



# SISTEMA DE CONTROL DE BOMBEO DE AGUA HELADA

ING. FERNANDO KATAYAMA

CIP 62656



**ASHRAE Guideline 36-2021**  
(Supersedes ASHRAE Guideline 36-2018)  
Includes ASHRAE addenda listed in Appendix C

# High-Performance Sequences of Operation for HVAC Systems

ASHRAE 90.1

Requisitos Energéticos para  
Edificios excepto los  
Residenciales de Baja Altura

ASHRAE 36

Secuencias de operación de  
alto rendimiento para  
sistemas HVAC





- AUTOMATIZACION DE PLANTAS DE AGUA HELADA
- OPCIONES DE AUTOMATIZACION
- AUTOMATIZACION + CONECTIVIDAD INTELIGENTE + OPTIMIZACION

# OPERACIÓN DE LA PLANTA DE AGUA HELADA



- La automatización de los equipos de la planta de agua helada es fundamental para una correcta operación
- Dependiendo del diseño de la planta de agua helada, el control de automatización puede ser o no complejo.
- Objetivo: Operación eficiente y optimizada de la planta de agua helada basado en demanda minimizando los riesgos de operación por fallas.





# ¿QUE SE CONTROLA?

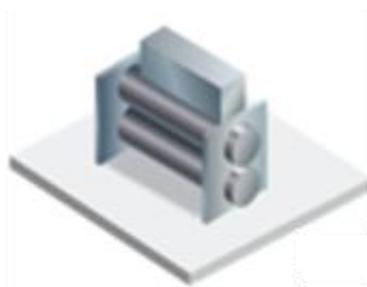
En forma general y dependiendo del diseño, capacidad de la planta y tipo de enfriamiento del chiller (agua/aire)

- Bombas del sistema primario
- Bombas del circuito de condensación
- Chillers
- Torres de enfriamiento
- Actuadores de válvulas on/off
- Actuadores de válvulas modulantes
- Sistemas secundarios y terciarios

# ALCANCE



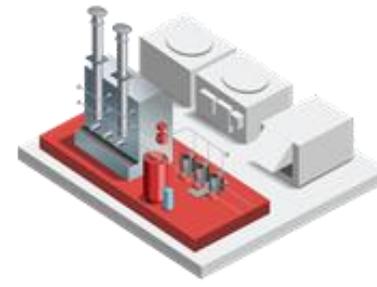
Bombas



Chillers



Torres



AHU

- Lectura de suministro y retorno de agua helada
- Lectura de entrada y salida de agua de condensación
- Lectura de presión diferencial instalado en el sistema
- Lectura de flujo del circuito primario y condensación
- Opcional, lectura de temperatura ambiente



# ALCANCE

- Apertura/cierre de válvulas de aislamiento en chillers
- Apertura/cierre de válvulas de aislamiento en torres de enfriamiento
- Apertura/cierre y modulación de válvula de bypass
- Encendido/modulación de velocidad/apagado de bombas del sistema primario variable
- Encendido/modulación de velocidad/apagado de bombas del circuito de agua de condensación
- Encendido/Apagado y monitoreo de chillers
- Encendido/Modulación de velocidad/Apagado de los ventiladores de las torres de enfriamiento



# SECUENCIA DE OPERACION

- Apertura/cierre de actuadores de válvulas
- Arranque del sistema de bombeo primario/condensación
- Control de válvula de by pass/flujo mínimo
- Confirmación de flujo en chillers (evaporador/condensador)
- Monitoreo de temperaturas de condensador
- Arranque de chillers/Control de demanda límite
- Monitoreo de demanda



# SECUENCIA DE OPERACION

- En la secuencia de operación de la planta de agua helada debe contar con lecturas de variables tales como:
  - Presión diferencial
  - Temperaturas
  - Flujo
- Las cuales son analizadas por el algoritmo de control para determinar la demanda del edificio. Dependiendo de la demanda, se controlan velocidades y secuenciamiento de los diferentes equipos.

# CONCEPTOS BASICOS DE AUTOMATIZACION



- BMS, BAS, BACS – Automatización y Monitorización
- BAS comprende todos los productos y servicios de ingeniería para controles automáticos, monitoreo, optimización, operación, intervención humana y administración para lograr una operación eficiente, económica y segura de los sistemas de servicios de edificios.
- BEMS, EMS – Similar a BAS pero con un sistema de gestión de energía más sofisticado que conecta todas las partes del edificio y las controla de forma centralizada
- La optimización supervisa y controla los servicios alimentados por energía, como el aire acondicionado, la calefacción y la ventilación, para garantizar que el edificio funcione a los niveles máximos de eficiencia, al tiempo que elimina el uso de energía desperdiciada.

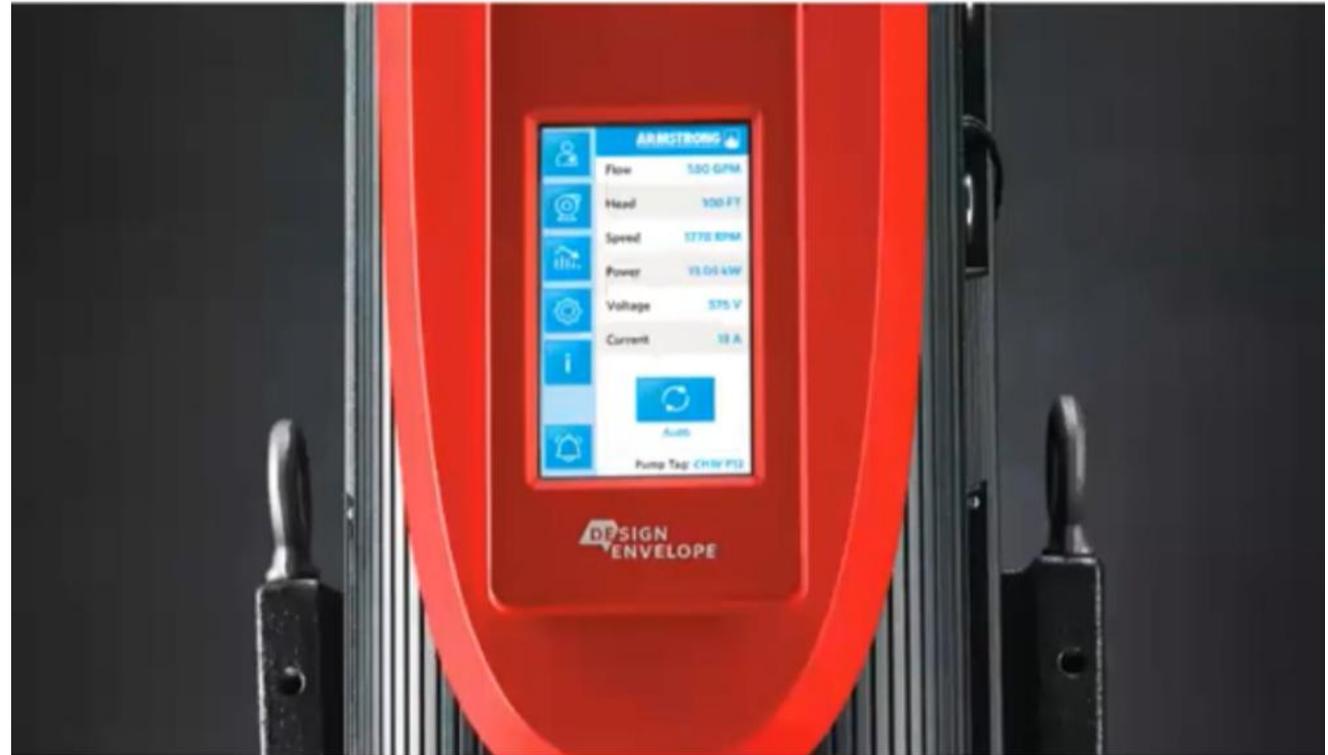


# ULTIMAS TENDENCIAS EN LA INDUSTRIA

- IoT o Internet de las Cosas que se compone de dispositivos, desde sensores simples hasta teléfonos inteligentes y dispositivos portátiles, conectados entre sí, para hacer que la computación de borde realmente funcione, el IoT tiene un gran papel que desempeñar.
- Digitalización de activos. IoT facilita la digitalización de activos a nivel individual, puede capturar datos granulares del edificio, estas medidas se capturan en tiempo real para obtener información operativa clave.

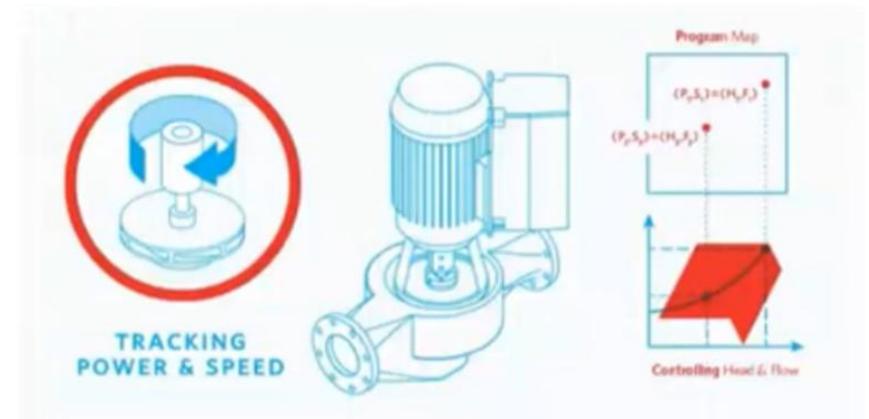
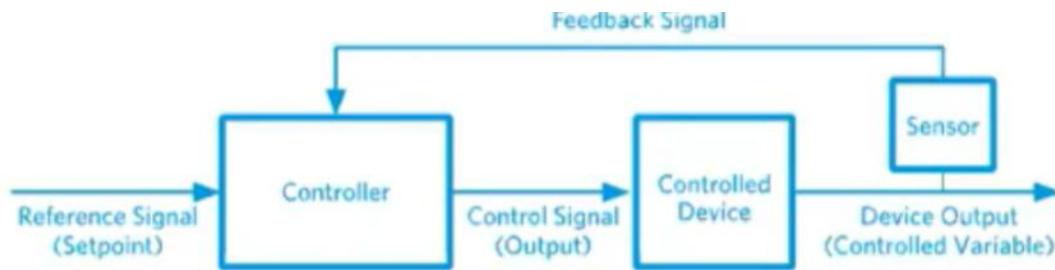
# DISPOSITIVO DE NIVEL DE CAMPO

- Solución inteligente en el corazón del sistema hidrónico



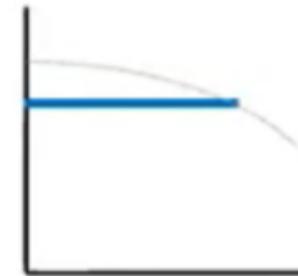
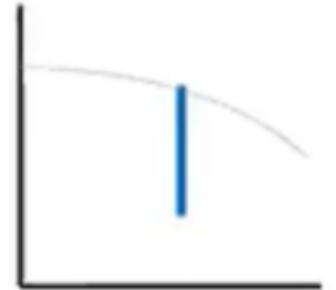
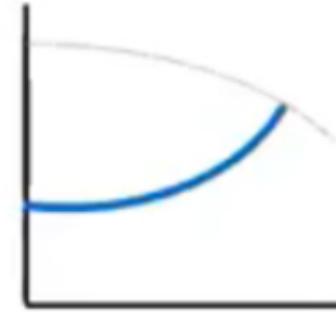
# DISPOSITIVO DE CAMPO INTELIGENTE

- Autocontrol (Sensorless), con múltiples modos de control que se pueden configurar en el campo, conectividad IoT, listos para BMS virtual, digitalización de activos con configuración inteligente.
- Control de sensor, sensor remoto, cableado, estación externa, metodología de control centralizado con envío de información a la cabecera en el sitio.



