

El gran peligro de las computadoras no es el hecho de que eventualmente sean más inteligentes que el hombre, sino que por el contrario, el hombre cambiará su forma de pensar para acordar con las computadoras

Bernard Avishai

# Dimensionalismo de un Receptor de Tapones de Líquido “SlugCatcher” para Líneas de Gas Húmedo a Través de Análisis de Estado Estable Bifásico de Beggs and Brill

*Rodríguez Yanes Jairo Alfonso*  
*C.I. 14.461.068*

# Objetivos

El presente Trabajo Especial de Grado tiene como objetivo principal el de presentar una metodología para el dimensionamiento de un receptor de tapón de líquidos al final de una tubería de gas húmedo.

Para cumplir con este objetivo principal se busca cumplir con los siguientes objetivos específicos:

- Aportar diversas opciones en cuanto al diseño de instalaciones de superficie y líneas de flujo reportadas en la literatura industrial, optimizadas con cálculos basados en la correlación para flujo multifásico de Beggs and Brill.
- Estudiar las diversas razones por las cuales existe un aumento en la llegada del flujo líquido al final de la tubería, y calcular el volumen máximo para tomarlo en cuenta en el diseño del receptor de tapones líquidos al final de la tubería.
- Evaluar la característica discontinua del flujo intermitente y la influencia de la distribución de longitudes de los tapones de líquido para el diseño mejorado de los separadores de gas y líquido en superficie o receptor de tapones.

Objetivos

Metodología

Resultados

Conclusiones

Consideraciones  
Finales

# Metodología

Para la evaluación de la tasa líquida de llegada al final de la tubería fueron evaluados tres casos distintos:

1. Aumento de la tasa de flujo total, lo que ocasionaría, teóricamente, un incremento repentino de la tasa líquida al final de la tubería debido al aumento del arrastre líquido por parte del gas (Cunliffe).
2. Ocurrencia naturales de tapones líquidos, con lo que el incremento de la tasa líquida tendría un comportamiento intermitente en el tiempo (Brill et al).
3. Corrida de cochinos en la tubería, con lo que se incrementaría la tasa líquida al arrastrar la mayor parte del líquido acumulado debido al desplazamiento entre las fases (Xiao y Shoup).

Objetivos

Metodología

Resultados

Conclusiones

Consideraciones  
Finales

# Metodología

Análisis pseudo dinámico:

- Variación de la tasa dentro del rango de 25MMPCD a 200MMPCD (15 puntos de tasas iguales para ambos casos)
- Presiones iniciales de 1000lpca y 1500lpca para el Caso A, y 1500lpca y 2000lpca para el Caso B.
- Diámetros de tubería a evaluar en cada caso: 12in y 16in, y 20in y 24in respectivamente

Tabla de Resultados 

|                         |
|-------------------------|
| Objetivos               |
| Metodología             |
| Resultados              |
| Conclusiones            |
| Consideraciones Finales |

|                                     |   |   |  |   |   |   |  |   |  |
|-------------------------------------|---|---|--|---|---|---|--|---|--|
| Tasa de Gas a la Entrada MMPCD (1)  | Presión al Final de la Tubería LPC (2)    | Caida de Presión LPC/MI (3)                   | Inventario Líquido Total en la Tubería BBL (4) | Liquid Holdup Promedio % (5)                | Tasa de Líquido a la Salida de la Tubería BPM (6)             | Patrón de Flujo a la Salida de la Tubería - (7) | Tiempo para Alcanzar Condiciones de Estado Estable M (8) | Líquido Barrido por Incremento de las Tasas BBL (9) | Tasa Líquida al Final de la Tubería debido al Incremento de la Tasa BPM (10) |
| Tasa de Gas a la Entrada MMPCD (11) | Frecuencia Media del Tapón 1/S (12)       | Longitud Media del Tapón FT (13)              | Líquido en el Cuerpo del Tapón BBL (14)        | Velocidad del Tapón FT/S (15)               | Longitud del Tapón a la Ocurrencia FT (16)                    | Líquido en el Cuerpo del Tapón BBL (17)         | Tiempo de Ocurrencia del Tapón (16) H (18)               | Tiempo de Duración del Incremento de Tasa M (19)    | Tasa Líquida en la Salida debido al Tapón BPM (20)                           |
| Tasa de Gas a la Entrada MMPCD (21) | Velocidad Promedio de la Mezcla FT/S (22) | Velocidad de la Mezcla en la Salida FT/S (23) | Tiempo de Tránsito del Cochino H (24)          | Velocidad del Cochino a la Salida FT/S (25) | Tasa de Reacumulación del Líquido Detrás del Cochino BPH (26) | Líquido Barrido por el Cochino BBL (27)         | Longitud Equivalente Tapón frente al Cochino (28)        | Tiempo de Arribo del Tapón M (29)                   | Tasa Líquida debido a la limpieza BPM (30)                                   |

$$\langle 3 \rangle = \frac{\langle 2 \rangle - P_{@inlet}}{L}$$

$$\langle 14 \rangle = \frac{\pi \langle 13 \rangle \left( \frac{D}{12} \right)^2}{4 \cdot 5.6146}$$

$$\langle 24 \rangle = \frac{5280L}{60 \langle 22 \rangle}$$

$$\langle 4 \rangle = \frac{\pi \cdot 5280L \left( \frac{D}{12} \right)^2}{4 \cdot 561.46}$$

$$\langle 5 \rangle \langle 17 \rangle = \frac{\pi \langle 16 \rangle \left( \frac{D}{12} \right)^2}{4 \cdot 5.6146}$$

$$\langle 25 \rangle = \langle 23 \rangle$$

$$\langle 26 \rangle = 60 \langle 6 \rangle$$

$$\langle 8 \rangle = \frac{\langle 4 \rangle}{\langle 6 \rangle}$$

$$\langle 18 \rangle = \frac{N}{3600 \langle 12 \rangle}$$

$$\langle 27 \rangle = \langle 4 \rangle$$

$$\langle 28 \rangle = 4 \langle 27 \rangle \frac{5.6146}{\pi \left( \frac{D}{12} \right)^2}$$

$$\langle 9 \rangle = \langle 4 \rangle_{\langle 1 \rangle+1} - \langle 4 \rangle_{\langle 1 \rangle}$$

$$\langle 19 \rangle = \frac{\langle 16 \rangle}{60 \langle 15 \rangle}$$

$$\langle 10 \rangle_{\langle 1 \rangle} = \langle 6 \rangle \frac{\langle 4 \rangle_{\langle 1 \rangle+1}}{\langle 4 \rangle_{\langle 1 \rangle}}$$

$$\langle 20 \rangle = \frac{\langle 17 \rangle}{\langle 19 \rangle}$$

$$\langle 29 \rangle = \frac{\langle 28 \rangle}{60 \langle 22 \rangle}$$

$$\langle 30 \rangle = \frac{\langle 27 \rangle}{\langle 29 \rangle}$$

Resu

Consideraciones  
Finales

# Metodología

## ➤ Información General

Propiedades del Fluido

|   | C1H4      | C2H6    | C3H8     | iC4H10  | nC4H10   | iC5H12  | nC5H12   | nC6H14  | nC7H16  | MEZCLA |
|---|-----------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|---------|--------|
| Fracción Molar  | 0.75      | 0.06    | 0.03     | 0.01    | 0.01     | 0.01    | 0.01     | 0.01    | 0.12    | ---    |
| Peso Molecular  | 16.04     | 30.07   | 44.10    | 58.12   | 58.12    | 72.15   | 72.15    | 86.18   | 100.21  | 29.86  |
| Punto de Ebullición Normal [°F]                         | -258.7    | -127.5  | -43.78   | 10.89   | 31.10    | 82.18   | 96.91    | 155.7   | 209.2   | ---    |
| Densidad Ideal Líquida [lb/ft <sup>3</sup> ]            | 18.69     | 22.20   | 31.63    | 35.08   | 36.41    | 38.92   | 39.31    | 41.37   | 42.88   | ---    |
| Temperatura Crítica [°F]                                | -116.4    | 90.10   | 206.1    | 274.9   | 305.7    | 369.0   | 385.6    | 454.5   | 512.6   | 169.6  |
| Presión Crítica [psia]                                  | 673.1     | 708.3   | 617.4    | 529.0   | 550.7    | 483.5   | 489.5    | 439.7   | 396.9   | 3,143  |
| Volumen Crítico [ft <sup>3</sup> /lbmol]                | 1.586     | 2.371   | 3.204    | 4.213   | 4.085    | 4.934   | 4.982    | 5.895   | 6.824   | 1.688  |
| Factor Acéntrico  | 0.01150   | 0.09860 | 0.1524   | 0.1848  | 0.2010   | 0.2222  | 0.2539   | 0.3007  | 0.3498  | 0.07   |
| Factor Acéntrico COSTALD (SRK)                          | 0.007400  | 0.09830 | 0.1532   | 0.1825  | 0.2008   | 0.2400  | 0.2522   | 0.3007  | 0.3507  | 0.07   |
| Volumen Característico COSTALD [ft <sup>3</sup> /lbmol] | 1.592     | 2.335   | 3.205    | 4.114   | 4.075    | 4.959   | 4.987    | 5.898   | 6.895   | 2.300  |
| Coefficiente de Viscosidad A                            | -0.002015 | 0.07231 | 0.07112  | 0.1078  | 0.1001   | 0.0323  | 0.1243   | 0.09727 | 0.05282 | ---    |
| Coefficiente de Viscosidad B                            | 0.02547   | 0.04698 | -0.06538 | -0.1453 | -0.05969 | -0.1876 | -0.03341 | -0.1076 | -0.2028 | ---    |

