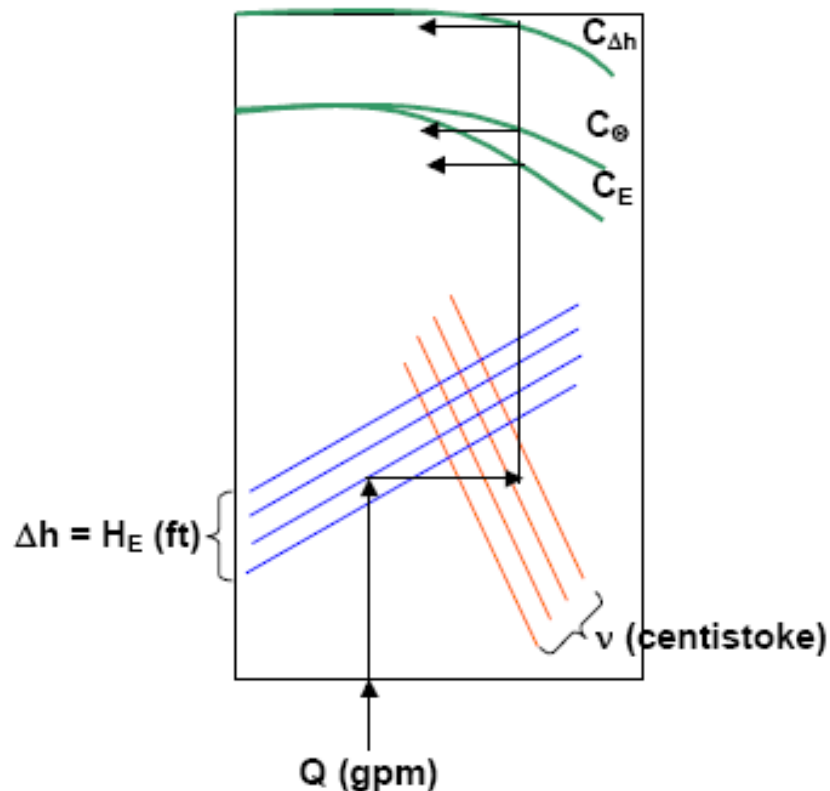


# Corrección por Efecto de Viscosidad

Las curvas  $H_E(Q)$  proporcionadas por los fabricantes son válidas para el agua y otros líquidos de viscosidad no muy diferente. Para líquidos de alta viscosidad ( $\nu \geq 4$  centistoke), se recomienda corregir la curva usando un gráfico de corrección



Sea  $(H_E, Q, \eta, P_C)$  un punto en las curvas de funcionamiento para agua de una bomba.

La misma bomba, operando con un líquido de viscosidad cinemática  $\nu$ , tendrá un punto de funcionamiento homólogo dado por:

$$H_E' = C_{\Delta h} \cdot H_E$$

$$Q' = C_Q \cdot Q$$

$$\eta' = C_E \cdot \eta$$

$$P_C' = \frac{\rho' \cdot g \cdot Q' \cdot H_E'}{\eta'}$$

---

En que los factores de corrección  $C_{\Delta h}$ ,  $C_Q$  y  $C_E$  se leen del gráfico, como lo indican las flechas: se entra con  $Q$  (gpm) hasta cruzar la recta correspondiente a  $H_E$  (designado  $\Delta h$  en el gráfico, en ft). Ahí se continúa horizontalmente hasta la recta correspondiente a la viscosidad cinemática  $\nu$  (en centistoke o ssu) y se continúa verticalmente hacia arriba.

Repitiendo para varios puntos, se obtienen las 3 curvas homólogas para  $H_E'$ ,  $\eta'$  y  $P_C'$ .