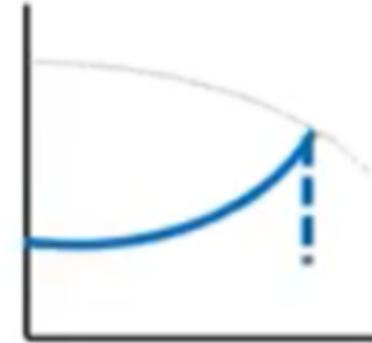
# MODOS DE CONTROL INCORPORADOS

- Proporcional: varía la salida de flujo en función de los requisitos de potencia hidráulica del sistema (los requisitos de potencia hidráulica cambian mediante válvulas de control)
- Control de flujo constante: mantiene el índice de flujo pre establecido.
- Control de presión constante: emula el rendimiento de una sensor de DP local, donde las pérdidas por fricción varían con el flujo del sistema mientras se mantienen una presión constante.



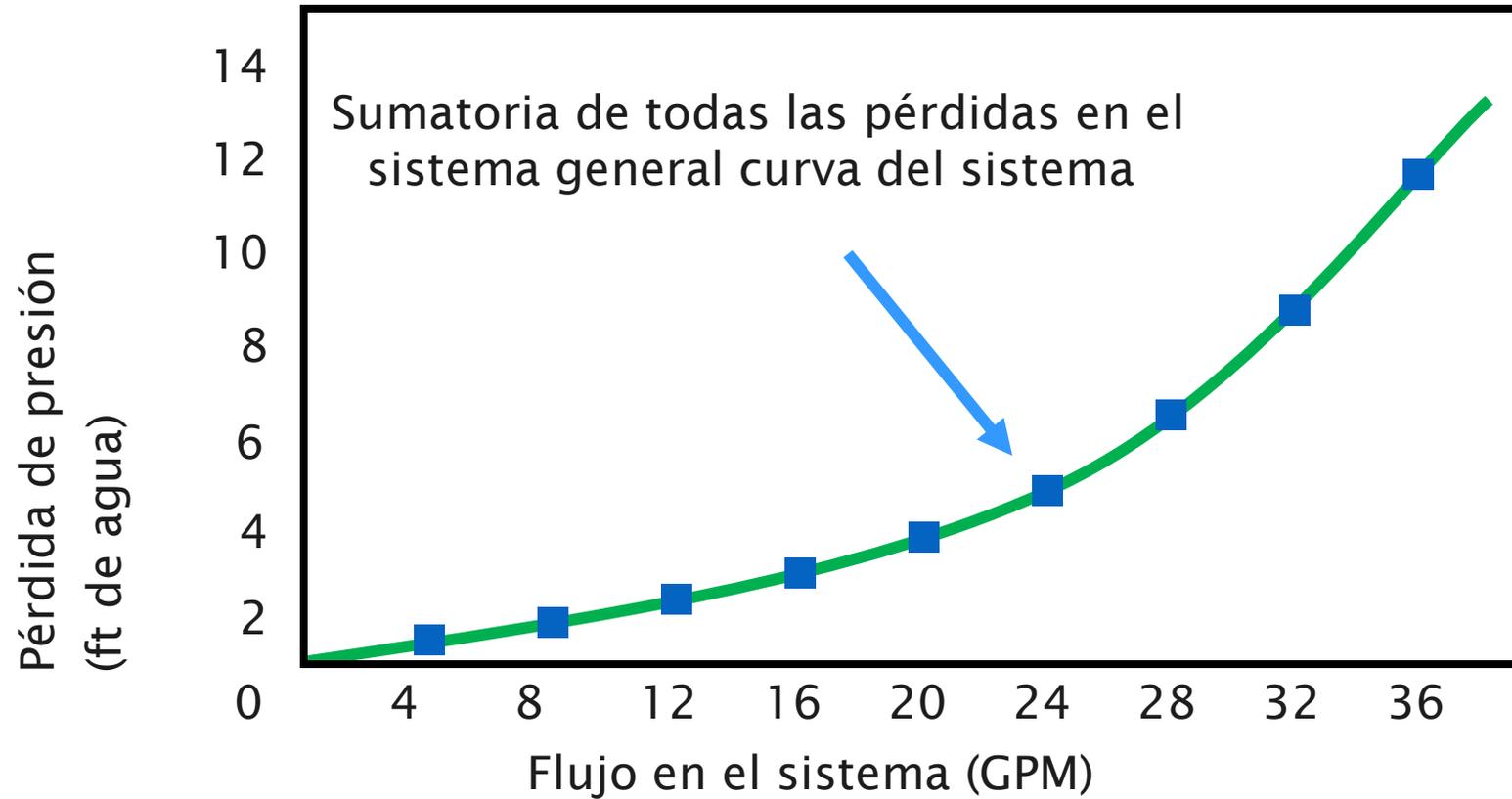
# MODOS DE CONTROL INCORPORADOS

- Control de flujo máximo: limita el caudal al máximo pre establecido para ahorros de energía potenciales y seguridad de los componentes.
- Control de flujo mínimo: intenta mantener la tasa de flujo al mínimo pre establecido para proteger el equipo en el sistema