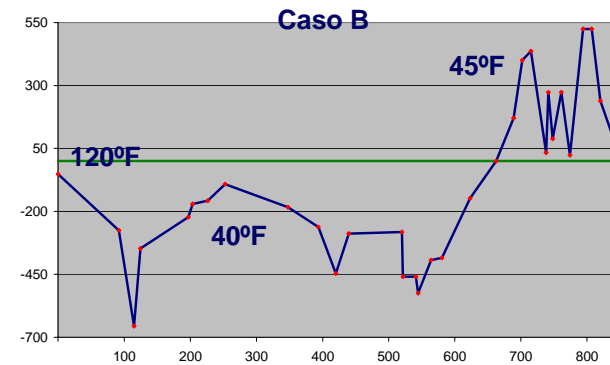
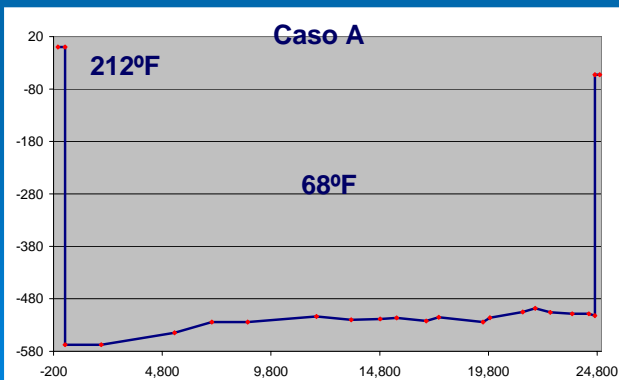
Objetivos

Metodología

Resultados

Conclusiones

Consideraciones Finales



Elevación [ft] en función de Distancia Horizontal [ft caso A y Mft caso B]

# Metodología

## ➤ Propiedades Físicas y Termodinámicas del fluido



- Ecuación de Estado: SRK
- Densidad: EOS – SRK



- Viscosidad: Correlación de Ely and Hanley
- Tensión Superficial: Brock and Bird
- Conductividad Térmica: Ely and Hanley

Objetivos

Metodología

Resultados

Conclusiones

Consideraciones  
Finales

## ➤ Transferencia de Calor

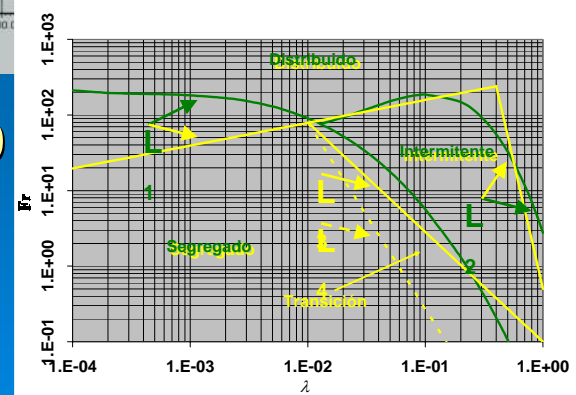
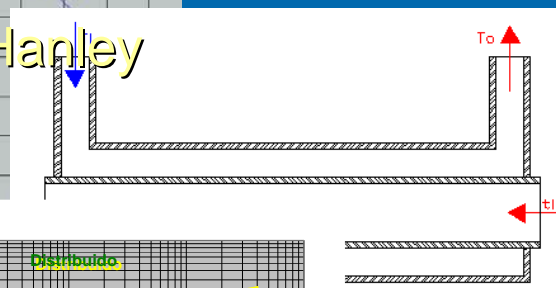
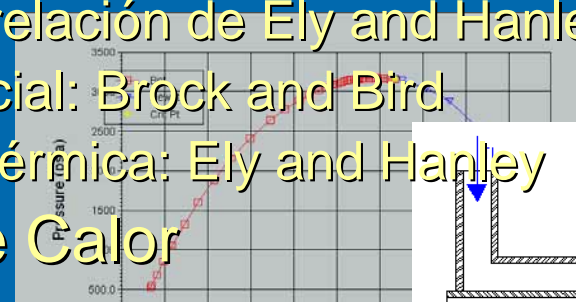


- Petukhov 1970
- Sieder and Tate 1936
- Dittus and Boelter 1930

## ➤ Correlación de Flujo



- Beggs and Brill 1978



$$P = \frac{RT}{V-b} - a_{\{T\}} \frac{1}{V(V+b)}$$

$$Z^3 - Z^2 + (A - B - B^2)Z - AB = 0$$

$$A = \frac{aP}{R^2T^2}$$

$$B = \frac{bP}{RT}$$

$$a = \sum \sum x_i x_j a_i^{0.5} a_j^{0.5} (1 - \delta_{ij})$$

$$b = \sum x_i b_i$$

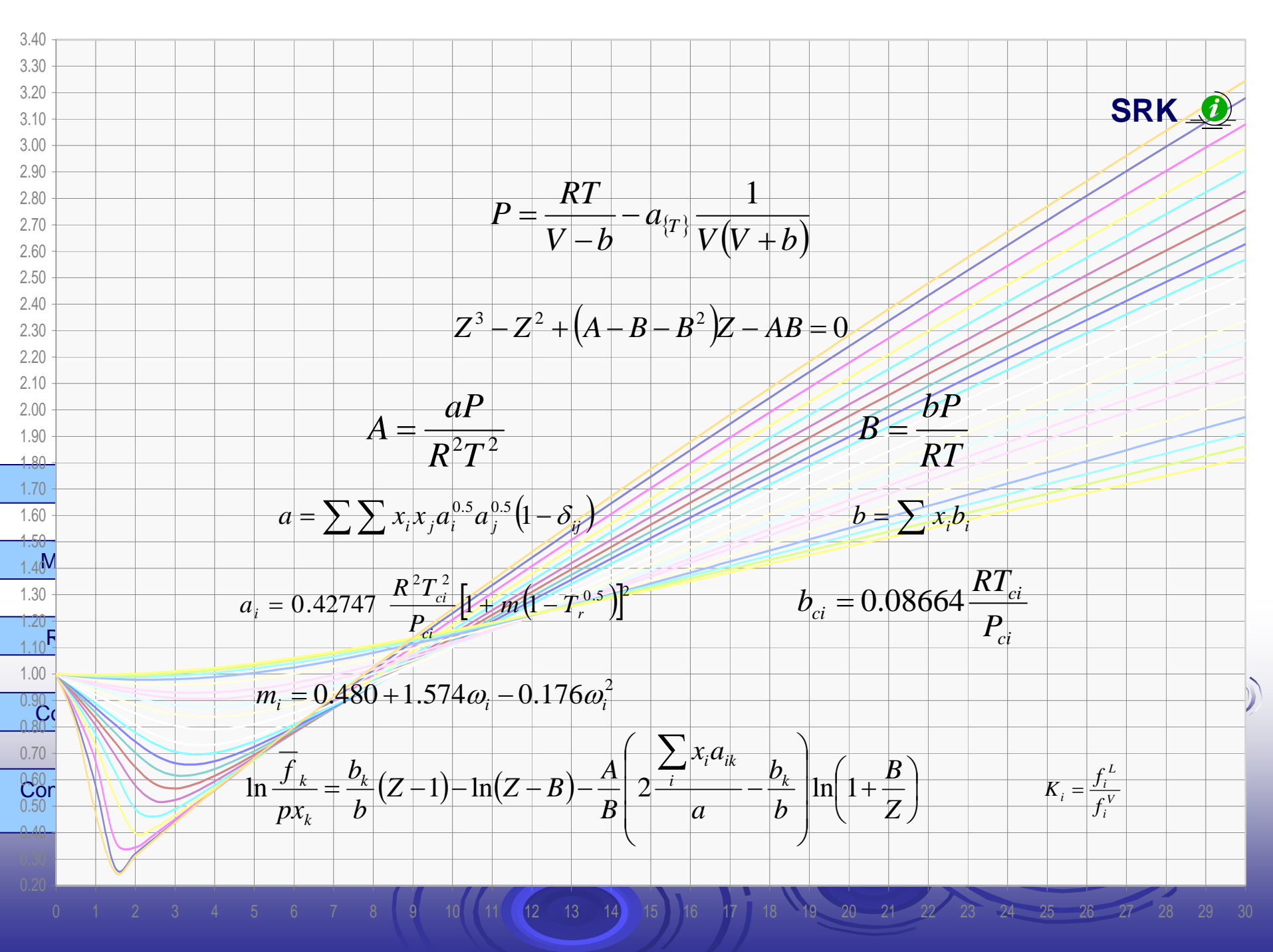
$$a_i = 0.42747 \frac{R^2 T_{ci}^2}{P_{ci}} \left[ 1 + m(1 - T_r^{0.5}) \right]^2$$