---

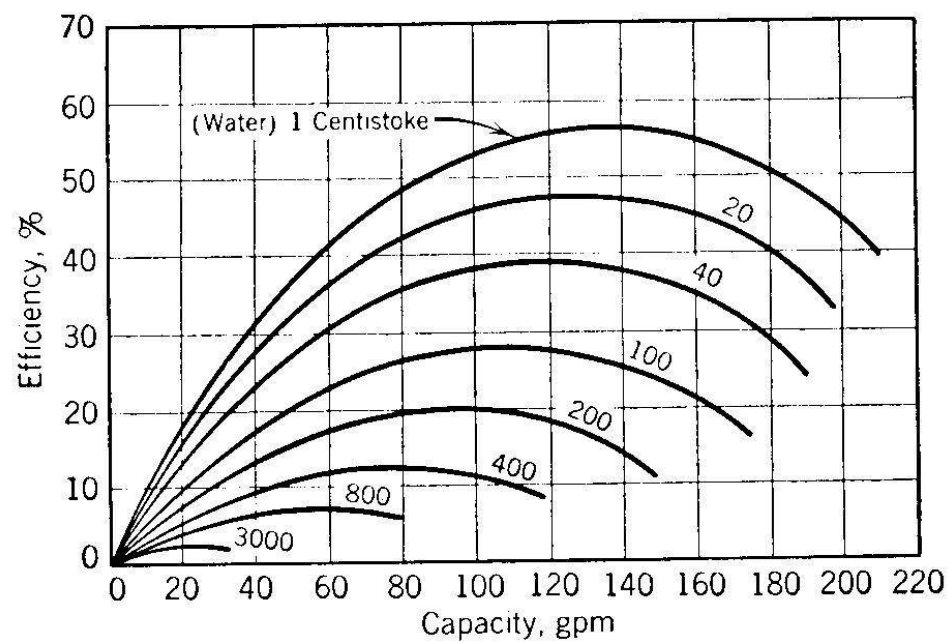
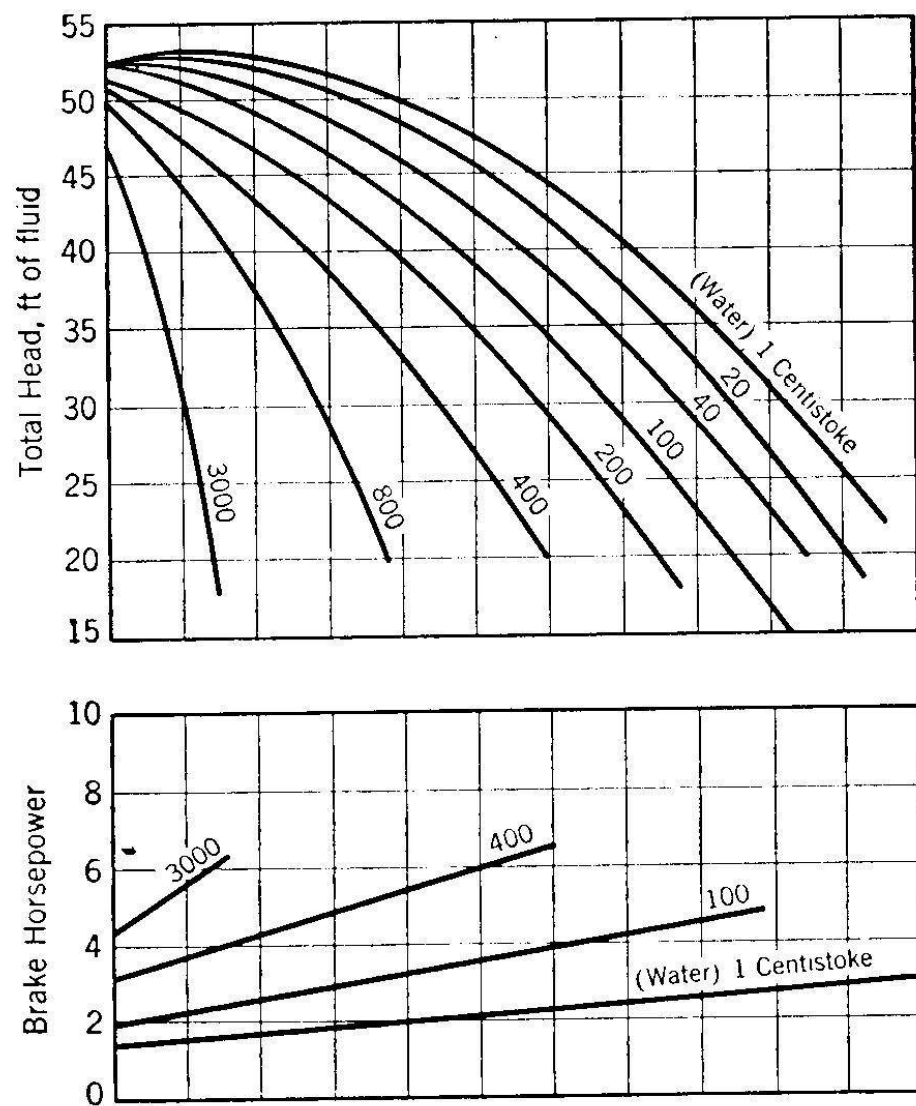