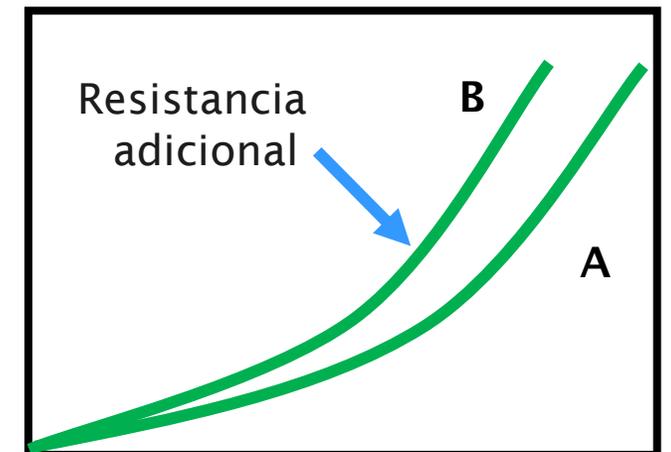




# PRINCIPIOS BASICOS

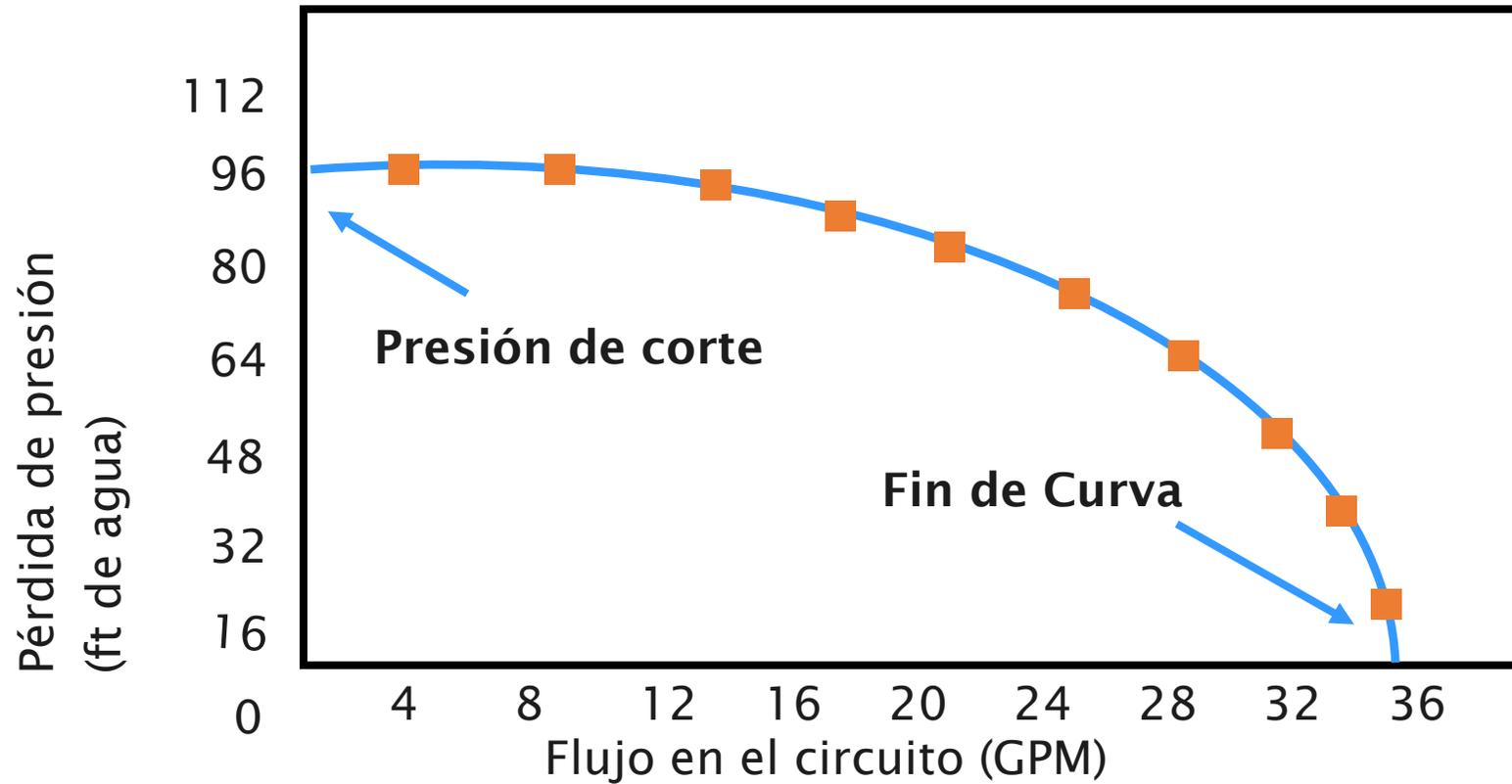


## Cambios en pérdidas

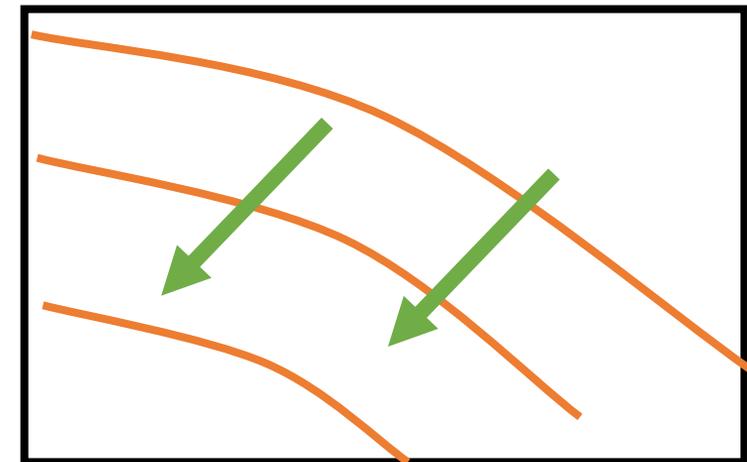




# PRINCIPIOS BASICOS



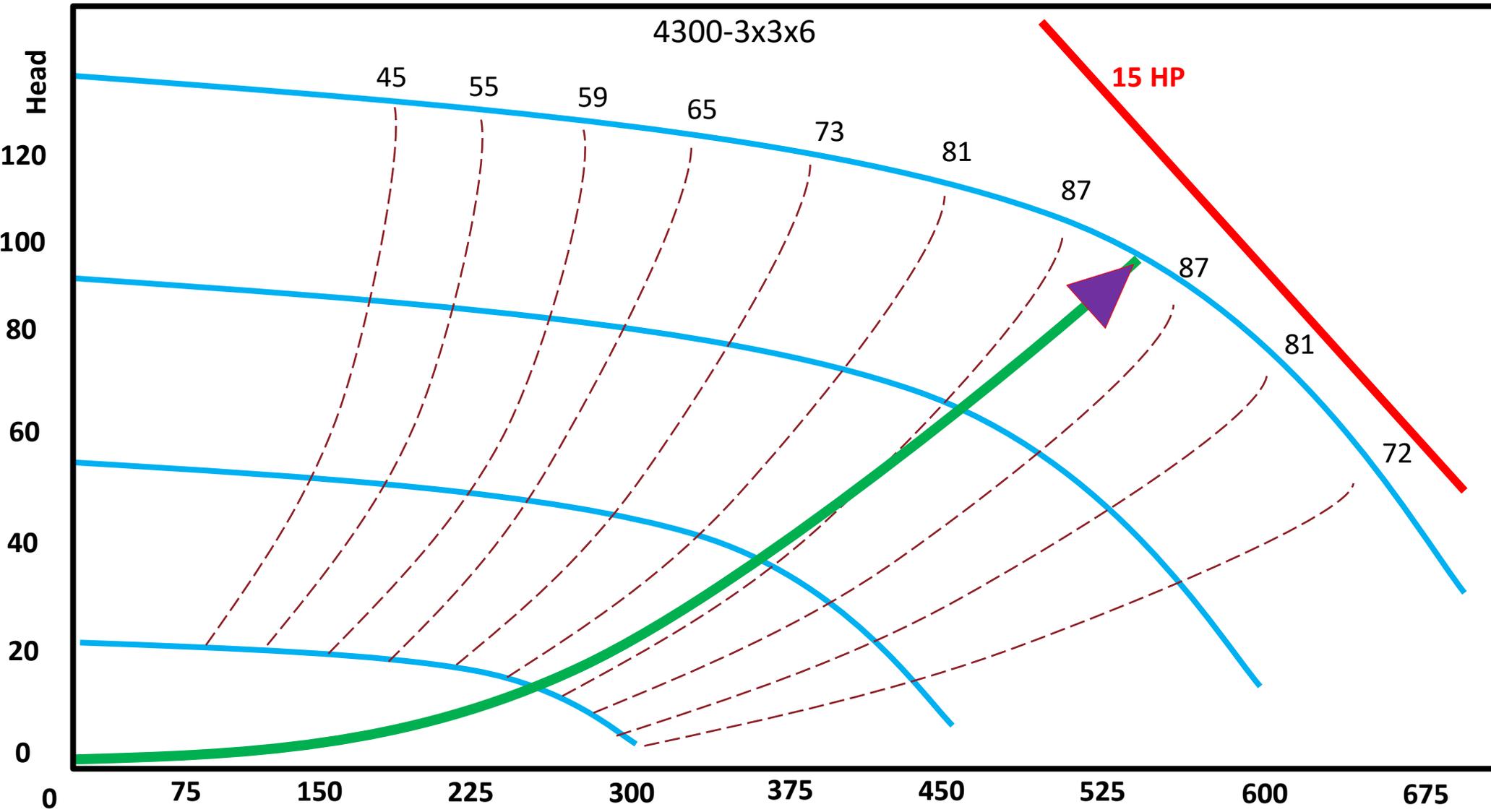
## Cambio en velocidad



- Reducción de diámetro
- Reducción de velocidad



# PRINCIPIOS BASICOS



Curvas de Velocidad Variable

Curva de Sistema

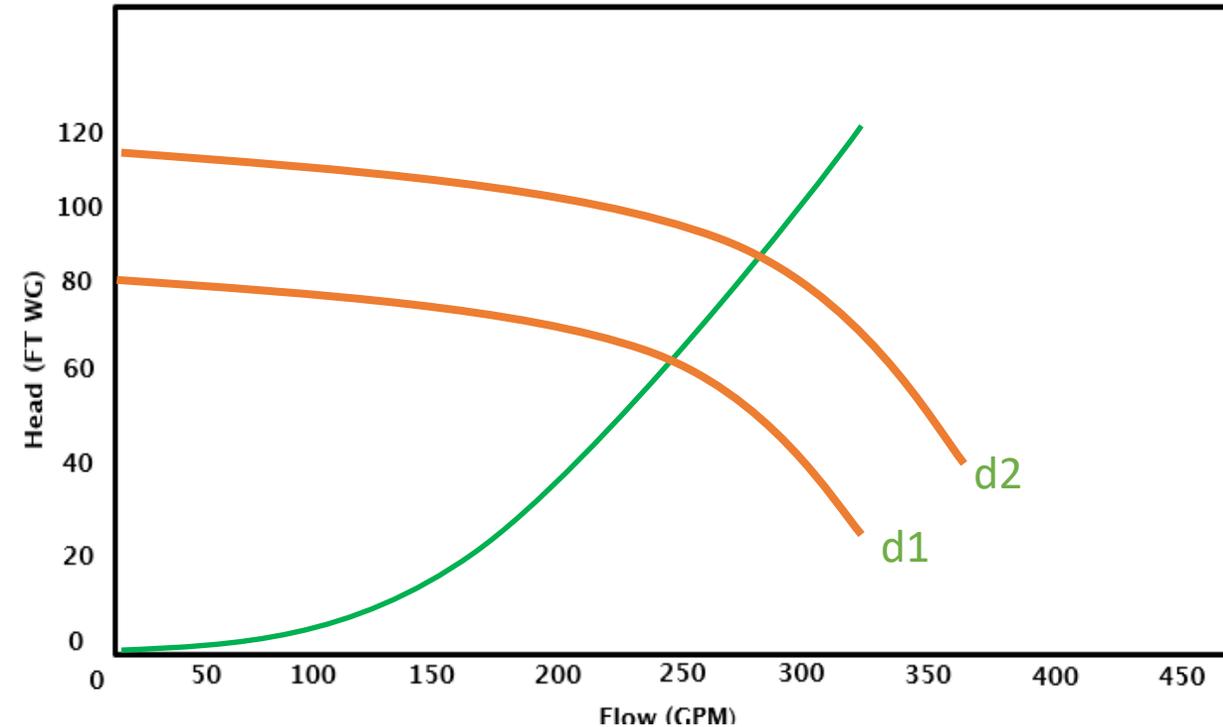
Punto de Operación

Potencia (Motor HP)

Eficiencia (%)

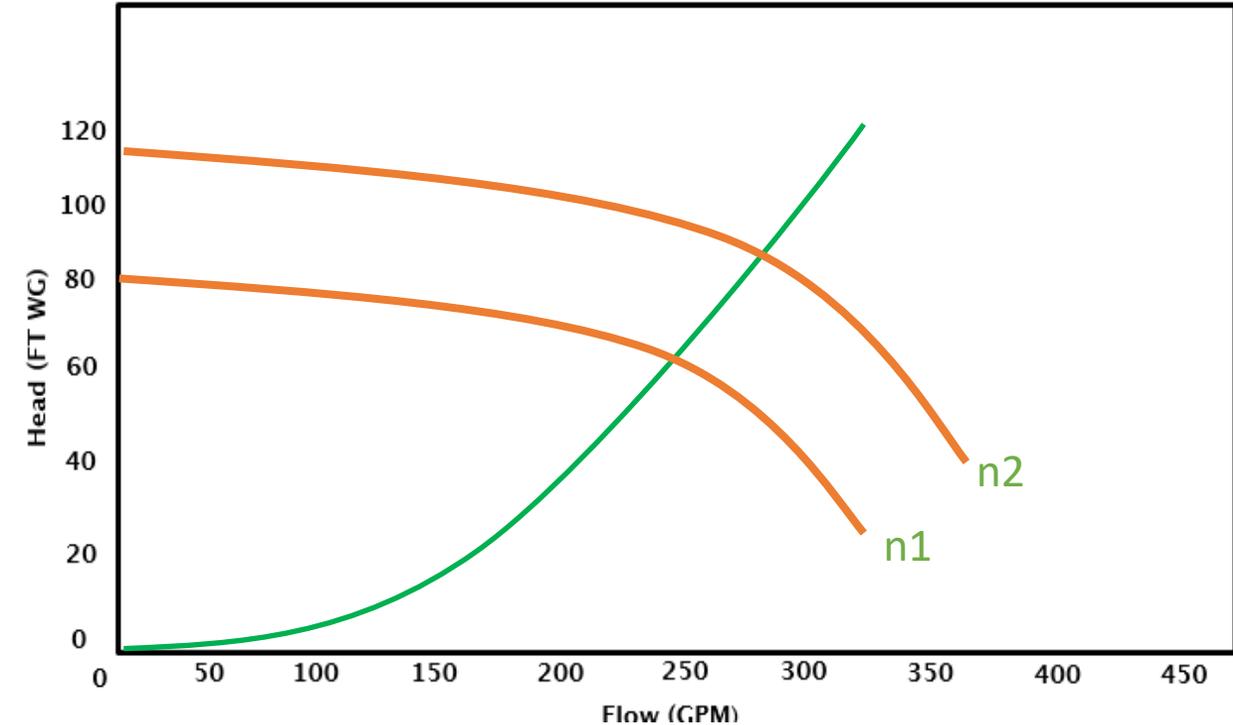
# LEYES DE AFINIDAD

## Con velocidad constante:



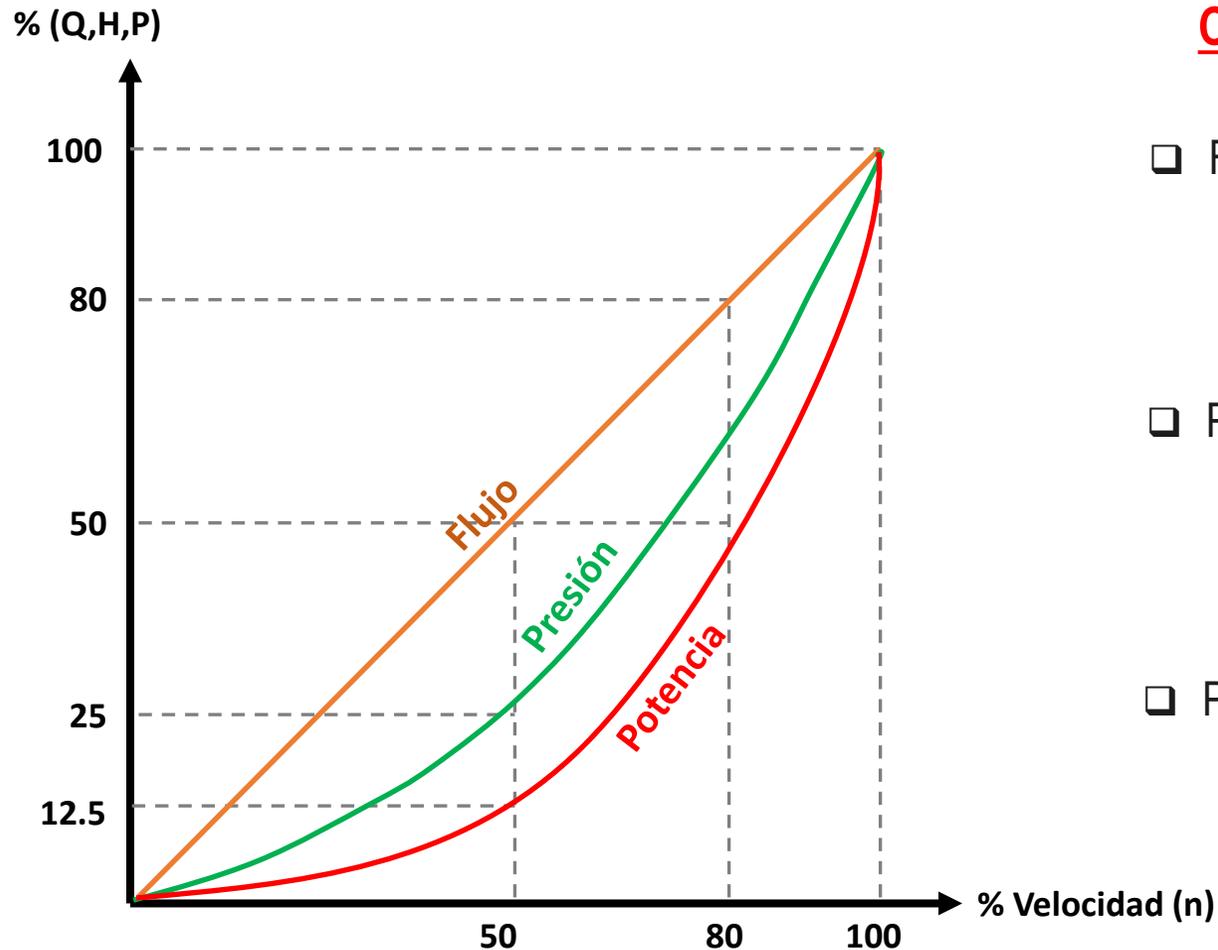
- Flujo es Proporcional al diámetro del impulsor
- Presión es Proporcional al cuadrado del diámetro del impulsor
- Potencia es Proporcional al cubo del diámetro del impulsor

