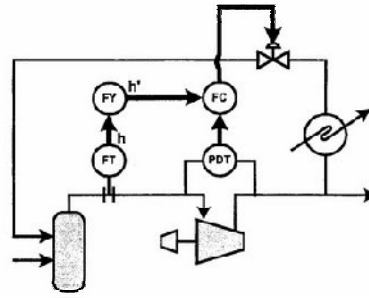


Control de Oscilaciones en Compresores Centrífugos



Dr. Miguel ASUAJE

Mayo 2009

LÍNEA LÍMITE DE SURGE

Criterios Aerodinámicos:
Incidencia Positiva
Difusión y Deceleración de Flujo

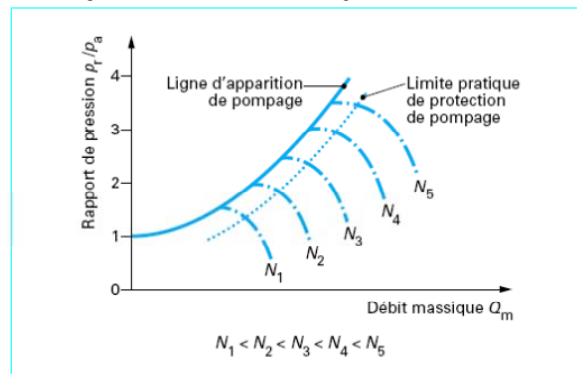


Figure 28 - Ligne de pompage et limite de protection de pompage

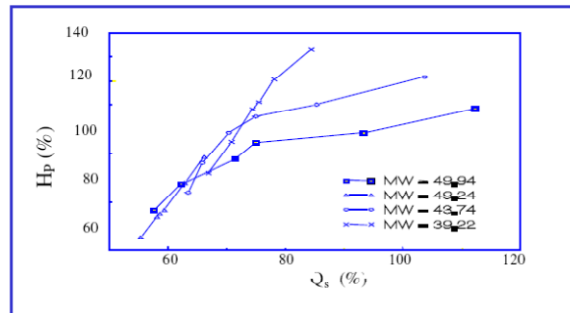
LÍNEA LÍMITE DE SURGE

Para el Cálculo de la distancia entre la Línea Límite de Surge y el Punto Operativo del compresor, la Regla Fundamental es:

“Mientras mejor se pueda medir la distancia al surge, más cerca de él se podrá operar sin correr riesgo”

El Problema:

· En las curvas de los compresores, la Línea Límite de Surge (LLS) no es una línea fija. Cambia con: T_s , P_s , MW, k_s .



LÍNEA LÍMITE DE SURGE

La Solución:

El control antisurge debe proporcionar un cálculo de la distancia al surge, independiente de cualquier cambio en las condiciones de entrada.

Los Beneficios:

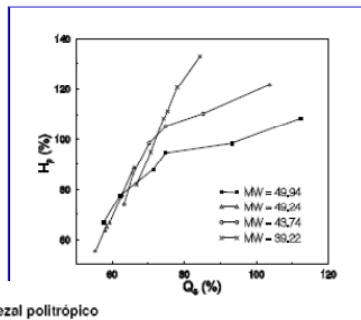
Control más seguro, lo que significa:

- Mayor zona efectiva de operación del compresor
- Menor consumo de energía durante condiciones de baja carga en el compresor

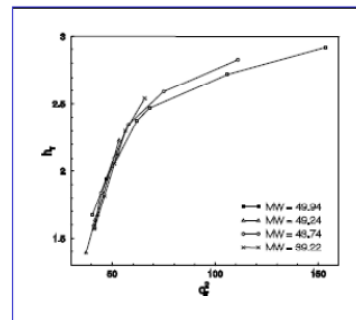
Coordenadas en números adimensionales

Coordenadas (H_p, Q_s) y (h_r, q_r^2)

(H_s, Q_s)
Coordenadas variantes



(h_r, q_r^2)
Coordenadas invariantes



Donde:

- H_p = Cabezal politrópico
- Q_s = Flujo volumétrico de succión
- h_r = Cabezal reducido
- q_r^2 = Flujo reducido al cuadrado