$$b_{ci} = 0.08664 \frac{RT_{ci}}{P_{ci}}$$

$$m_i = 0.480 + 1.574\omega_i - 0.176\omega_i^2$$

$$\ln \frac{f_k}{px_k} = \frac{b_k}{b} (Z-1) - \ln(Z-B) - \frac{A}{B} \left( 2 \frac{\sum x_i a_{ik}}{a} - \frac{b_k}{b} \right) \ln \left( 1 + \frac{B}{Z} \right)$$

$$K_i = \frac{f_i^L}{f_i^V}$$



## Densidad: EOS – SRK

$$\rho = \frac{pMW}{ZRT}$$

## Viscosidad: Correlación de Ely and Hanley

$$\mu = \mathfrak{F}(T_c, p_c, v_c, \varpi, MW)$$

## Tensión Superficial: Brock and Bird

$$\sigma = p_c^{2/3} T_c^{1/3} Q (1 - T_R)^a b$$

$$Q = 0.1207 \left[ 1 + \frac{T_{BR} \ln\left(\frac{P_C}{1.10325}\right)}{1 - T_{BR}} \right] - 0.281$$

$$b = c_0 + c_1 \varpi + c_2 \varpi^2 + c_3 \varpi^3$$

## Conductividad Térmica: Ely and Hanley

$$\lambda = \mathfrak{F}(T_c, p_c, v_c, \varpi, C_p^o, MW)$$

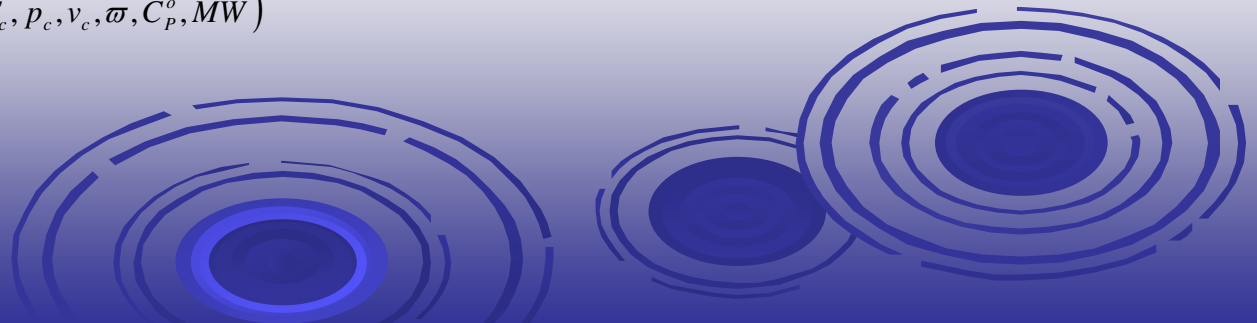
Objetivos

Metodología

Resultados

Conclusiones

Consideraciones  
Finales



$$Q = U * A * LMTD$$

## Petukhov 1970

$$\mathbf{Nu} = \frac{\frac{f}{8} \mathbf{RePr}}{1.07 + 12.7 \sqrt{\frac{f}{8}} (\mathbf{Pr}^{2/3} - 1)}$$

## Sieder and Tate 1936

$$\mathbf{Nu} = 0.027 \mathbf{Re}^{0.8} \mathbf{Pr}^{1/3}$$

## Dittus and Boelter 1930

$$\mathbf{Nu} = 0.023 \mathbf{Re}^{0.8} \mathbf{Pr}^{0.4}$$

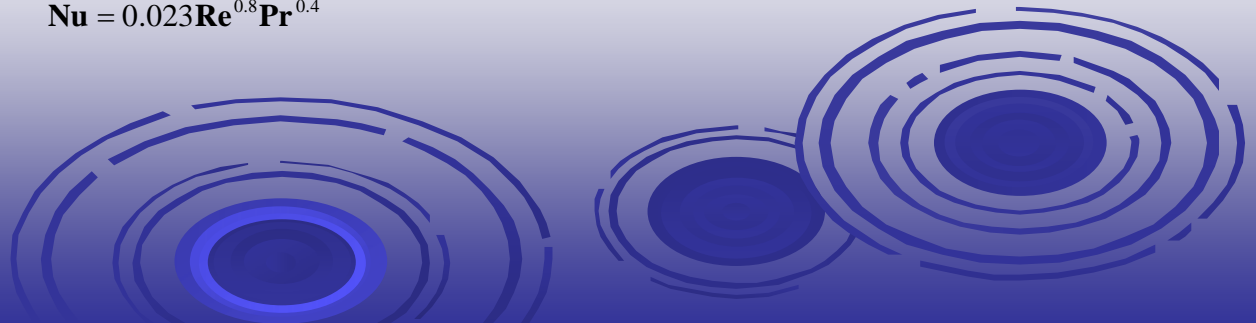
Objetivos

Metodología

Resultados

Conclusiones

Consideraciones  
Finales



Rango de Aplicación a la correlación de Beggs and Brill  
para flujo bifásico

| Variable                  | Rango           |
|---------------------------|-----------------|
| Tasa de aire              | [0, 100] Mscf/D |
| Tasa de agua              | [0, 30] gal/min |
| Presión del sistema       | [35, 95] psia   |
| Diámetros de Tuberías     | [1, 1.5] in     |
| Ángulo y Sentido de Flujo | [-90, +90]°     |

$$\frac{dp}{\rho_{tp}} + \frac{g}{g_c} dh + \frac{v_m dv_m}{g_c} + d(w_f) = 0$$

$$\frac{dp}{dZ} = - \left[ \frac{g}{g_c} \rho_{tp} \sin \theta + \rho_{tp} \frac{v_m}{g_c} \frac{dv_m}{dZ} + \rho_{tp} \frac{d(w_f)}{dZ} \right]$$

$$-\frac{dp}{dZ} = \left( \frac{dp}{dZ} \right)_G + \left( \frac{dp}{dZ} \right)_A + \left( \frac{dp}{dZ} \right)_f$$

$$\left( \frac{dp}{dZ} \right)_G = \frac{g}{g_c} \rho_{tp} \sin \theta \quad \left( \frac{dp}{dZ} \right)_A = - \frac{\rho_{tp} v_m v_{sg}}{g_c p} \frac{dp}{dZ} \quad \left( \frac{dp}{dZ} \right)_f = \frac{f_{tp} \rho_{ns} v_m^2}{2 g_c d}$$

# Metodología

## ➤ Correlaciones de Descripción de las propiedades medias del tapón

### • Longitud

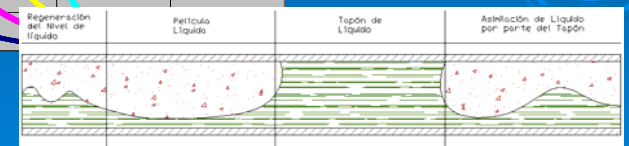
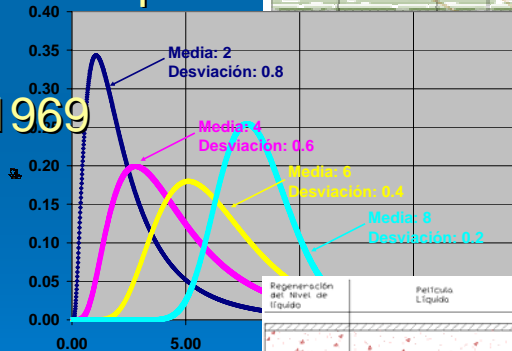
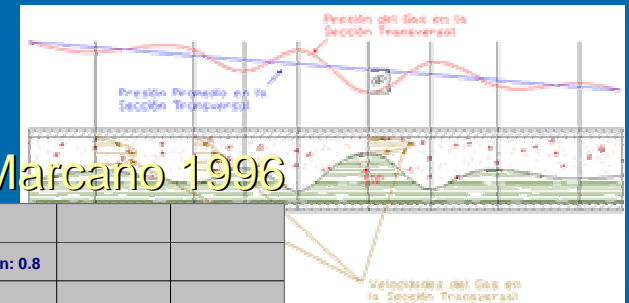
- Brill et al 1980
- Hill and Wood 1994
- Marcano et al 1996
- Hill and Wood modificada por Marcano 1996

### • Frecuencia

- Gregory and Scott 1969
- Hill and Wood 1990
- Hill and Wood 1994
- Marcano et al 1996