## Con diámetro de impulsor constante:



- Flujo es Proporcional a la velocidad
- Presión es Proporcional al cuadrado de la velocidad
- Potencia es Proporcional al cubo de la velocidad

# LEYES DE AFINIDAD-VELOCIDAD VARIABLE



## Con diámetro de impulsor constante:

- ❑ Flujo es Proporcional a la Velocidad

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

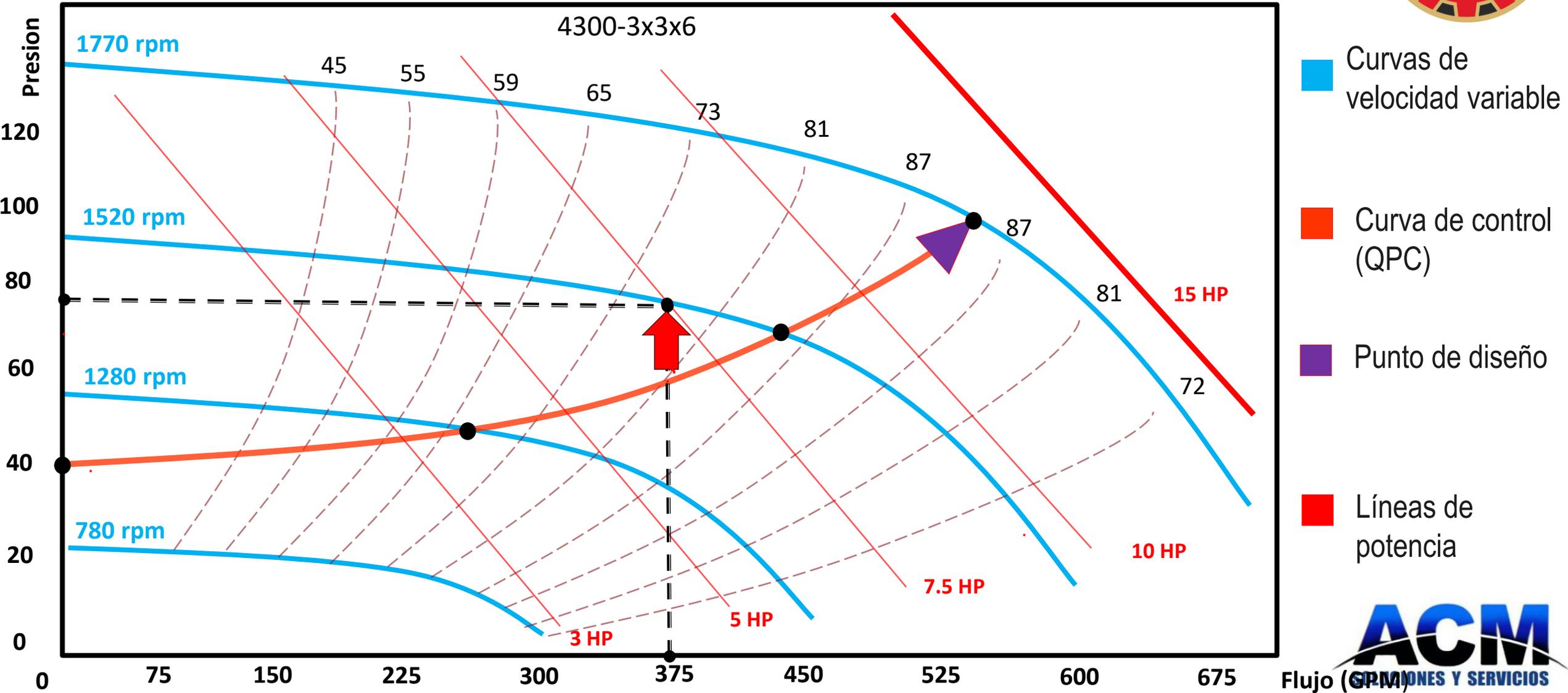
- ❑ Presión es Proporcional al cuadrado de la velocidad

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2$$

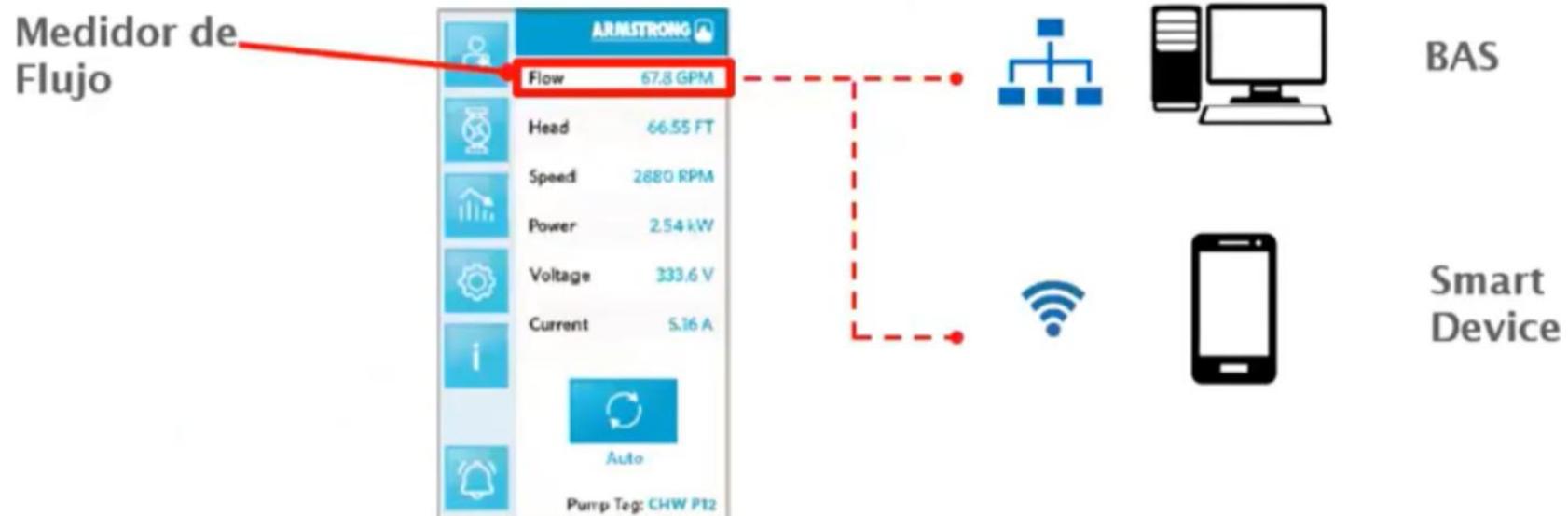
- ❑ Potencia es Proporcional al cubo de la velocidad.

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3$$

# BOMBEO INTELIGENTE-TENCOLOGIA SENSORLESS

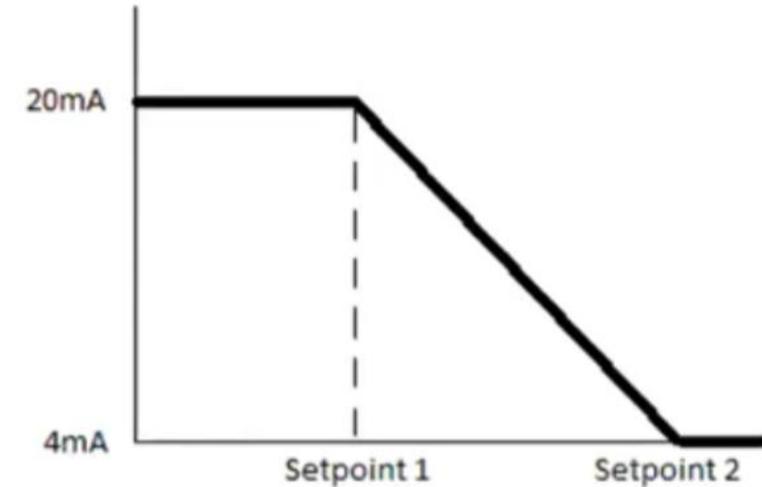


- Flujo: muestra el índice de flujo sin sensor calculado en la pantalla de la interfaz de usuario; también disponible a través de puntos BAS y servidor web: lo utiliza junto con otros dispositivos para optimizar el sistema



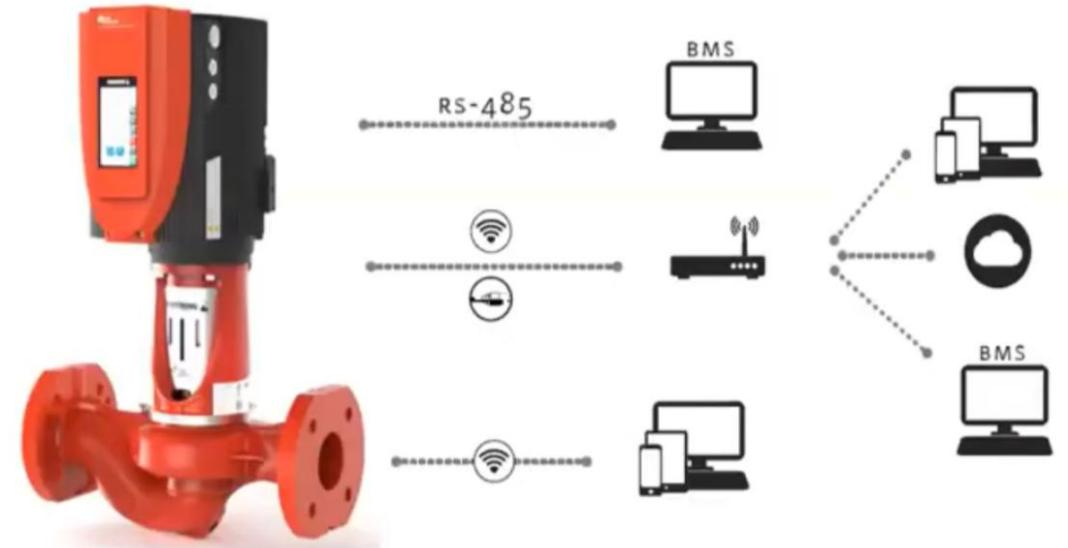
# PUEDE CONTROLAR DIRECTAMENTE OTROS DISPOSITIVOS

- Control de válvula de by pass
  - Características de flujo lineal para control de modulación
  - Normalmente cerrado
  - 4-20mA
- Si el flujo es inferior al punto de ajuste 1, la salida analógica envía 20mA a la válvula completamente abierta.
- Si el flujo es mayor que el punto de ajuste 2, la salida analógica envía 4mA para cerrar completamente la válvula.
- Debe haber suficiente espacio entre los puntos de referencia 1 y 2 para evitar que la válvula de by pass se abra y cierre innecesariamente.



# FACIL CONECTIVIDAD PREPARADA PARA EL FUTURO

- Protocolos de control tradicionales (Modbus, BACnet, etc.)
- Listo para IoT: conexión a través del enrutador
- Lista de puntos enviadas al BMS virtual a través de API
- La GUI se puede usar directamente a través de BMS o se puede crear un gráfico propio.
- Conectividad de dispositivos móviles





# SERVICIOS EN LA NUBE

- Gestión del rendimiento
- Ayuda a administrar el rendimiento de la bomba y brinda información a nivel del sistema en función de la información de flujo.
- Datos operativos en tiempo real
- Perfil de rendimiento con marca de tiempo
- Ahorro de energía y carbono en tiempo real
- Alertas, alarmas y advertencias
- Análisis de vibraciones
- Informes mensuales



# SERVICIOS EN LA NUBE

- Administración de Activos
- Viene con capacidades integradas de gestión de activos para permitir la gestión completa del ciclo de vida del equipo para mejorar la velocidad de respuesta y acelerar el retorno al servicio.
- Especificaciones de activos
- Archivos de configuración
- Capacidad de gestión de cambios
- Informes de servicios, puesta en marcha y puesta en servicio
- Funciones de control avanzadas activadas
- Manuales de instalación/operación, presentaciones, descargas de firmware
- Historial de notificaciones



# SERVICIOS EN LA NUBE

- Cadena de valor
- Identifica problemas, conecta plataformas con expertos con las habilidades adecuadas y las piezas correctas para garantizar el máximo tiempo de actividad.
- Encontrar y comprar piezas específicas para el activo
- Acceso a soporte digital en vivo
- Capacidad para encontrar y contratar los recursos adecuados para resolver un problema.