Coordenadas

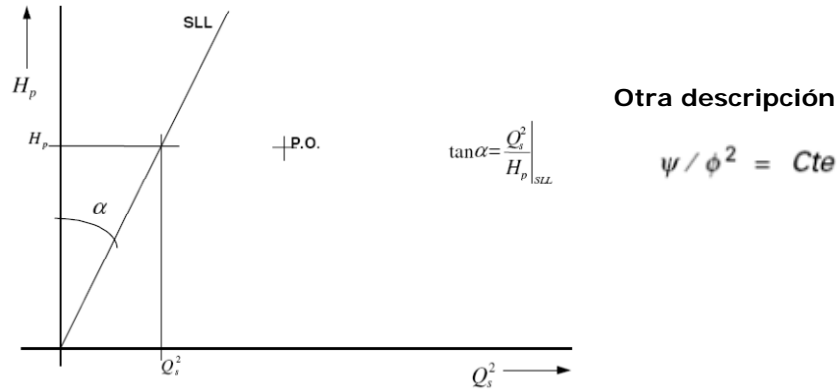
Según CCC (Compressor Controls Corporation Operadores Cabezal Politrópico (H_p) vs Flujo de succión al cuadrado (Q_s^2)).

H_p se mide en [kJ/kg], [m], [ft-lbf/lbm], etc y Q_s se mide en [ft³/hr], [m³/hr], [toneladas/día], etc.

$$\phi = \frac{Q_v}{S U_2} \quad \psi = \frac{\Delta H_p}{U_2^2} \quad \Delta H_p = \Delta H_R \eta_p$$

$$\psi = \frac{\Delta P}{\frac{1}{2} \rho U_m^2} \quad \phi = \frac{V_z}{U_m}$$

Descripción de la Línea Límite de Surge



Cálculos

Cabezal politrópico: $H_p = Z_{avg} \times \frac{R_0}{MW} \times T_s \times \left(\frac{R_c^\sigma - 1}{\sigma} \right)$ (1) $\sigma = \frac{\log(T_d/T_s)}{\log(P_d/P_s)}$ (3)

Flujo volumétrico: $Q_s = \sqrt{Z_s \times \frac{R_0}{MW} \times T_s \times \frac{\Delta P_v}{P_s}}$ (2) $R_c = P_d / P_s$ (4)

El valor "Ss"

El cociente de H_p y Q_s^2
(llamado "valor K")
determina la Línea Límite de Surge

Este valor S es proporcional a la distancia angular entre el Punto Operativo y la Línea Límite de Surge. Este valor-S siempre será igual a **1 (uno)** cuando el Punto Operativo se ubique sobre la Línea Límite de Surge

$$S|_{SLL} = S_s = K \times \left. \frac{H_p}{Q_s^2} \right|_{O.P.}$$

$$K = \left. \frac{Q_s^2}{H_p} \right|_{SLL}$$

$K \neq cte$

Cuidado

$K = f(N)$

El valor "Ss"

Sustituyendo

$$S_s = K \times \frac{\left(\frac{R_c^\sigma - 1}{\sigma} \right)}{\Delta P_o} \times P_s$$

$$S_s = K \times \frac{H_{p,red}}{Q_{s,red}^2} \quad (8)$$

$$H_{p,red} = \frac{R_c^\sigma - 1}{\sigma} \quad (9)$$

$$Q_{s,red}^2 = \frac{\Delta P_o}{P_s} \quad (10)$$

Para calcular la fórmula del "valor-S" (7), solo se necesita conocer los valores de **cinco** transmisores, estos son:

- 1: Presión diferencial a través de un dispositivo de medición de flujo ΔP_o
- 2: Presión de descarga Pd
- 3: Presión de succión Ps
- 4: Temperatura de descarga Td
- 5: Temperatura de succión Ts