### • Descripción Probabilística

- Distribución Logarítmica



Objetivos

Metodología

Resultados

Conclusiones

Consideraciones  
Finales



$$\overline{L_{TAPON}} = \mathfrak{F}(v_M, v_{SL}, d, f_{TAPON})$$

## Brill et al 1980

$$\ln(\overline{L_{TAPON}}) = -2.663 + 5.441(\ln(d))^{0.5} + 0.059 \ln(v_M)$$

Brill et al utilizaron dos de los tres trenes de producción de Alaska de 3millas de longitud, de 12 y 16in de diámetro. Las tasas de petróleo se encontraron entre 44,000 a 97,000 STB/D, y 48,000 a 143,000 STB/D respectivamente, las cuales requerían mantenerse en un valor fijo por 45min para que las condiciones en la tubería alcanzaran condiciones permanentes. El perfil de tubería es complejo, y posee secciones desde completamente horizontales hasta completamente verticales. La sección de prueba sin embargo, se encuentra al final de la tubería

## Marcano et al 1996

$$\overline{L_{TAPON}} = \exp(\mu + 0.5\sigma^2)$$

$$\mu = 4.073 - 0.218 \ln(v_{SL}) - 0.178 \ln(v_M)$$

$$\sigma = 0.661 - 0.018 \ln(v_{SL}) - 0.119 \ln(v_M)$$

Donde las velocidades deben estar en unidades de ft/s para obtener la longitud del tapón en ft. La correlación fue realizada en un laboratorio, en tuberías de 3.068in y 1378ft de longitud. Aire se utilizó como gas, a 0.8MMPCSD a 125psig y kerosén como líquido a 200GPM.

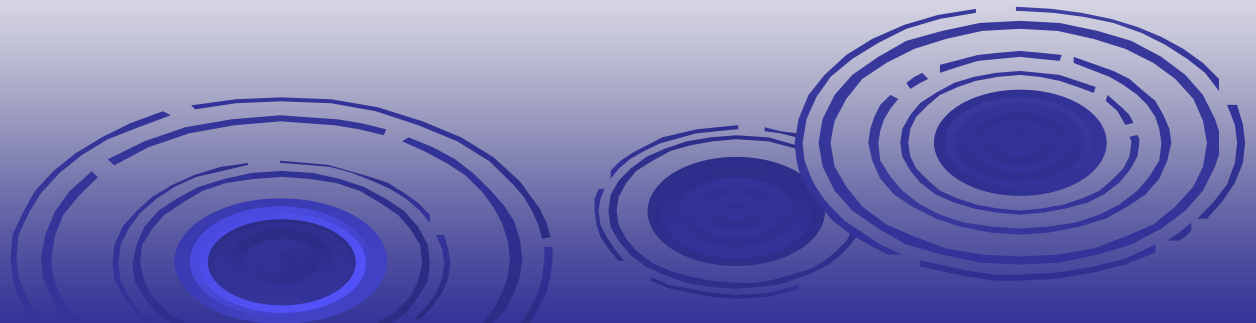
Objetivos

Metodología

Resultados

Conclusiones

Consideraciones  
Finales





## Hill and Wood 1994

$$\overline{L}_{TAPON} = 1.2 \frac{v_{SL}}{f_{TAPON}} \frac{1}{H_{TAPON}}$$

## Hill and Wood modificada por Marciano 1996

$$\overline{L}_{TAPON} = 1.038 + 0.589 \frac{v_{SL}}{f_{TAPON}} \frac{1}{H_{TAPON}}$$

$$L_{1000} = \exp(\mu + 3.0902\sigma)$$

Tabla III.3 Información de la correlación de Hill and Wood (1994)

| Variable             | Wythch Farm | Prudhoe Bay | Prudhoe Bay |
|----------------------|-------------|-------------|-------------|
| $W_G$ [MMpcsd]       | 9.16        | 74          | 57          |
| $W_p$ [Mbpd]         | 29.6        | 53          | 46          |
| $W_w$ [Mbpd]         | 19.2        | 45          | 41          |
| $L$ [in]             | 24          | 24          | 24          |
| Longitud [m]         | 5300        | 5203        | 5203        |
| Presión Inicial [pc] | 325         | 227         | 210         |
| Presión Final [pc]   | 130         | 150         | 150         |
| $\mu_L$ @ 155°F [cP] | 1.75        | 4           | 4           |
| $v_{SG}$ [m/s]       | 4.95        | 8.3         | 6.46        |
| $v_{SL}$ [m/s]       | 1.83        | 0.67        | 0.61        |

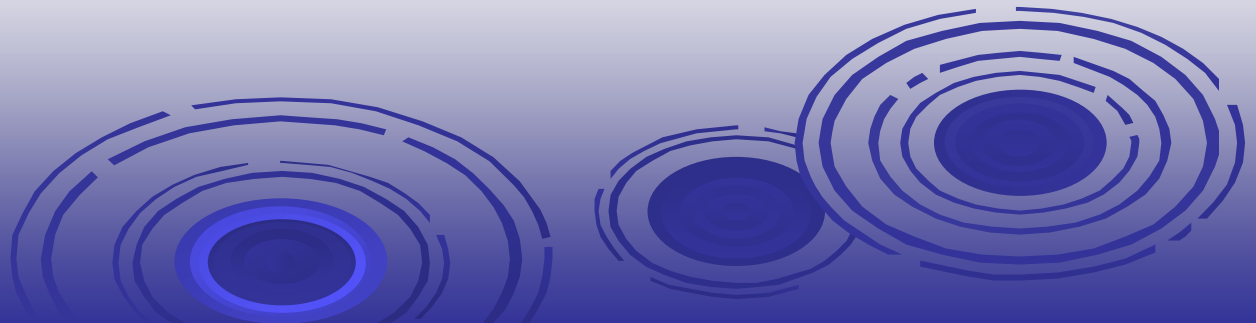
Objetivos

Metodología

Resultados

Conclusiones

Consideraciones  
Finales





$$f_{TAPON} = \mathfrak{F}(v_M, v_{SL}, v_{SG}, v_L, v_G, d, H_L)$$

## Gregory and Scott 1969

$$f_{TAPON} = 0.0226 \left[ \frac{v_L}{gd} \left( \frac{19.75}{v_M} + v_M \right) \right]^{1.2}$$

Donde las unidades de todas las variables de longitud vienen en metros y las de tiempo en segundos. Esta correlación fue obtenida con un sistema de dióxido de carbono y agua, en tuberías de 3/4in, a presión atmosférica y 20°C

## Hill and Wood 1990

$$\frac{f_{TAPON} d}{v_G - v_L} = 2.75 \frac{H_L}{1 - H_L}$$

Los datos fueron obtenidos de un laboratorio con tubería de 8, 12 y 16in de diámetro con aire y agua y 3in de diámetro con flujo de agua y kerosén. Además obtuvieron información de risers, con diversos fluidos y diámetros de tubería. El diámetro y la velocidad son utilizadas en unidades de longitud iguales, y la velocidad en unidad de tiempo con la cual se desee obtener la frecuencia.

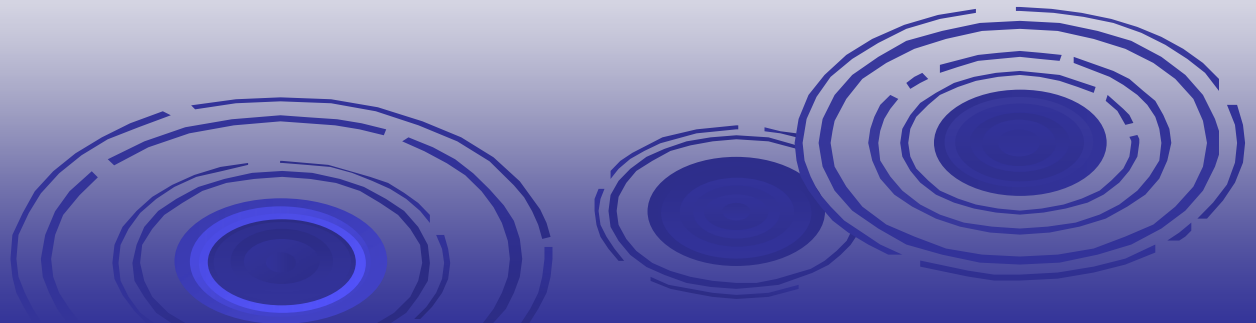
Objetivos

Metodología

Resultados

Conclusiones

Consideraciones  
Finales





## Hill and Wood 1994

$$\left( \frac{f_{TAPON} d}{v_M} \right)_{H\&W} = \frac{f_{TAPON} d}{v_M} (1 - 0.05 v_{SG}) d^{0.3}$$

$$\left( \frac{f_{TAPON} d}{v_M} \right)_{H\&W} = (-24.729 + 0.00766 \exp(9.91209 H_{LH\&W})) \exp(0.20524 H_{LH\&W})$$

$$H_{LH\&W} = H_L \left( 1 - \frac{0.068}{v_{SL}} \right)$$

Tabla III.3 Información de la correlación de Hill and Wood (1994)

| Variable              | Wytech Farm | Prudhoe Bay | Prudhoe Bay |
|-----------------------|-------------|-------------|-------------|
| $W_G$ [MMpcsd]        | 9.16        | 74          | 57          |
| $W_p$ [Mbpd]          | 29.6        | 53          | 46          |
| $W_w$ [Mbpd]          | 19.2        | 45          | 41          |
| $d$ [in]              | 10          | 24          | 24          |
| Longitud [m]          | 5300        | 5203        | 5203        |
| Presión Inicial [lpc] | 325         | 210         | 210         |
| Presión Final [lpc]   | 130         | 150         | 150         |
| $\mu_L$ @ 155°F [cP]  | 1.75        | 4           | 4           |
| $v_{SG}$ [m/s]        | 4.95        | 8.3         | 6.46        |
| $v_{SL}$ [m/s]        | 1.83        | 0.67        | 0.61        |