# NO OLVIDEMOS LO BASICO

- La tecnología y los dispositivos inteligentes han cambiado la forma en que operamos los sistemas, pero no olvidemos lo básico
- Balanceo del sistema: la bomba no decide a dónde va el agua, la configuración del sistema sí lo hace.
- Comprobar todas las líneas de derivación
- Asegurar un by pass de flujo mínimo
- Elegir la válvula de control correcta – Asegúrese de que el valor de  $C_v$  (kv) sea correcto para la unidad terminal. Los valores de control controlan el flujo, no la bomba.
- Usar componentes complementarios



# TAMAÑO DE LA VÁLVULA DE CONTROL

- Las válvulas se clasifican por el coeficiente de flujo  $C_v$  o  $K_v$
- $C_v$  se define como el caudal a través de la válvula a una caída de presión de 1 psi.
- $K_v$  se define como el caudal a través de la válvula a una caída de presión de 1 bar.
- Para un control óptimo, la caída de presión a través de una válvula de control proporcional debe ser igual a la caída de presión del serpentín a pleno caudal.
- Una válvula de control de tamaño inadecuado conduce a un rendimiento errático del sistema y al desperdicio de energía.



# TIPOS DE CONTROL

- Control de modulación
- La válvula responde proporcionalmente (0-100%) a una señal de control en respuesta a un cambio en la variable del proceso en comparación con el punto de ajuste del proceso. 0-10VDC o 4-20mA
- Control de Apertura/Cierre
- Se ordena que la válvula se abra o se cierre en respuesta a un cambio en la variable del proceso en comparación con el punto de ajuste del proceso. Muy parecido a encender y apagar un interruptor de luz.

# CARACTERÍSTICAS DE LAS VALVULAS DE CONTROL

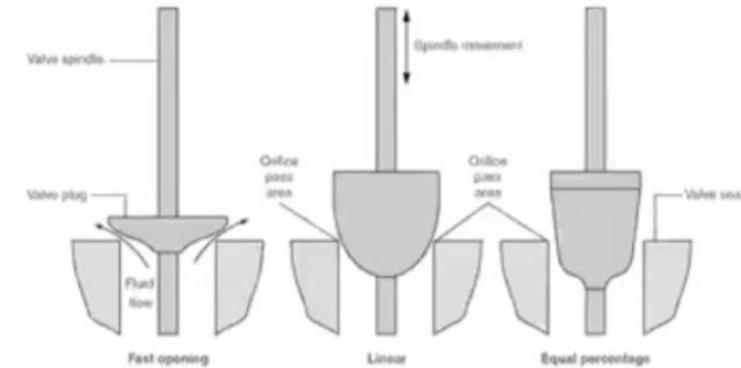
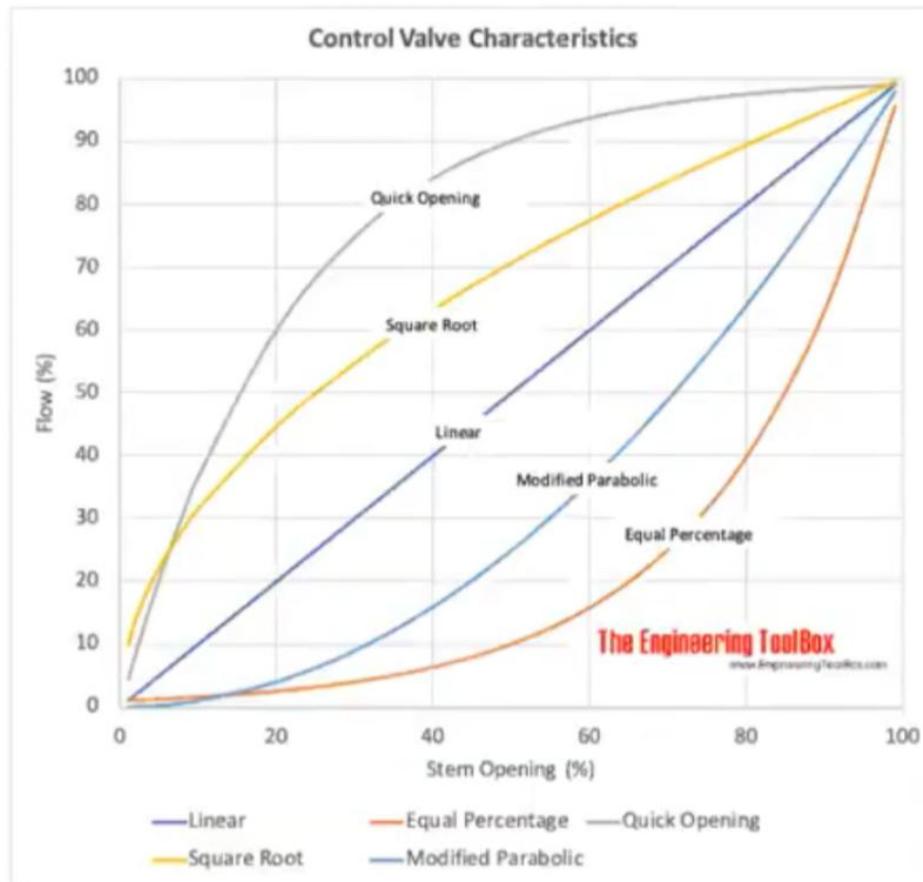


Fig. 6.5.1 The shape of the trim determines the valve characteristic



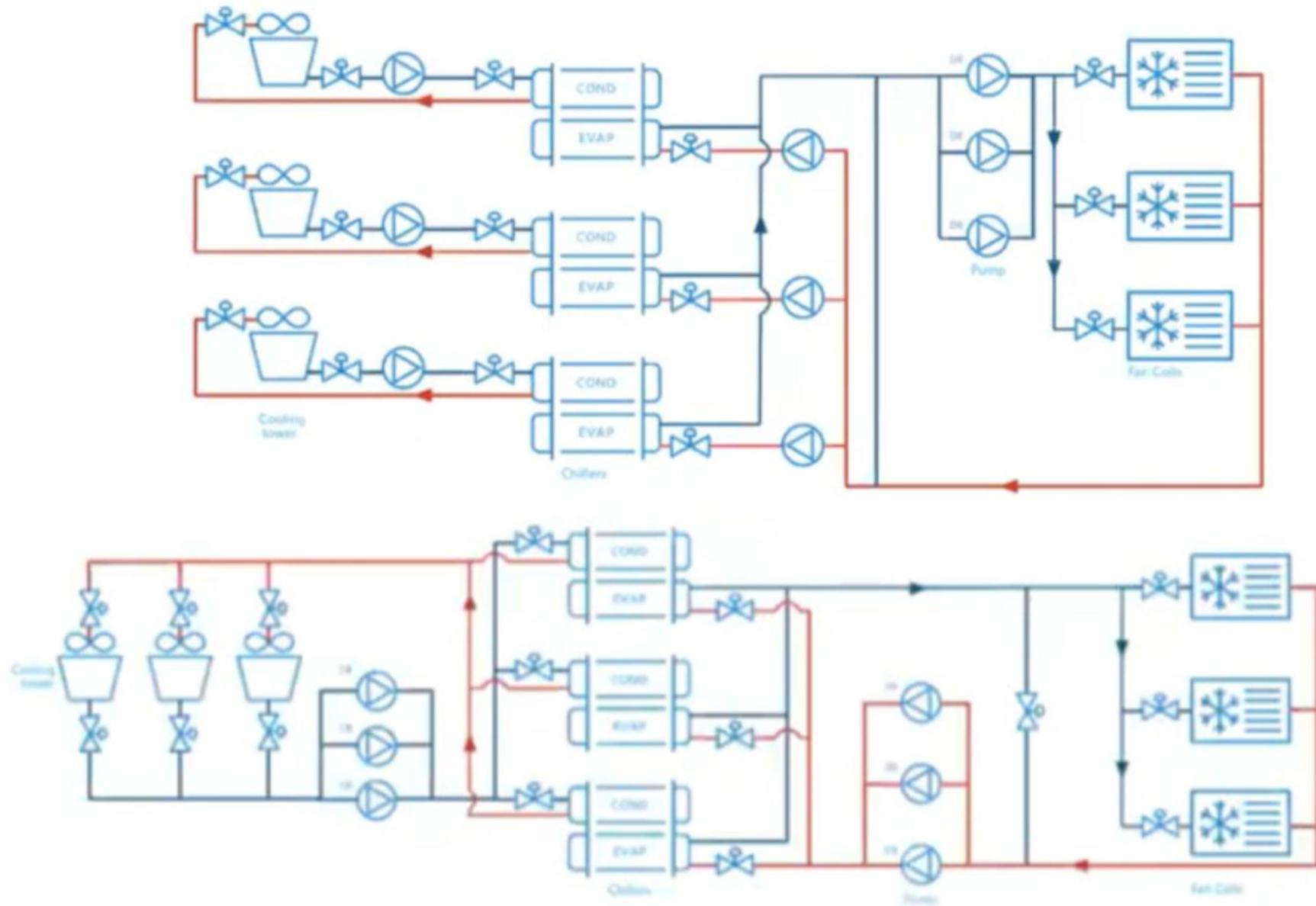
# VALVULAS DE CONTROL Y USO DE ENERGIA

- La presión diferencial en un sistema de 2 puertos nunca es constante, incluso con bombas inteligentes.
- Cada ramal del sistema tiene una carga variable, así como una pérdida hidráulica diferente en función de su proximidad a la bomba junto con la configuración de la tubería (retorno directo o inverso).
- El balanceo proporcional convencional sólo es correcto el día que se balancea.
- A medida que el flujo del sistema varía, las caídas de presión cambian, lo que puede causar aumentos en el flujo por encima de los valores de diseño, lo que a su vez reduce el dT.
- Las válvulas de control convencionales pierden autoridad en estas condiciones.

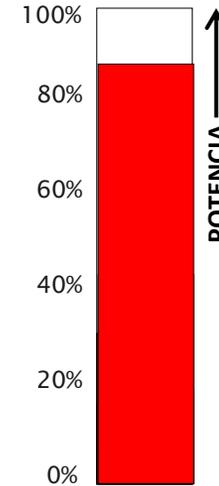
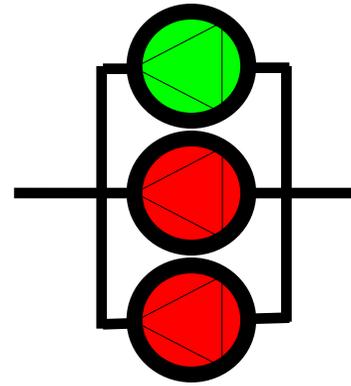
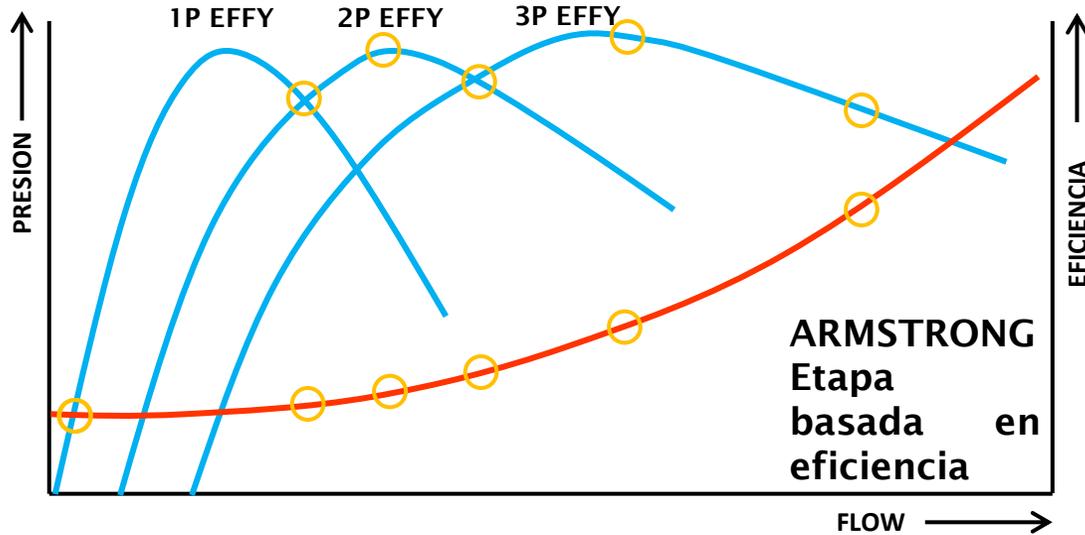
# VALVULA DE CONTROL CARACTERIZADA INDEPENDIENTE DE LA PRESION