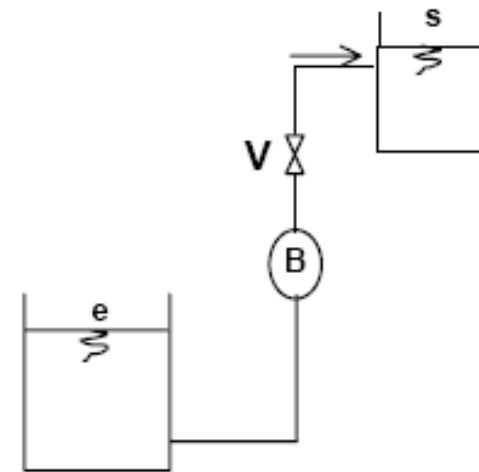
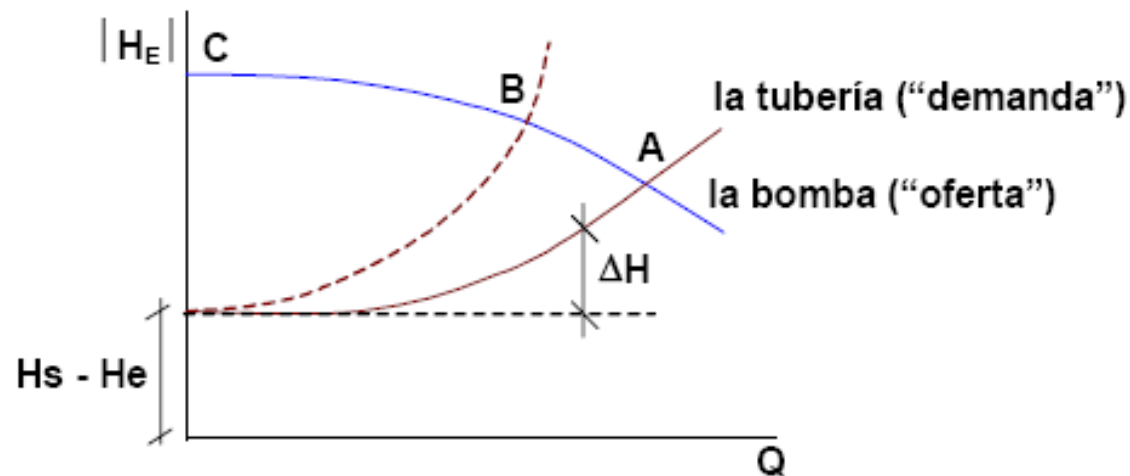