Efecto de la velocidad de Giro

Se dijo: Cuidado $K \neq cte$
 $K = f(N)$ → Caracterizador de Velocidad

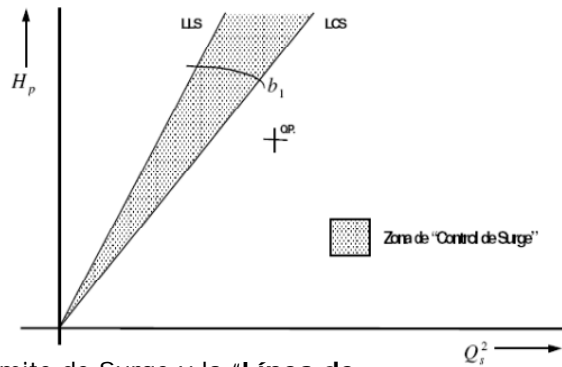
$$S_s = K \times f(N) \times \frac{H_{p,red}}{Q_{s,red}^2}$$

Prueba de surge	Velocidad N	K_N Calculado	Constante K	Caracterizador $f(N)$
1	70%	0.50	0.5	$f(0.7) = 1.0$
2	80%	0.75	0.5	$f(0.8) = 1.5$
3	90%	1.00	0.5	$f(0.9) = 2.0$

Al controlador Antisurge se ingresa el valor-K, y **diez** puntos para el caracterizador $f(N)$

LA LÍNEA DE CONTROL DE SURGE

La Línea de Control de Surge (LCS) define la mínima distancia deseada entre el Punto Operativo y la Línea Límite de Surge (LLS). La Línea de Control de Surge (LCS) está siempre a la derecha de la Línea Límite de Surge (LLS).



La distancia entre la Línea Límite de Surge y la "Línea de Control de Surge" (LCS) está determinada por un factor constante

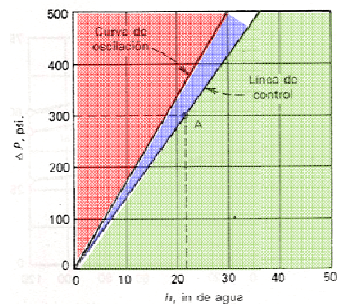
Control en Compresores

Teoría Básica del Control

Al mover la línea de control a la derecha se reduce la posibilidad de oscilaciones en el caso de que una disminución rápida en el flujo ocasione un rebase excesivo a la izquierda de la línea de control. Pero si se coloca la línea de control demasiado lejana de la de oscilación, habrá derivación innecesaria del gas y se desperdiciará energía

La línea de control debe estar desplazada entre un 10% del flujo o un 20% de la presión diferencial. En algunos casos este margen puede ser menor

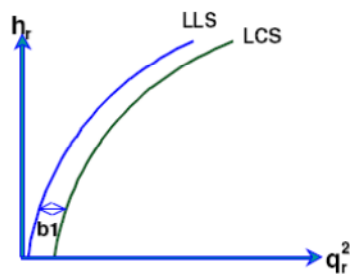
Presencia de Oscilaciones
Posibilidad de Oscilaciones
Libre de Oscilaciones



La ubicación de la línea depende de las condiciones reales de operación, de los estándares de seguridad y las necesidades

LA LÍNEA DE CONTROL DE SURGE

Es posible tener la ubicación de la LCS en base a un margen mínimo (b_1) y agregar un margen adicional cuando sea necesario



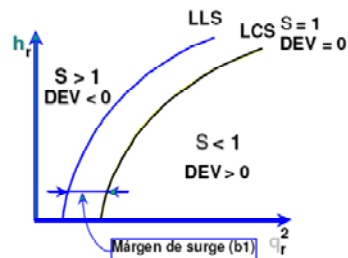
Agregando un margen de seguridad (b_1)

$$b = b_1 + (b_2 \cdot n) + (b_3 \cdot Td_0 \cdot dS/dt)$$

b_1 = Margen de seguridad inicial
 b_2 = Respuesta Safety On
 n = Número de ciclos de surge
 b_3 = Respuesta de ganancia adaptiva
 $Td_0 \cdot dS/dt$ = Derivada de S
 LCS = Línea de Control de Surge
 LLS = Línea Límite de Surge

La línea de Surge

- Debido a que $S > 1$ en la región de surge (situación negativa), introducimos el parámetro $DEV = 1 - S$.
- El parámetro DEV es independiente del tamaño del compresor y será el mismo valor para cada compresor de la planta.
- El parámetro DEV siempre es la distancia entre la Línea de Control de Surge y el Punto Operativo.