- Dispositivo limitador de flujo independiente de la presión, una válvula de control y un actuador, todo en un solo componente.
- Mantiene una presión diferencial constante a través de la válvula de control, por lo tanto, independientemente de la presión diferencial del sistema, el serpentín nunca ve un flujo excesivo debido al cambio de presión del sistema.
- El regulador ajusta y compensa constantemente los cambios en el dP del sistema.
- Mantiene la autoridad y la característica de la válvula en todo el rango (el vástago accionado y el elemento PI funcionan en cooperación)

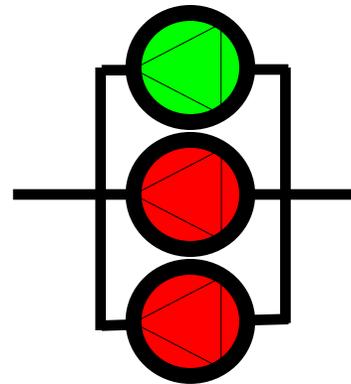
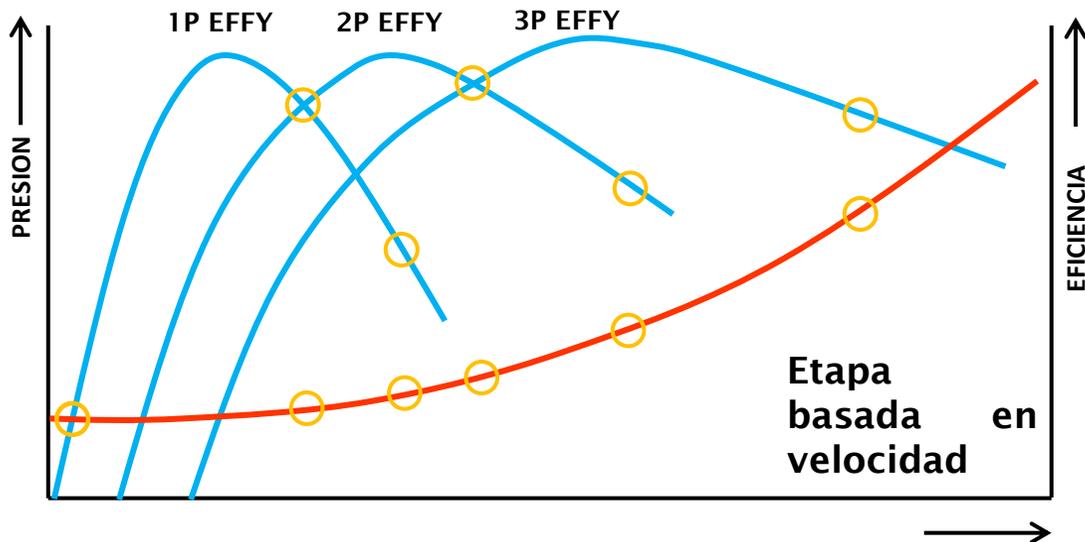




# BOMBEO INTELIGENTE EN PARALELO



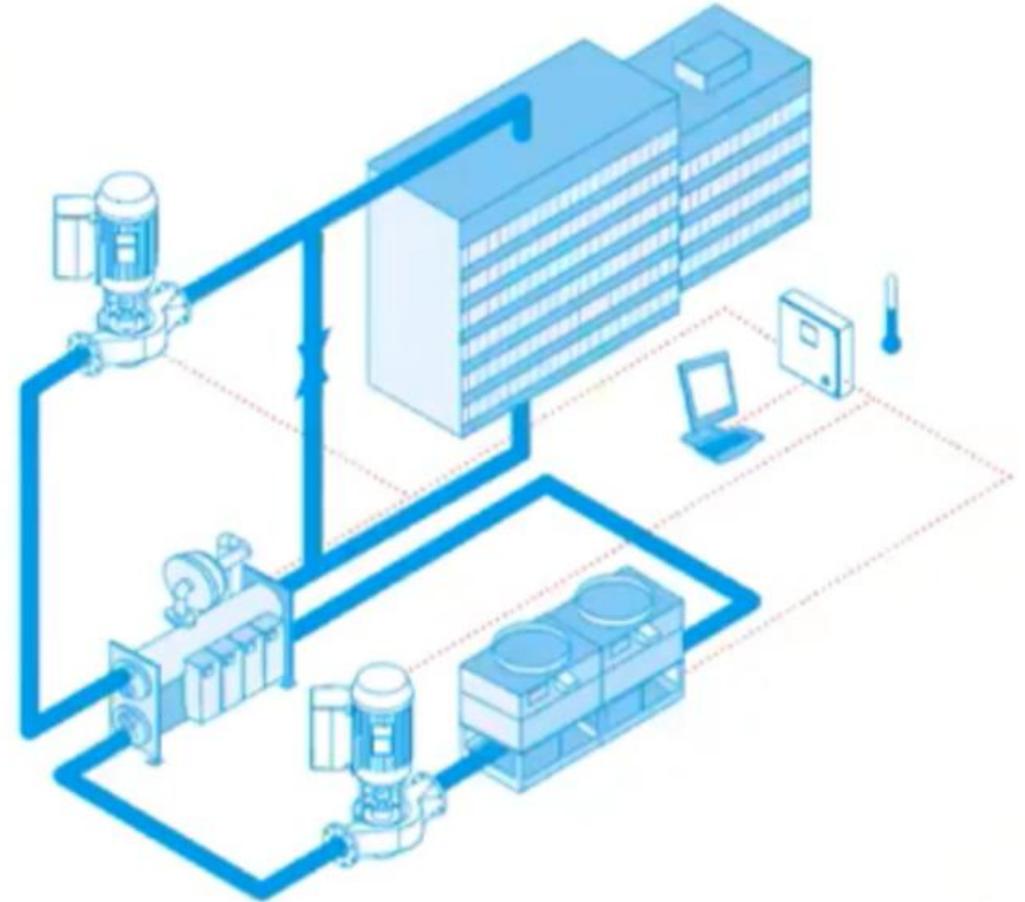
Armstrong BEP, etapas de bombeo basada en eficiencia.



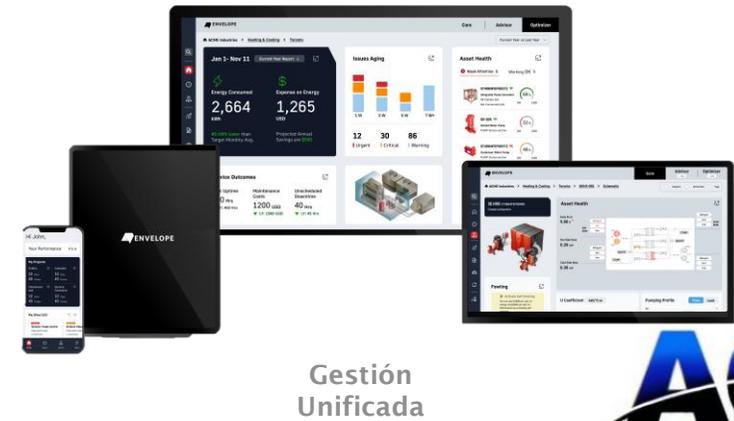
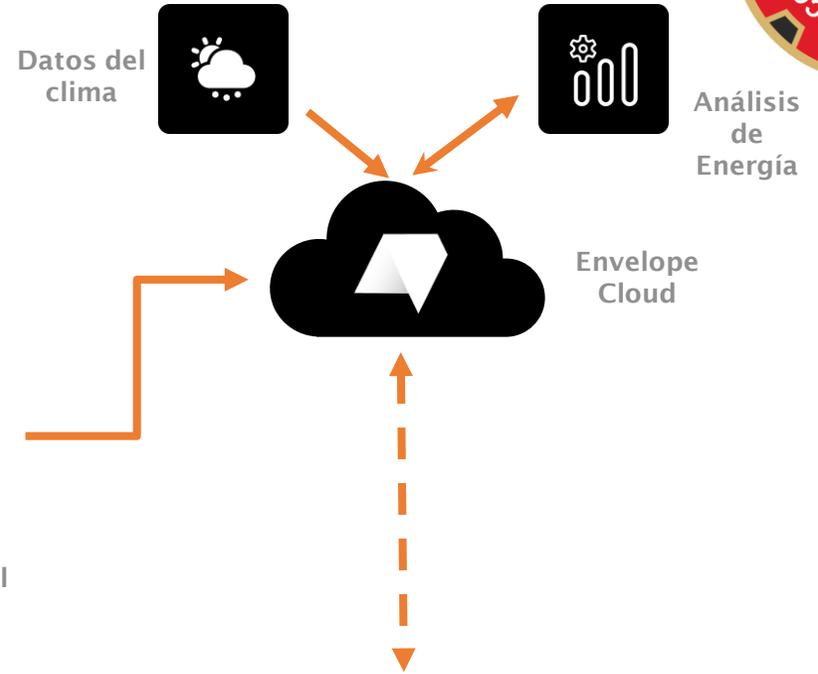
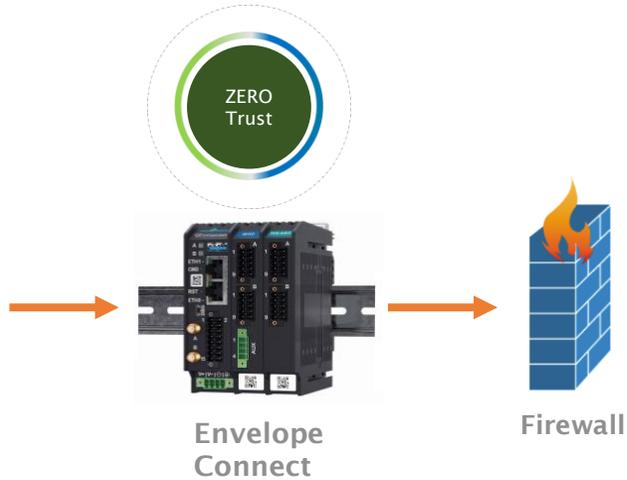
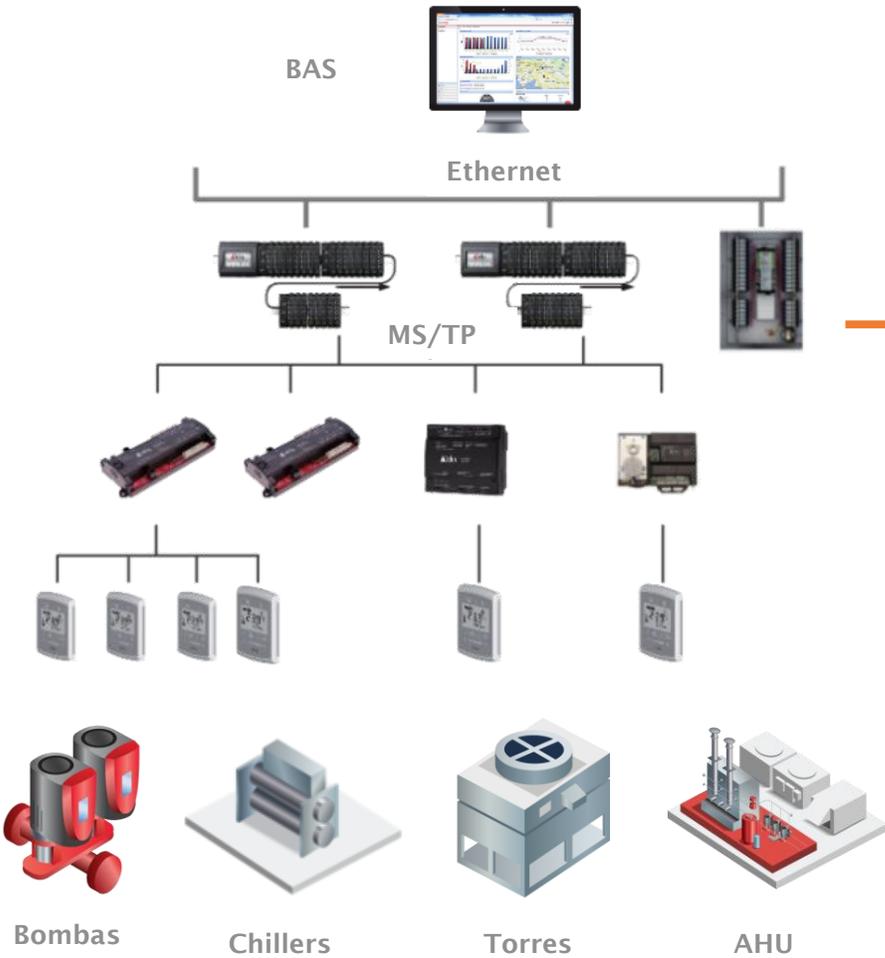
Control tradicional del BAS enciende la bomba al 95% de velocidad y la apaga al 55%.