FIG. 203. Characteristic curves of a typical centrifugal pump for fluids of different viscosities. (Worthington Pump and Machinery Corp.)

# Sistemas Bomba-Tubería

Un punto ( $H_E$ ,  $Q$ ) debe satisfacer simultáneamente dos condiciones:

1. Encontrarse sobre la curva  $H_E(Q)$  de la bomba, y
2. Cumplir el balance de energía:  $H_e = H_s + \Delta H + H_E$



El punto A de intersección representa el punto de equilibrio, o sea, el punto de funcionamiento, que se alcanza en forma automática. Es también el punto de máximo flujo que puede impulsar la bomba dada en la tubería dada (si  $\Delta H$  se ha calculado, como es lo habitual, suponiendo que la válvula V está completamente abierta).

# Regulación del flujo

---

Para reducir el flujo (bajo el flujo máximo  $Q_A$ ), se cierra parcialmente la válvula V. Esto hace crecer la pérdida de carga en V y por tanto, crece  $\Delta H$ . La curva de la tubería se desplaza hacia arriba (línea de segmento en la figura) y se alcanza ahora un nuevo punto de equilibrio B en que  $Q_B < Q_A$ .

Nótese que la potencia consumida en B se calcula usando  $H_{EB}$  y no el menor valor que se calcularía con la curva de la tubería y válvula completamente abierta.

Si se llega al cierre total de la válvula, la bomba opera en C con flujo nulo.

---

# Instalación

---

- Cavitación
- Columna de Aspiración Neta Positiva (NPSH)

En una instalación como en la Figura 4.3.1., la presión a la entrada de la bomba es sub-atmosférica, dado que se parte de presión atmosférica en el nivel inferior (e), aparte de la pérdida de carga. Esto muestra que, en ocasiones, la presión  $p_{B-}$  (a la entrada de la bomba) puede bajar considerablemente.

Si  $p_{B-}$  se iguala a la presión de vapor del líquido, a su temperatura de trabajo, el líquido entra en ebullición. Se llama a este fenómeno cavitación, debido a la formación de cavidades de vapor en el interior del líquido.

---

---

Sin embargo, al penetrar la mezcla líquido-vapor al interior de la bomba, aumenta la presión y las burbujas de vapor colapsan al condensarse. Este fenómeno de formación de burbujas y colapso inmediato es muy perjudicial, causando: destrucción de paredes por erosión, vibraciones y ruido (contaminación acústica).

La cavitación debe evitarse. Para esto, hay que verificar  $p_{B-} > p_v$ , donde  $p_v$  es la presión de vapor. Se define la columna de aspiración neta positiva NPSH:

$$NPSH = \frac{p_{B-} - p_v}{\gamma}$$

El fabricante recomienda un valor mínimo, de modo que la condición de la instalación debe ser:

$$NPSH \geq (NPSH)_{\min} \text{ (función del flujo)}$$

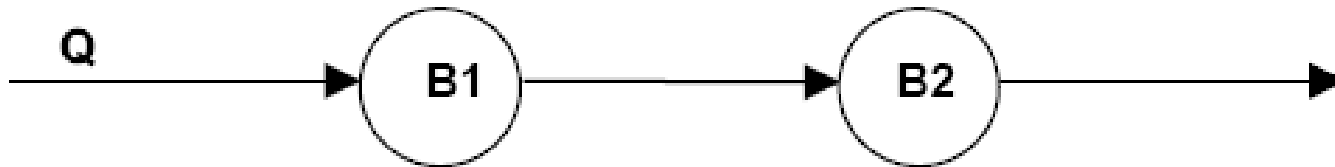
$p_{B-}$  se calcula mediante un balance de energía apropiado.