Objetivos

Metodología

Resultados

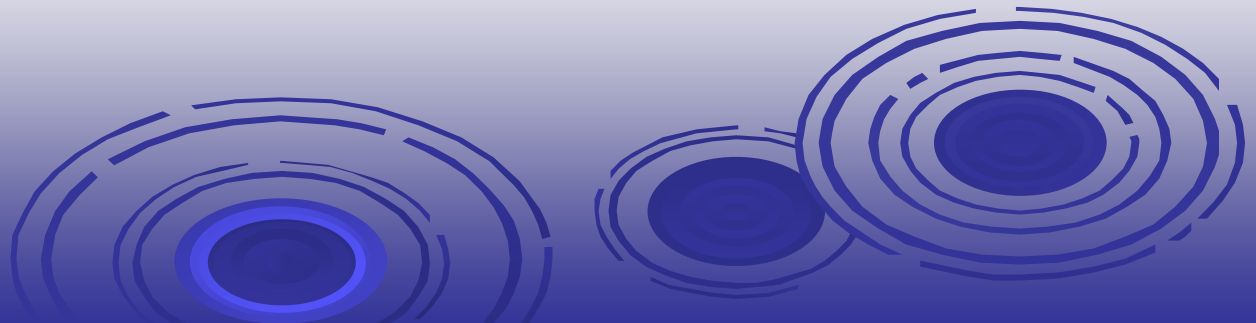
Conclusiones

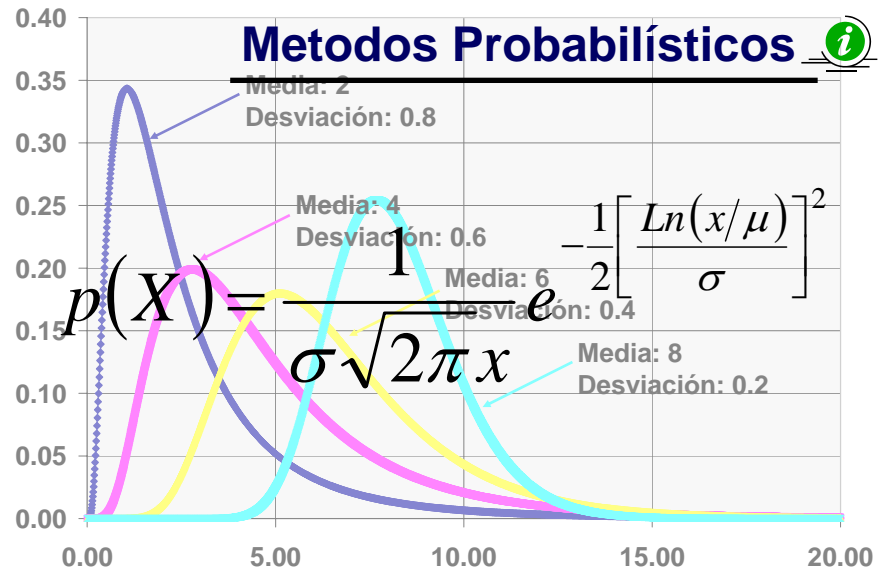
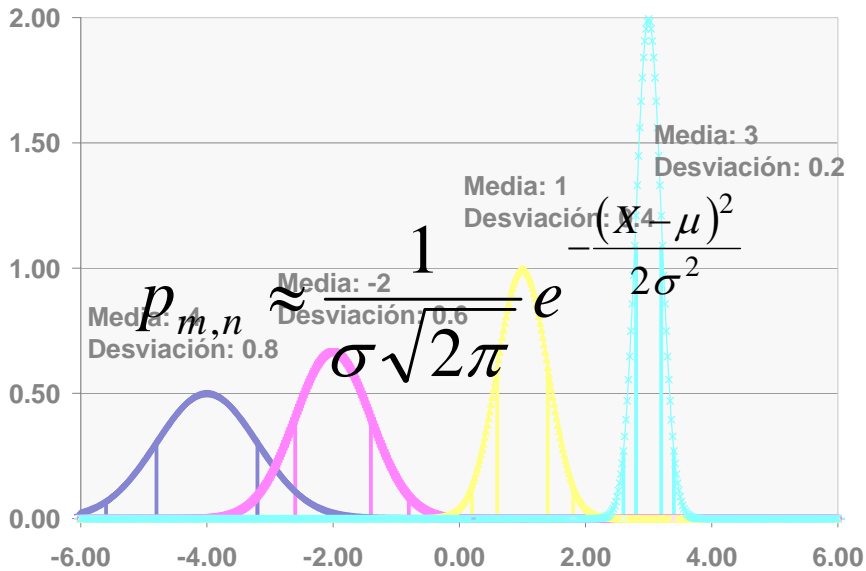
Consideraciones  
Finales

## Marcano et al 1996

$$f_{TAPON} = -0.089 + 0.214 v_{SL}$$

Donde las velocidades deben estar en unidades de ft/s para obtener la longitud del tapón en ft. La correlación fue realizada en un laboratorio, en tuberías de 3.068in y 1378ft de longitud. Aire se utilizó como gas, a 0.8MMPCSD a 125psig y kerosén como líquido a 200GPM.





Objetivos

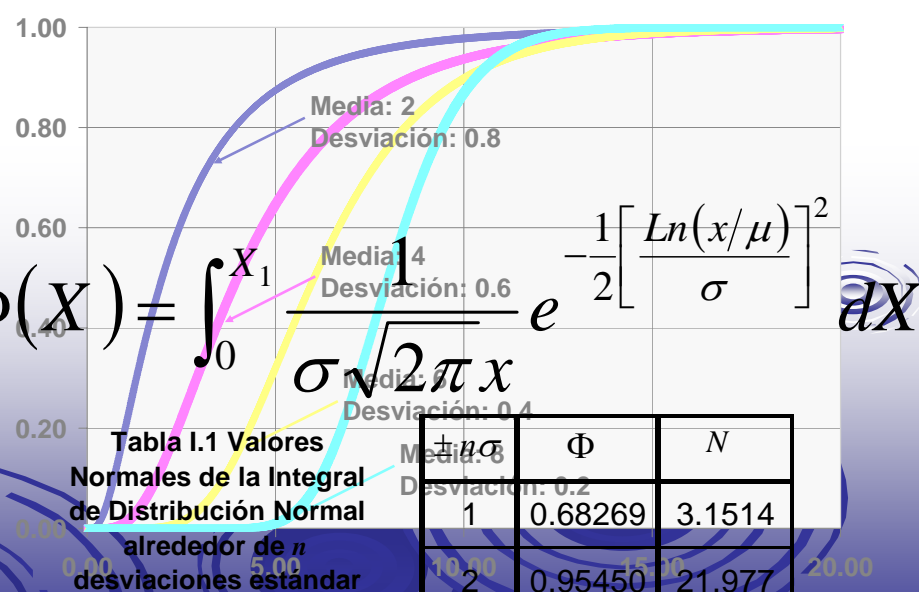
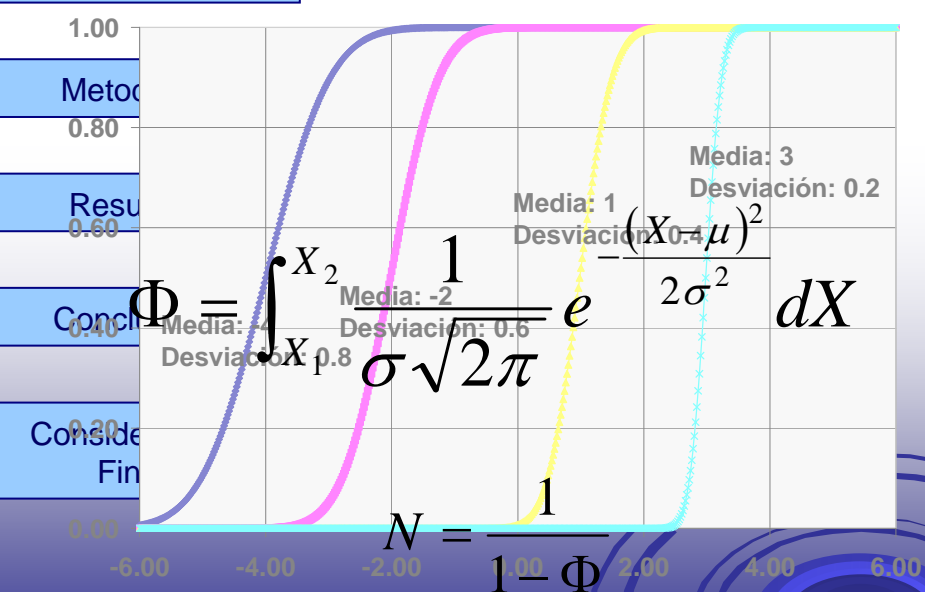