# SISTEMA DE CONTROL DE PLANTA INTEGRADO PARA PLANTA DE AGUA HELADA

- Aprovecha las bombas inteligentes y los dispositivos de campo
- Secuencias integradas para múltiples configuraciones de sistema estándar
- Configurable: sin programación ni pruebas en el sitio.



# ANALITICA AVANZADA



# Una vez que todos los dispositivos están vinculados, se puede lograr el verdadero aprendizaje



# DIGITALIZACIÓN DE ACTIVOS, APRENDIZAJE AUTOMÁTICO DE IoT

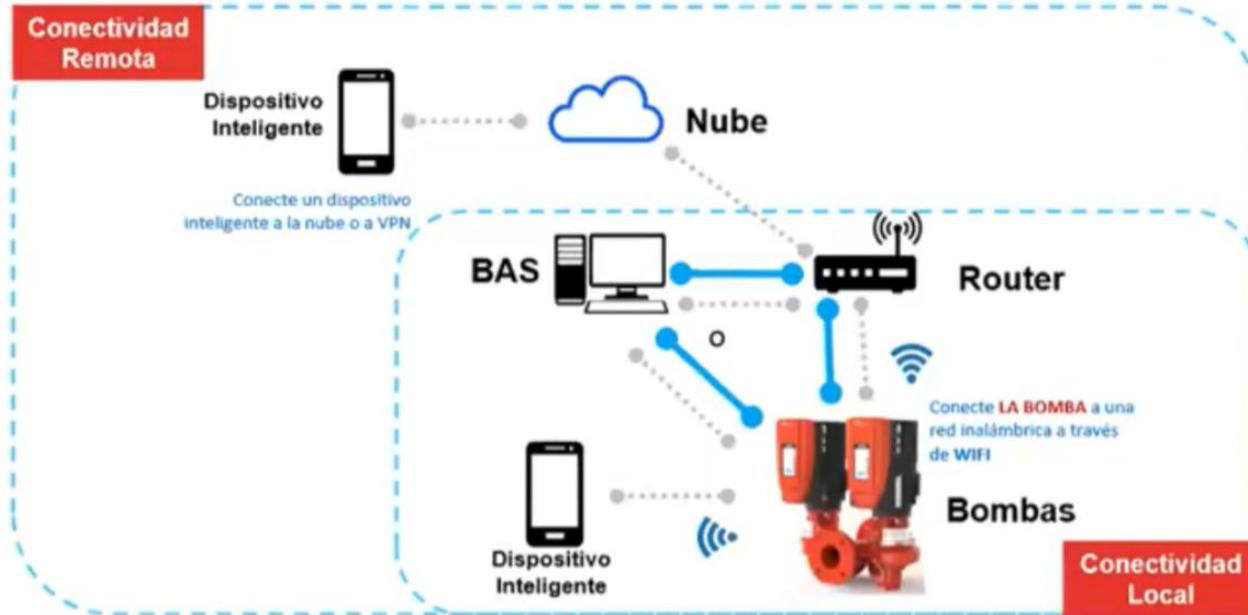
- Aprovechando el gemelo digital para un aprendizaje continuo
- Recopila datos operativos y de rendimiento y actualiza un modelo de gemelo digital de los subsistemas de la planta
- Determina la configuración operativa para el menor consumo de energía
- Compara el rendimiento observado con el rendimiento modelado
- Avisos de capacidad disponible (estado real)
- Ajusta la configuración operativa si lo observado no coincide con el rendimiento modelado.



El gemelo digital de  
la NUEVA REALIDAD

# IoT EN EQUIPOS DE BOMBEO

- Servicios digitales para monitoreo y gestión de rendimiento basado en la nube
- Bombas inteligentes conectadas a Internet. Compartiendo datos, mejorando fiabilidad y rendimiento. Informando al usuario para tomar decisiones informadas.



# MANTENIMIENTO BAJO CONDICIONES

- Paralelamente OPTI-POINT permite Active Performance Administración para marcar cualquier dispositivo de bajo rendimiento para servicio, mantenimiento o reparación.
- El diagnóstico temprano permite que el sistema se recupere más rápido y vuelva a un rendimiento óptimo.
- Este enfoque de mantenimiento basado en la condición reduce los costos de mano de obra y el tiempo de inactividad y mejora la comodidad de los ocupantes