---

# Sistemas de Bombas

---

## □ Sistemas de Bombas en Serie



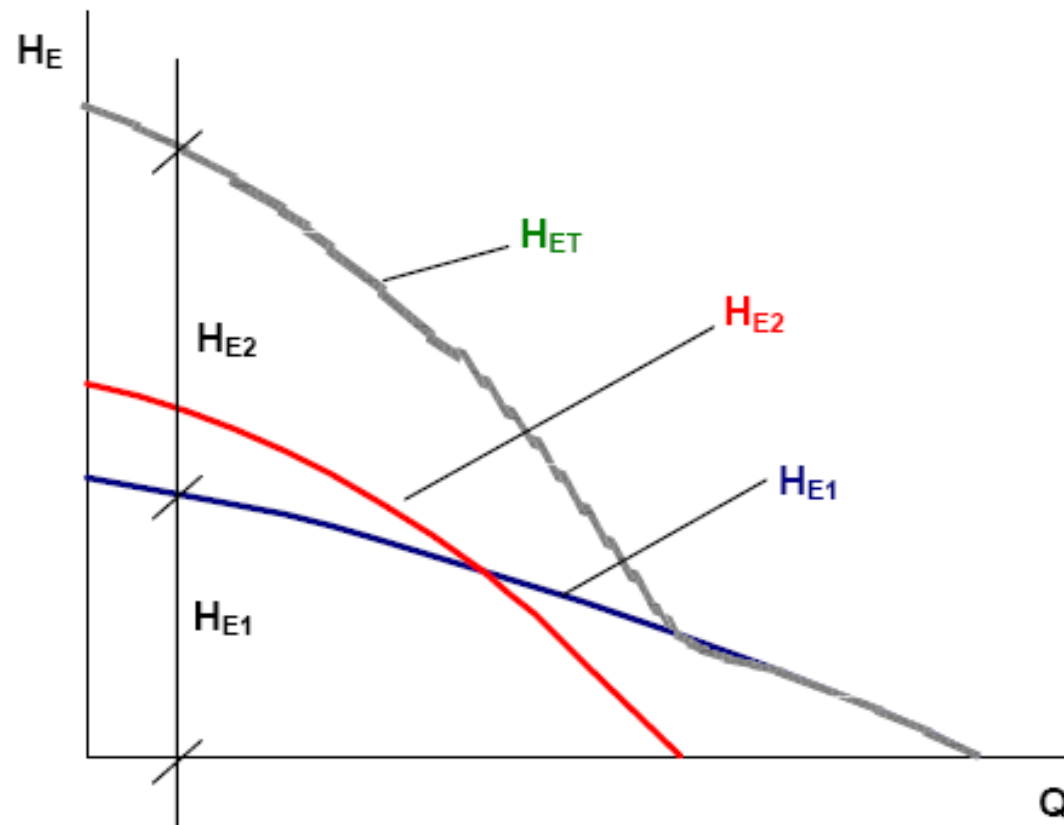
El mismo flujo  $Q$  atraviesa sucesivamente 2 o más bombas en serie. Un simple balance de energía muestra que el sistema equivale a una bomba virtual cuyo  $H_{ET}$  es:

$$H_{ET} = \sum_i H_{E,i}$$



Gráficamente, se puede construir la curva del sistema sumando las ordenadas parciales