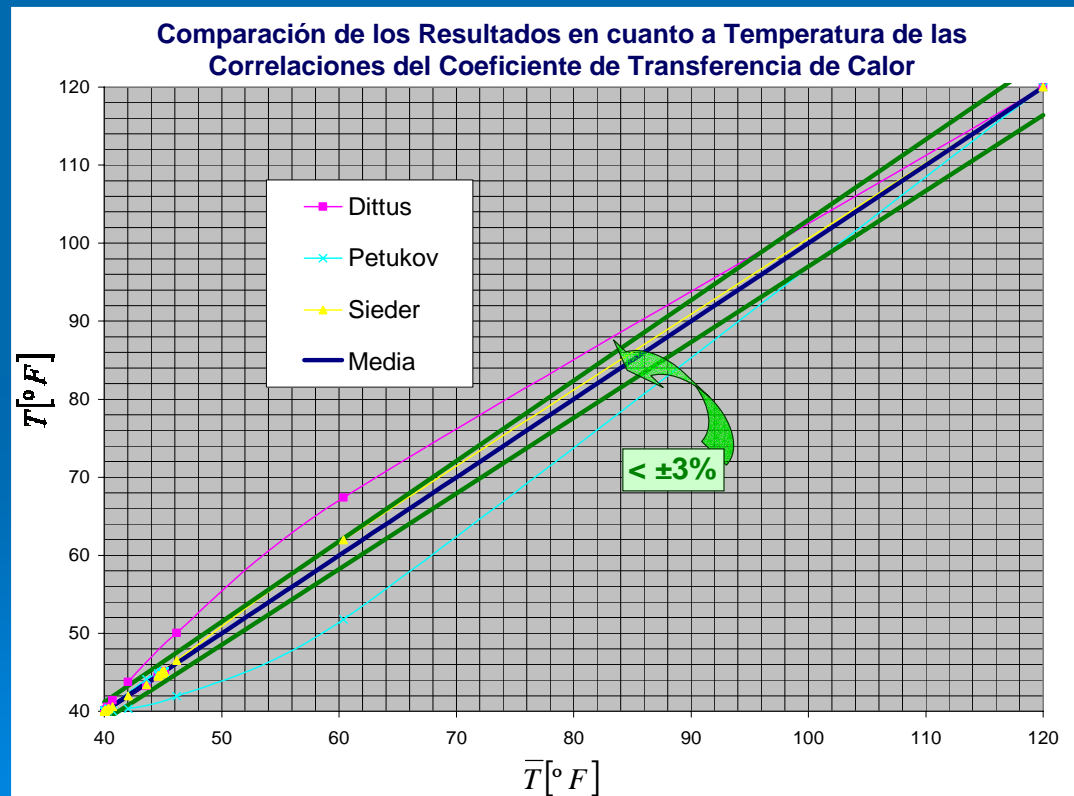
Tabla I.1 Valores Normales de la Integral de Distribución Normal alrededor de n desviaciones estándar de la media y su respectiva ocurrencia

| $\pm n\sigma$ | $\Phi$  | $N$    |
|---------------|---------|--------|
| 1             | 0.68269 | 3.1514 |
| 2             | 0.95450 | 21.977 |
| 3             | 0.99730 | 370.37 |

# Resultados

## Experiencias con el simulador

1. Acumulación de Líquido
2. Convergencia de Temperatura



Objetivos

Metodología

Resultados

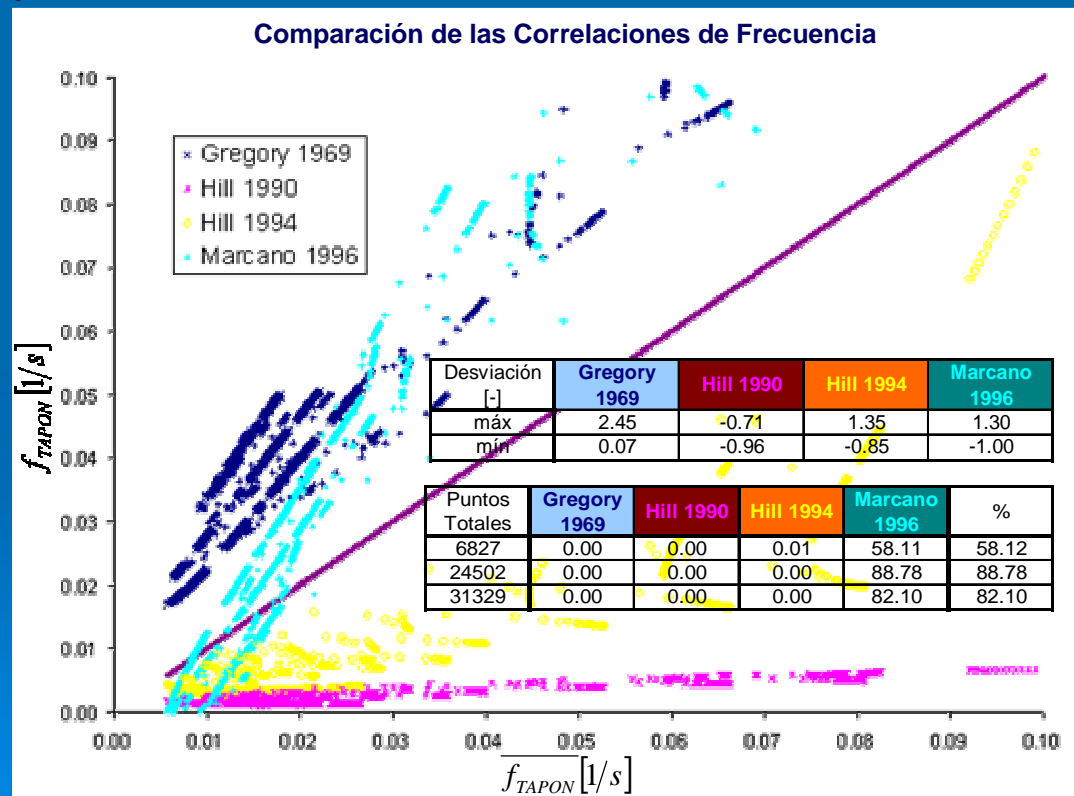
Conclusiones

Consideraciones  
Finales

# Resultados

## Correlaciones de las propiedades del tapón

1. Marcano 1996: Incidencia a números negativos
2. Hill and Wood 1990: Incidencia a valores mayores a la unidad



Objetivos

Metodología

Resultados

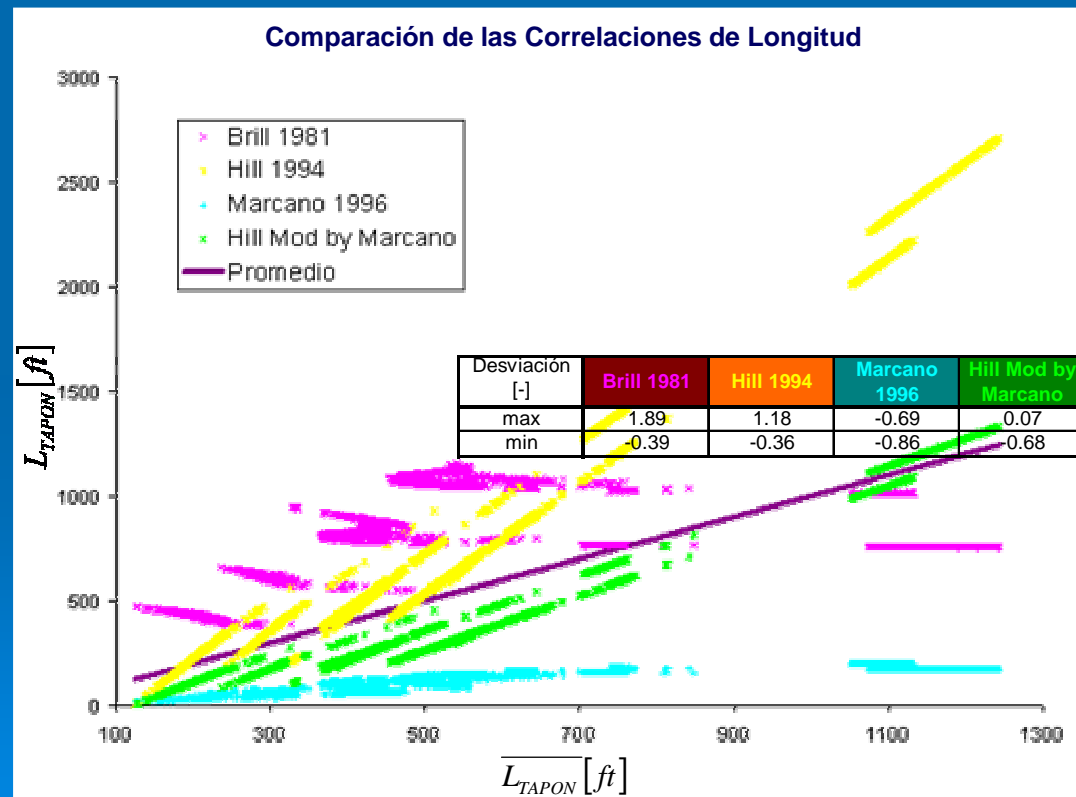
Conclusiones

Consideraciones  
Finales

# Resultados

## Correlaciones de las propiedades del tapón

1. 4 Correlaciones distintas para la longitud de tapón
2. Régimen Transitorio: Marcano 1996, Intermitente: Brill 1981



