MODULE	0
CONTROL BLOCK	F10:140
DATA FILE	F8:12
LENGTH	64
CONTINUOUS	Y

F10:140
(U)
15

(-EN)
(-DN)
(-ER)

Rung 4

BTW	
BLOCK TRANSFER WRITE	
RACK	0
GROUP	2
MODULE	0
CONTROL BLOCK	F10:160
DATA FILE	F8:21
LENGTH	64
CONTINUOUS	Y

F10:160
(U)
15

(-EN)
(-DN)
(-ER)

Comunicaciones digitales

- En el mercado se cuenta con transmisores inteligentes comunicándose digitalmente con los PLCs a través de protocolos estándar de comunicaciones (Profibus, CAN, Modbus, Hart, etc) incluyendo convertidores para hacer la interfaz entre transmisores analógicos y la red digital que opera con protocolos de comunicaciones.
- Asimismo se cuentan con transmisores que envían los valores de los parámetros medidos vía inalámbrica tanto a los controladores o a los mismos PLCs, mediante el formato estándar para redes inalámbricas IEEE 802.11 (2,4 GHz).- De esta forma se mantiene una conectividad completa en la empresa, incluyendo el acceso remoto a la data de los PLCs vía modem, vía Internet, vía satelital, vía telefonía celular, vía smartphone (Apps, interface [SCADAMobile](#)) y a través de otros periféricos inalámbricos (wireless).

Conclusiones

- Hoy en día con la variedad de equipos de control automático de procesos, las empresas tienen en la automatización una herramienta a costo efectivo para mejorar su eficiencia energética, mantener los estándares de calidad de producto y reducir las emisiones. La automatización otorga seguridad operativa y mejora en la productividad de planta. Se reducen los consumos y costos específicos de energía, de materia prima, de agua, de combustibles; reduciendo el impacto ambiental en las operaciones productivas.
- La integración de los sistemas de control automático a través de la red digital de comunicaciones permite optimizar las decisiones estratégicas en todos los niveles de la empresa al contar con información en tiempo real.
- El consumo específico de energía es un indicador de eficiencia operativa y representa el consumo de energía por unidad de producto terminado