---

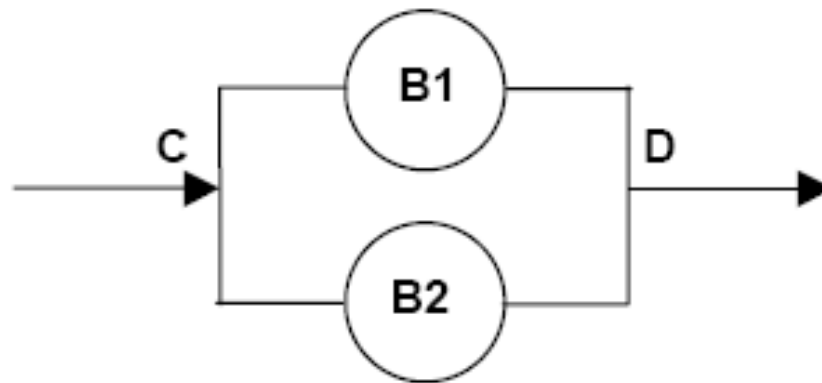


**Curva equivalente de un sistema en serie**

---

## □ Sistema de Bombas en Paralelo

---

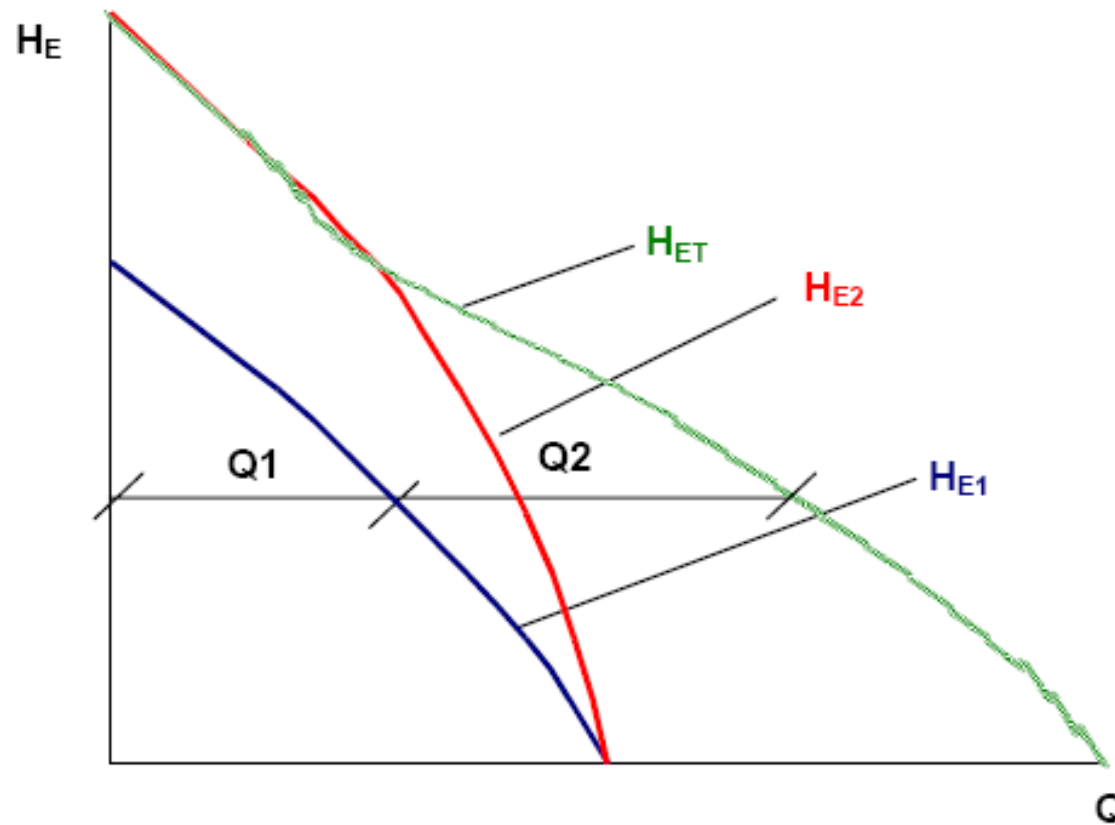


Los flujos impulsados por cada bomba se suman en la tubería. El balance de energía entre C y D muestra que las alturas de elevación son iguales:  $H_{E1} = H_{E2}$  (despreciando las diferencias en las pérdidas de carga locales).

Ejemplos de uso: facilitar reparación y mantenimiento sin detener totalmente el proceso; absorber variaciones de las demanda sin incurrir en la ineficiencia de operar una bomba grande a flujo muy pequeño.