Objetivos

Metodología

Resultados

Conclusiones

Consideraciones  
Finales

# Resultados

## Volúmenes requeridos para almacenar

Caso A: las operaciones de limpieza en la tubería, ocasionan mayores volúmenes al final de la línea (hasta 17 veces más), seguido por la ocurrencia de tapones de líquido (hasta 3 veces más) con respecto a los incrementos de producción

## Volúmenes Máximos

Incremento de Tasa: 220bbl  
Tapones de Líquido: 640bbl  
Operaciones Limpieza: 3.500bbl  
(+60% volumen total tubería)

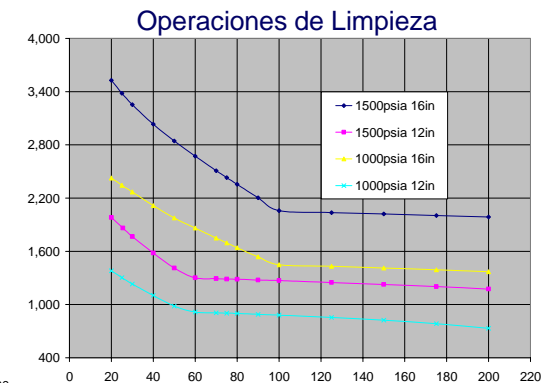
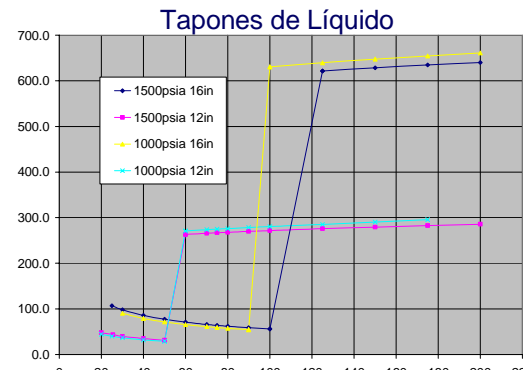
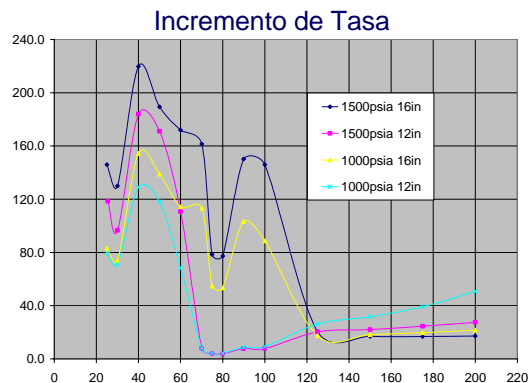
Objetivos

Metodología

Resultados

Conclusiones

Consideraciones  
Finales



Volúmenes [bbl] en función de la tasa de gas de entrada a la tubería [MMPCs]

# Resultados

## Volúmenes requeridos para almacenar

Caso B: la corrida de cochinos ocasiona mayores volúmenes al final de la línea (250 veces más), seguido de los incrementos de producción (13 veces más) con respecto a la ocurrencia de tapones de líquido

## Volúmenes Máximos

Incremento de Tasa: 22.800bbl

Tapones de Líquido: 1.500bbl

Operaciones Limpieza: 415.000bbl

(+95% volumen total tubería)

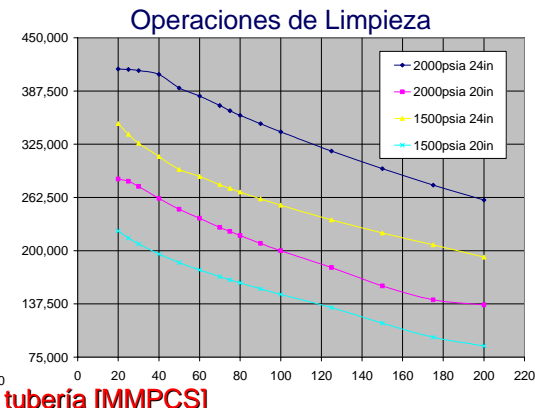
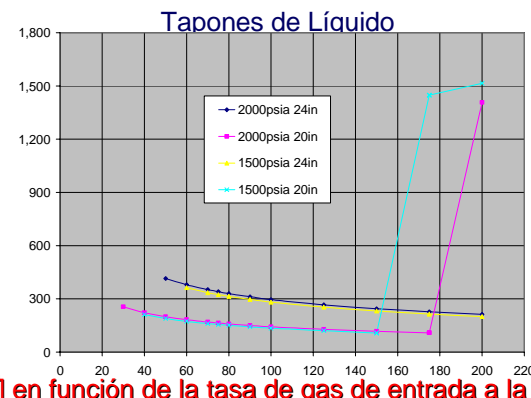
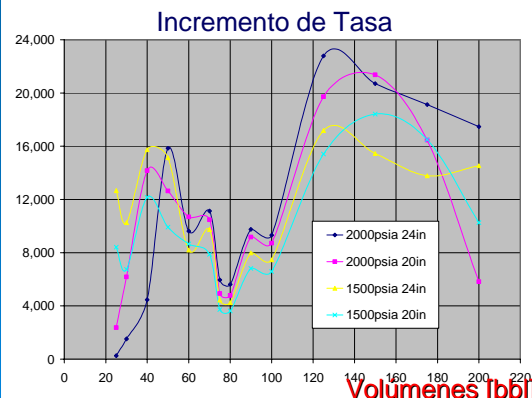
Objetivos

Metodología

Resultados

Conclusiones

Consideraciones  
Finales



Volúmenes [bbl] en función de la tasa de gas de entrada a la tubería [MMPCs]

# Resultados

## Incrementos en la tasas de producción líquida

Caso A: la ocurrencia de tapones de líquido producen mayores flujos instantáneos (hasta 18 veces mayores), luego las operaciones de limpieza de (14 veces), y los incrementos de producción de (1.12 veces mayores)

Tasas Máximas

Estado Permanente: 33.2BPM

Incremento de Tasa: 33.5BPM

Tapones de Líquido: 400BPM

Operaciones Limpieza: 356BPM

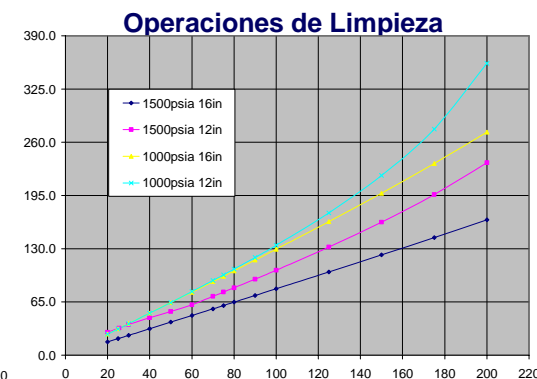
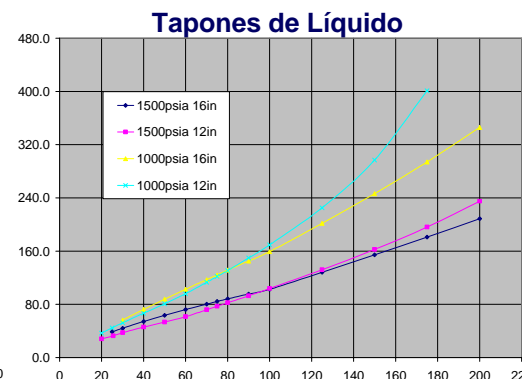
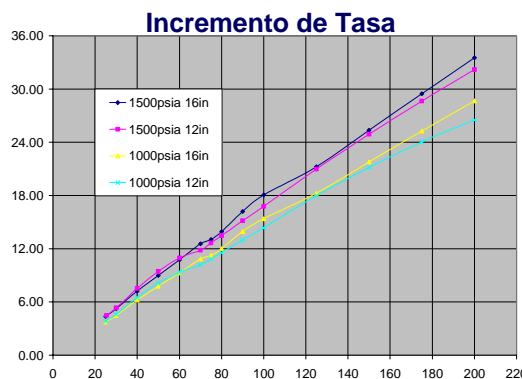
Objetivos