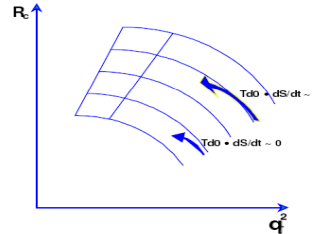


Beneficios:

- Se dispone de un parámetro de surge standard para la planta
- No hay confusión para el operador:
 - $DEV > 0$ Bueno
 - $DEV = 0$ Línea de Reciclo
 - $DEV < 0$ Malo

LA LÍNEA DE CONTROL DE SURGE

Este margen adicional es agregado cuando se produce una perturbación en el proceso que induzca al Punto Operativo a moverse hacia surge. Cuando más grande sea la perturbación y cuanto más rápido se mueva el Punto Operativo, mayor margen se adicionará y más pronto se abrirá la válvula. Este movimiento del Punto Operativo es monitoreado automáticamente por el controlador, calculando una variable conocida como dS/dt . Ésta se conoce también como respuesta derivativa o ganancia adaptiva.



Ganancia Adaptiva

- $b = b1 + (b2 \cdot n) + (b3 \cdot Tdo \cdot dS/dt)$
- $b1$ es el margen de seguridad inicial
- $b2$ es la respuesta Safety On
- $b3$ es la respuesta de ganancia adaptiva
- Cuando el punto operativo se mueve rápidamente hacia la línea LLS, el cambio de S con respecto al tiempo (dS/dt) es grande
- Cuando el punto operativo se mueve lentamente hacia la línea LLS, el cambio de S con respecto al tiempo (dS/dt) es pequeño

El valor S

La acción de control que abre la válvula es del tipo *Proporcional Integral (PI)*. Observando el valor- S del Punto Operativo con respecto a la Línea de Control de Surge, vemos que es posible cambiar la fórmula 8 a la siguiente:

$$S = K \times \frac{H_{p,red}}{Q_{s,red}^2} + b_1 \times f(\Delta P_o) \quad (12)$$

Note que S en la fórmula 12 no tiene el subíndice "s". La diferencia entre S y S_s de la fórmula 8 es que S es igual a 1 (uno) cuando el Punto Operativo se sitúa en la Línea de Control de Surge y no en la Línea Límite de Surge.

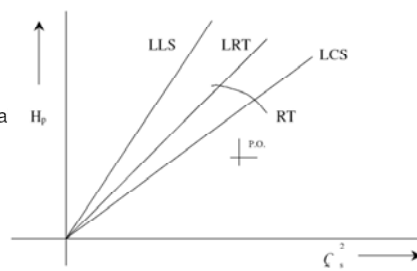
Desviación: $DEV = 1 - S \quad (13)$

La desviación DEV es cero (0) cuando el Punto Operativo está situado en la Línea de Control de Surge, es *positiva* al lado derecho y *negativa* al lado izquierdo de esta línea.

Algoritmo Recycle Trip

Las curvas de velocidad en el Mapa del Compresor son bastante horizontales en la región de surge. Aquí, el efecto es que el flujo oscilará más cuando el Punto Operativo se mueve muy cerca del surge. O sea, un pequeño cambio en el Cabezal Politrópico ocasionará un cambio mayor en el flujo cuando el Punto Operativo se mueva muy cerca a la Línea de Límite de Surge.

La acción de control que abre la válvula de reciclo cuando el Punto Operativo se mueve a la izquierda de la Línea de Control de Surge, es del tipo *Proporcional Integral*. Esta es una acción de Control de *Lazo Cerrado* y es típicamente lenta. Aumentando la velocidad de control (menos banda proporcional y/o mayor respuesta integral) tendrá una consecuencia negativa en la estabilidad del sistema. En el Controlador Antisurge de CCC, se agrega una línea adicional entre la Línea Límite de Surge y la Línea de Control de Surge.



La válvula