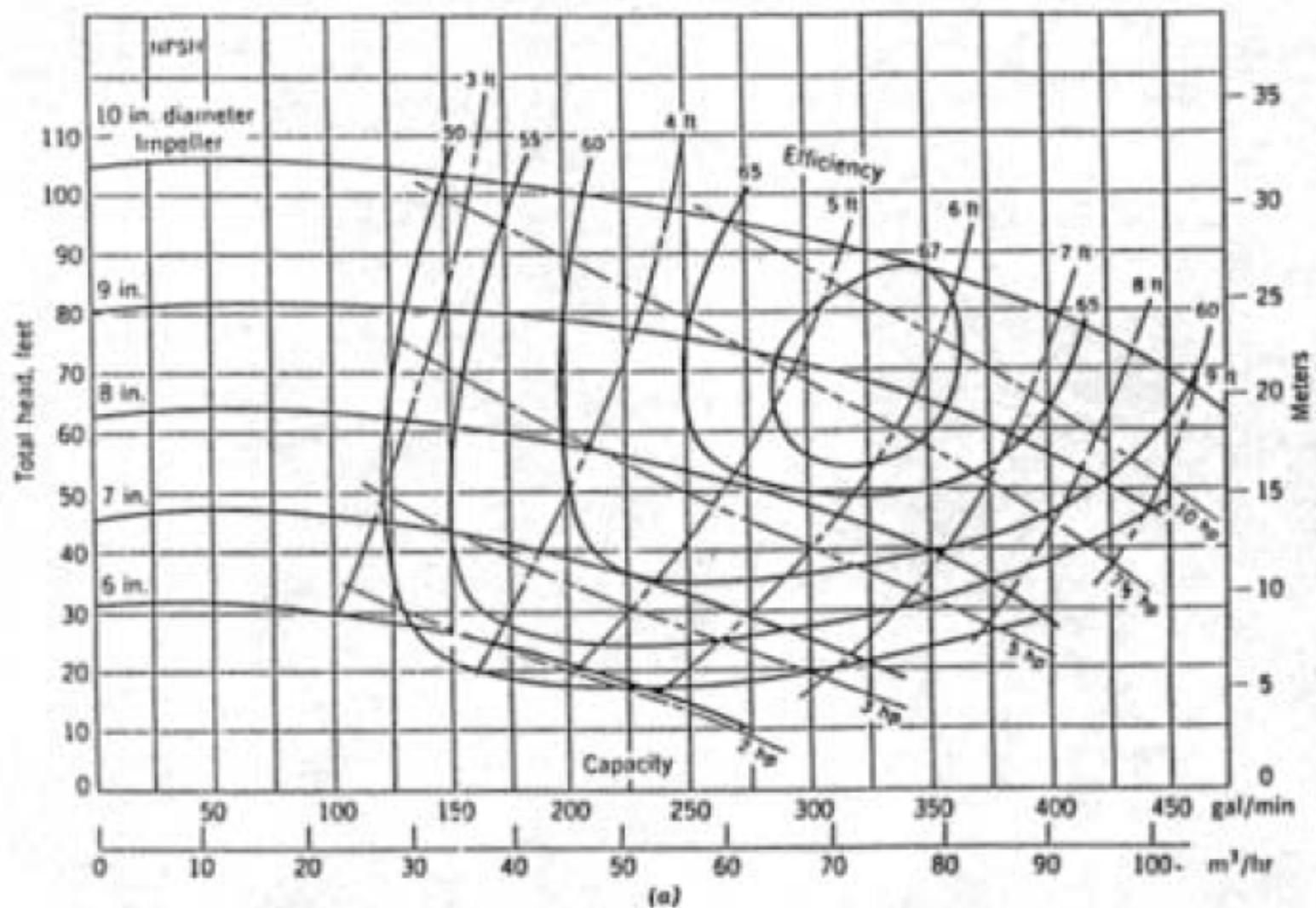
---

La construcción gráfica se realiza tal que para un  $H_E$  dado, se suman las abscisas (es decir, los flujos)