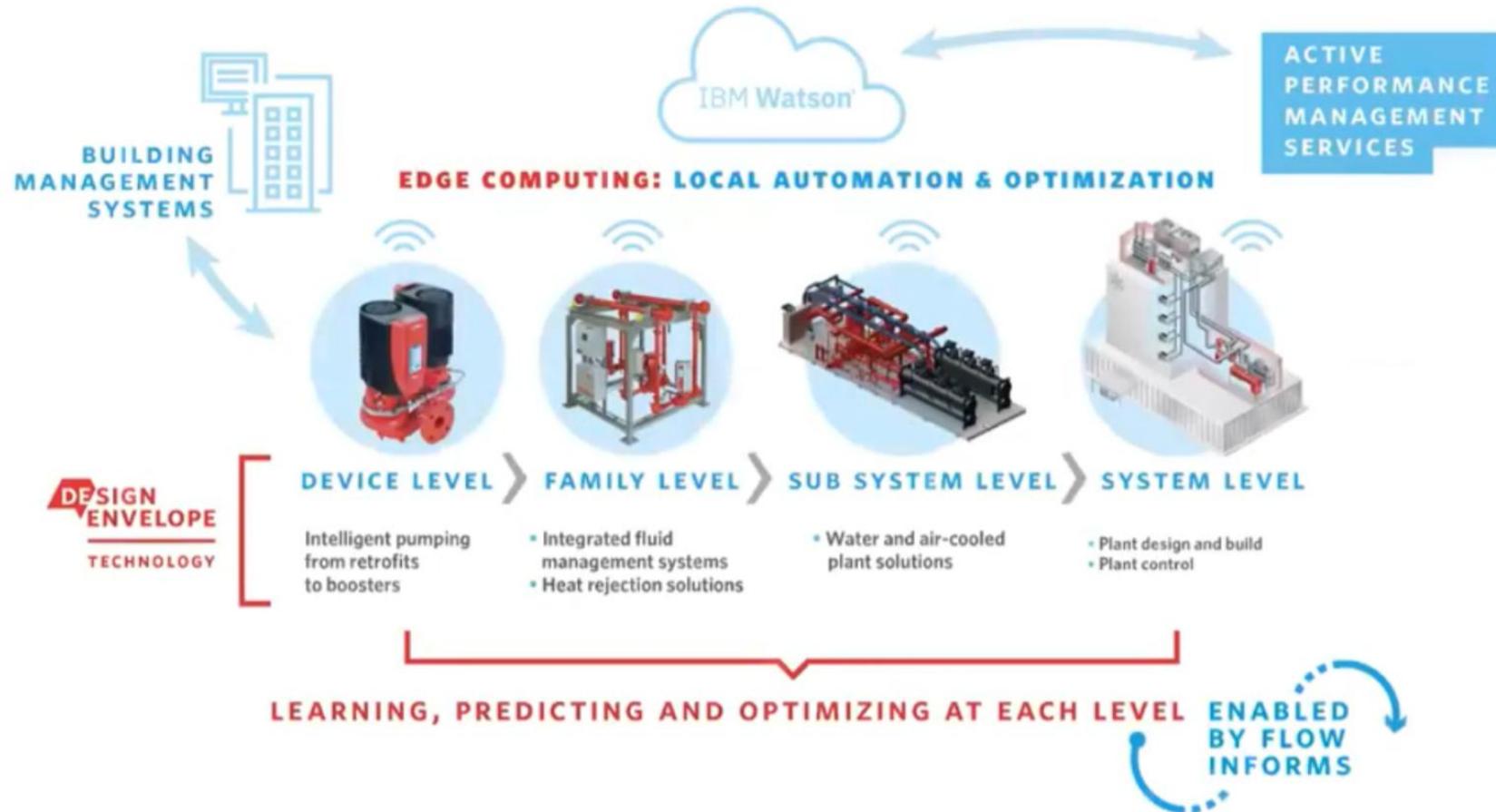
# MONITOREO ACTIVO DEL DESEMPEÑO



## Real Time Flow Tracking

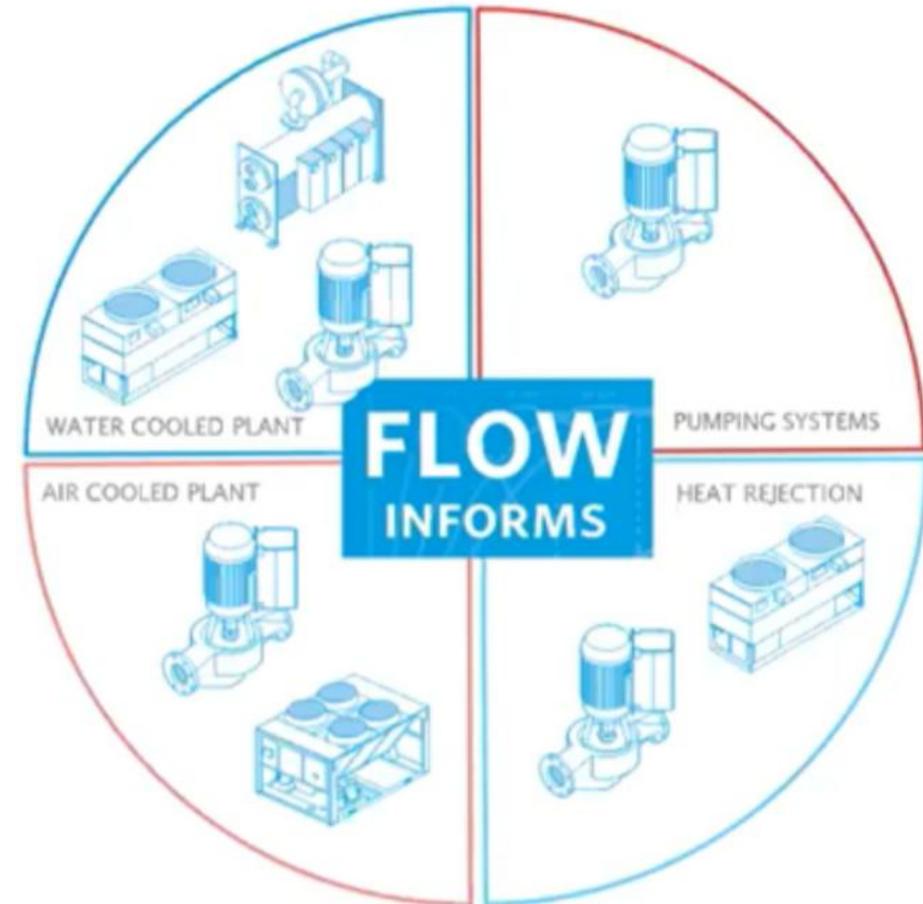


# MONITOREO ACTIVO DEL DESEMPEÑO



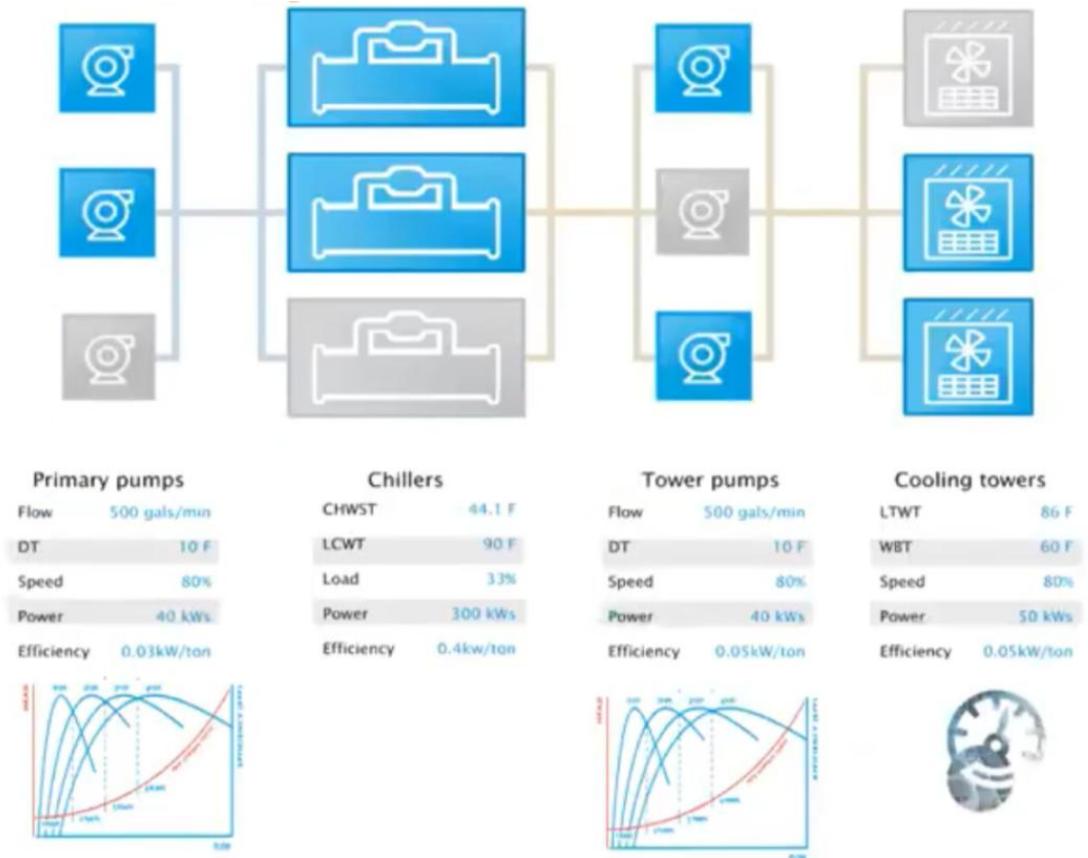
# MONITOREO ACTIVO DEL DESEMPEÑO

- Solución de Control Inteligente basada en la demanda
- Modela el comportamiento del equipo y del sistema
- Monitorea las condiciones reales del sistema
- Ajusta dinámicamente la operación del equipo para satisfacer la demanda del sistema

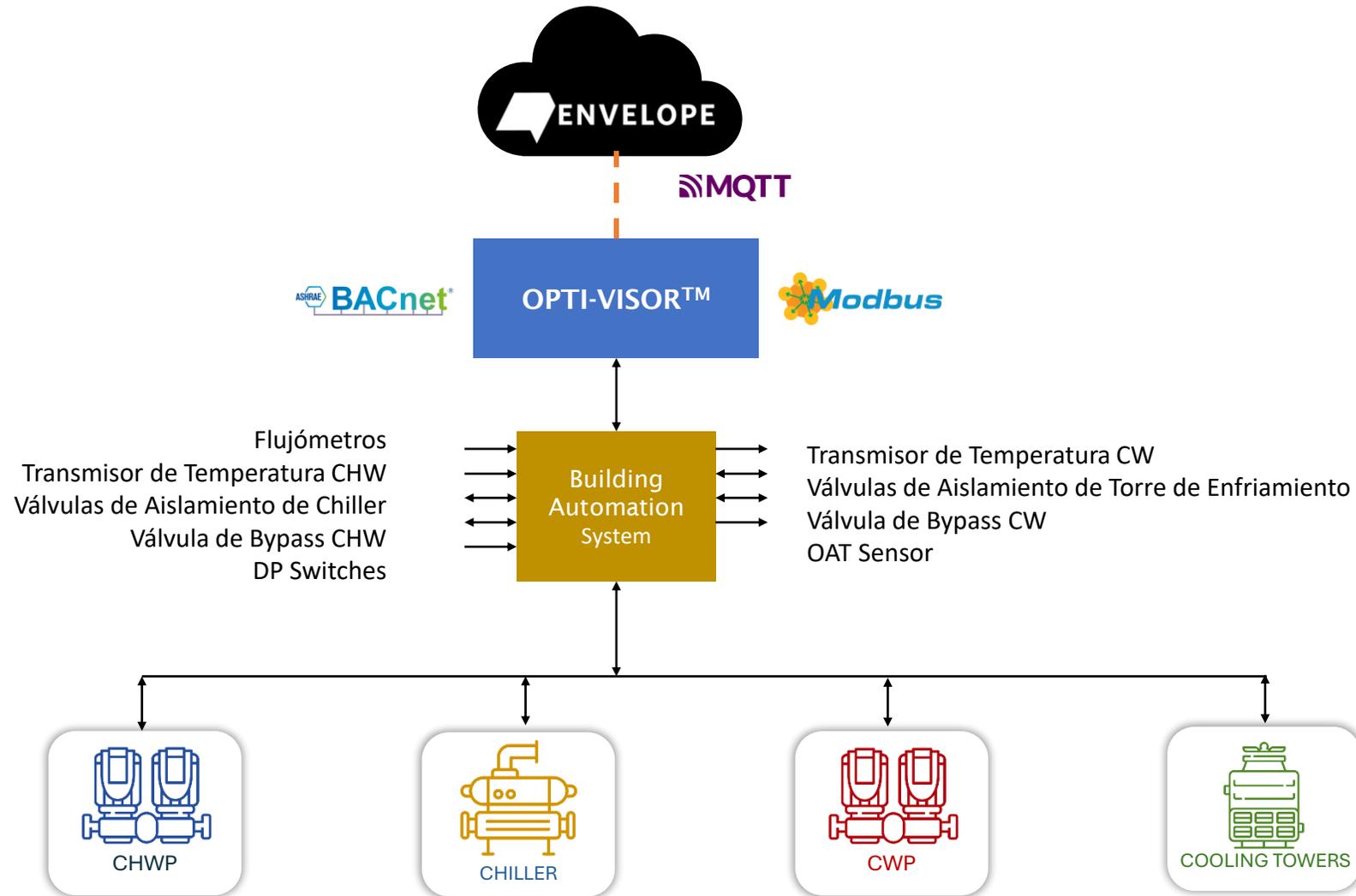


# MONITOREO ACTIVO DEL DESEMPEÑO

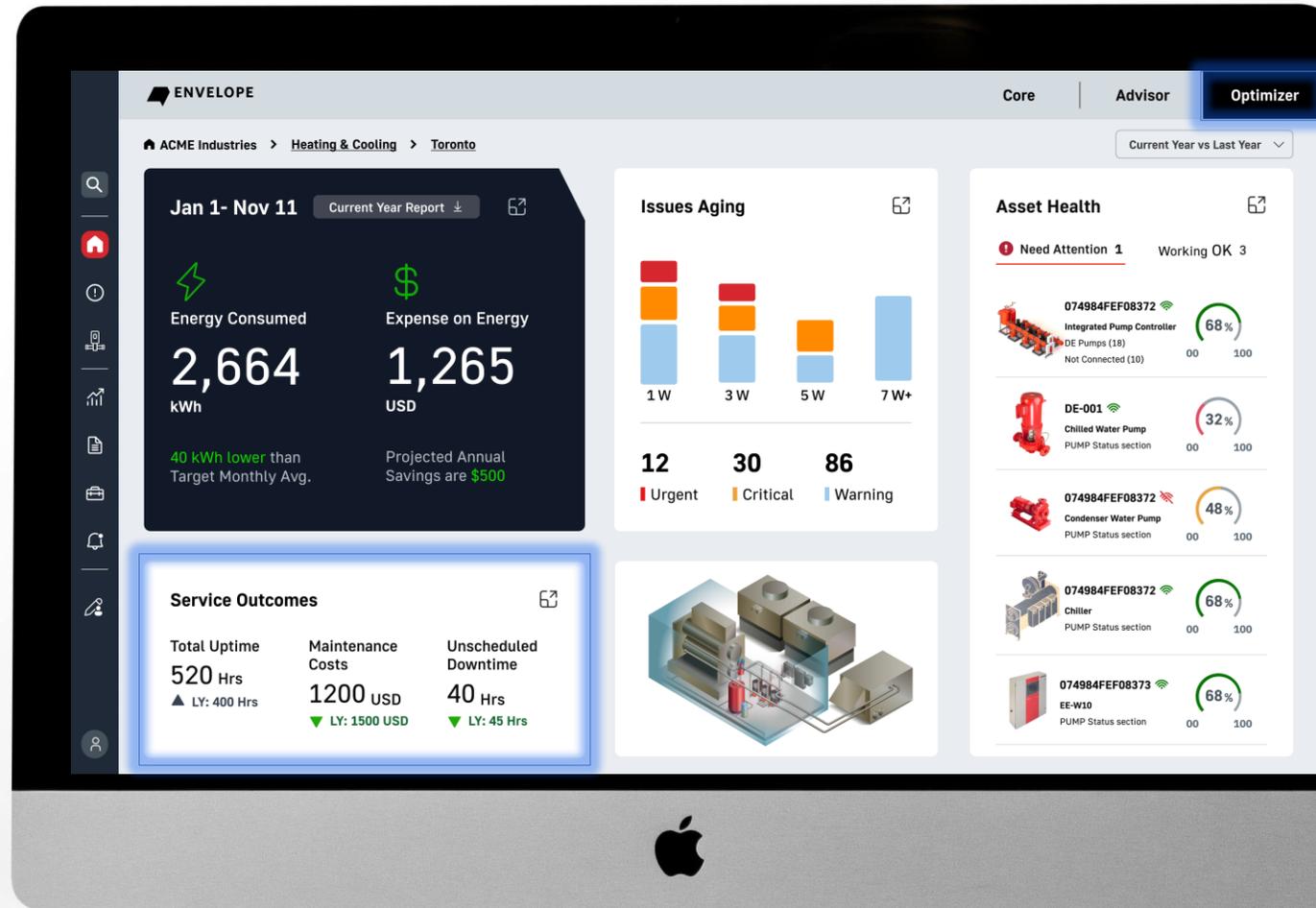
- Operación basado en demanda
- Operación y control por Parallel Sensorless
- Secuenciamiento de equipos basado en eficiencia
- Conectividad remota. Monitoreo activo
- Aprendizaje automático



# INTEGRACIÓN CON BMS Y ARQUITECTURA DE SISTEMAS EN LA NUBE



# PLATAFORMA ENVELOPE | OPTIMIZAR, ANTICIPAR Y DIAGNOSTICAR CONTINUAMENTE EL FUTURO





MUCHAS GRACIAS

Fernando Katayama

[fernando.katayama@acm.pe](mailto:fernando.katayama@acm.pe)



Scan me!