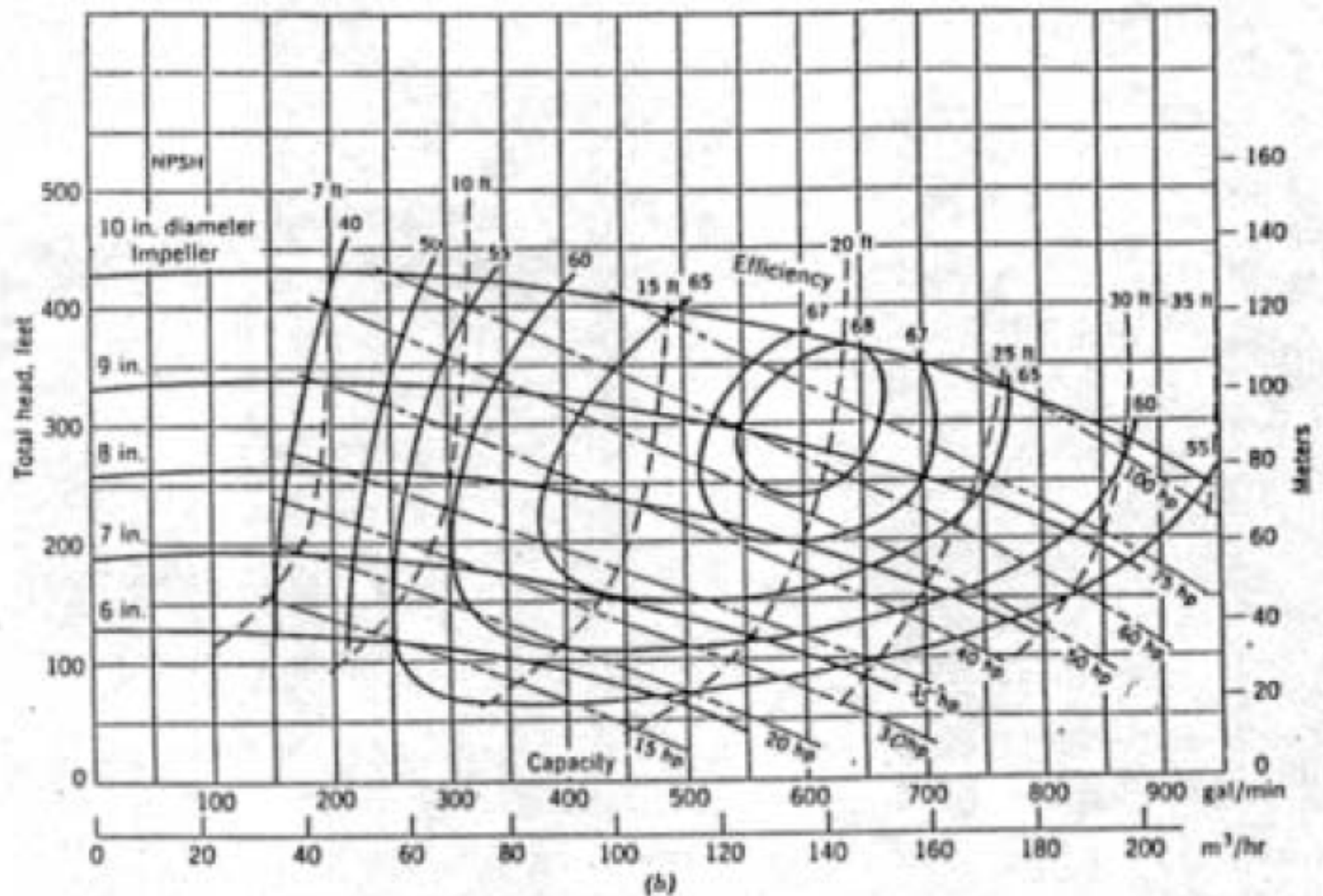


**Curva equivalente de un sistema en paralelo**

# Información de fábrica



Curvas de funcionamiento de bomba 3X4-10 a 1750 RPM



Curvas de funcionamiento de bomba 3X4-10 a 3500 RPM

# Efecto del diámetro del rodete en las curvas características de una bomba centrífuga operando a 1750 RPM