Metodología

Resultados

Conclusiones

Consideraciones  
Finales



Tasas de Líquido [BPM] en función de la tasa de gas de entrada a la tubería [MMPCS]

# Resultados

## Incrementos en la tasas de producción líquida

Caso B: la ocurrencia de tapones de líquido producen mayores flujos instantáneos (hasta 11 veces mayores), luego las operaciones de limpieza de (6 veces), y los incrementos de producción de (1.14 veces mayores)

Tasas Máximas

Estado Permanente: 39.8BPM

Incremento de Tasa: 42.5BPM

Tapones de Líquido: 628BPM

Operaciones Limpieza: 250BPM

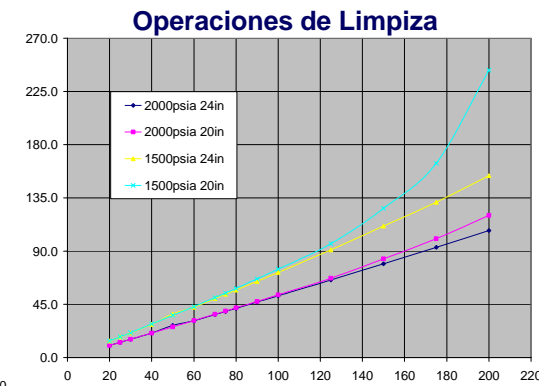
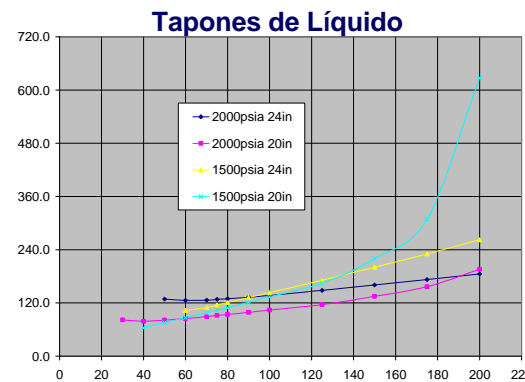
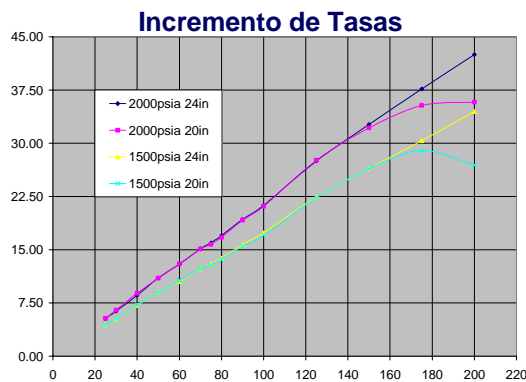
Objetivos

Metodología

Resultados

Conclusiones

Consideraciones  
Finales



Tasas de Líquido [BPM] en función de la tasa de gas de entrada a la tubería [MMPCS]

# Resultados

Volumen Recomendado:

Análisis Volumétrico – Operaciones de Limpieza

- Caso A: 1.600bbl de líquido a acumular – 2.150bbl volumen total del acumulador (30% volumen total tubería)
- Caso B: 165.000bbl de líquido a acumular – (40% volumen total de tubería)

| Tasa de Gas a la Entrada MMPCD | Caso A   |       |         |        | Caso B   |          |         |            |
|--------------------------------|----------|-------|---------|--------|----------|----------|---------|------------|
|                                | 1000 lpc |       | 1500lpc |        | 1500lpc  |          | 2000lpc |            |
|                                | 12in     | 16in  | 12in    | 16in   | 20in     | 24in     | 20in    | 24in       |
| 200                            | 669      | 1,204 | 967     | 1,587  | 75,712   | 142,607  | 122,310 | 163,330    |
| 175                            | 695      | 1,196 | 952     | 1,540  | 77,846   | 144,272  | 124,611 | 156,804    |
| 150                            | 705      | 1,176 | 923     | 1,473  | 83,661   | 141,645  | 134,959 | 147,604    |
| 125                            | 700      | 1,140 | 871     | 1,372  | 85,783   | 132,983  | 146,589 | 124,800    |
| 100                            | 675      | 1,077 | 783     | 1,215  | 80,453   | 113,229  | 152,800 | 80,853     |
| 90                             | 656      | 1,098 | 731     | 1,200  | 75,178   | 99,898   | 153,752 | 52,906     |
| 80                             | 630      | 1,111 | 665     | 1,147  | 66,891   | 81,583   | 153,072 | 15,699     |
| 75                             | 614      | 1,110 | 625     | 1,100  | 61,412   | 69,887   | 151,884 | -7,559     |
| 70                             | 595      | 1,103 | 578     | 1,037  | 54,683   | 55,976   | 149,950 | -34,945    |
| 60                             | 545      | 1,058 | 460     | 843    | 36,150   | 18,909   | 143,026 | -106,622   |
| 50                             | 504      | 958   | 314     | 509    | 7,224    | -23,066  | 129,240 | -180,865   |
| 40                             | 426      | 746   | 41      | -78    | -40,535  | -129,870 | 104,041 | -375,815   |
| 30                             | 223      | 315   | -527    | -1,188 | -130,933 | -291,101 | 53,865  | -644,086   |
| 25                             | 23       | -75   | -1,025  | -2,152 | -205,665 | -427,580 | 9,546   | -858,462   |
| 20                             | -313     | -695  | -1,872  | -3,675 | -323,328 | -641,746 | -59,046 | -1,177,142 |

Volúmenes [bb]

Objetivos

Metodología

Resultados

Conclusiones

Consideraciones  
Finales

# Resultados

Volumen Recomendado:

Análisis Volumétrico – Operaciones de Limpieza

- Caso B: Tubería de Servicio – Disminución de la Tasa de salida del acumulador  
a 32.1BPM – volumen 3.75 veces mayor  
a 25.5BPM – volumen 6.11 veces mayor

| Tasa de Gas a la Entrada MMPCD | Caso B *0.8 Tasa de salida |                   |          |          | Caso B *.64 Tasa de salida |                    |          |          |
|--------------------------------|----------------------------|-------------------|----------|----------|----------------------------|--------------------|----------|----------|
|                                | 1500 lpc                   |                   | 2000lpc  |          | 1500lpc                    |                    | 2000lpc  |          |
|                                | 20in                       | 24in              | 20in     | 24in     | 20in                       | 24in               | 20in     | 24in     |
| 200                            | 66,901                     | 152,321           | 109,156  | 182,110  | 67,799                     | 160,550            | 111,594  | 198,019  |
| 175                            | 69,186                     | 156,498           | 108,199  | 181,873  | 70,410                     | 166,856            | 111,240  | 201,417  |
| 150                            | 75,145                     | 157,073           | 112,876  | 176,588  | 76,886                     | 170,142            | 116,969  | 201,143  |
| 125                            | 79,527                     | 153,113           | 115,474  | 162,271  | 82,058                     | 170,168            | 121,240  | 194,016  |
| 100                            | 79,440                     | 140,565           | 109,150  | 131,339  | 83,027                     | 163,723            | 117,239  | 174,109  |
| 90                             | 77,770                     | 131,291           | 102,884  | 110,660  | 81,960                     | 157,886            | 112,311  | 159,588  |
| 80                             | 74,570                     | 118,106           | 93,057   | 82,613   | 79,524                     | 149,047            | 104,179  | 139,300  |
| 75                             | 72,179                     | 109,519           | 86,328   | 64,986   | 77,599                     | 143,095            | 98,476   | 126,443  |
| 70                             | 69,099                     | <del>99,187</del> | 78,017   | 44,100   | 75,053                     | <del>135,795</del> | 91,347   | 111,065  |
| 60                             | 60,121                     | 71,249            | 54,946   | -11,424  | 67,427                     | 115,589            | 71,268   | 69,224   |
| 50                             | 45,330                     | <del>39,059</del> | 18,441   | -69,308  | 54,567                     | 91,690             | 38,973   | 25,199   |
| 40                             | 19,919                     | -43,959           | -41,878  | -223,144 | 32,130                     | 28,822             | -14,837  | -93,806  |
| 30                             | -29,598                    | -170,672          | -151,770 | -438,217 | -12,105                    | -68,648            | -113,664 | -263,812 |
| 25                             | -71,443                    | -278,529          | -242,962 | -610,480 | -49,727                    | -152,259           | -196,170 | -400,399 |
| 20                             | -138,003                   | -448,450          | -377,412 | -866,950 | -109,735                   | -284,697           | -318,415 | -604,166 |

Volúmenes [bb]

|                         |
|-------------------------|
| Objetivos               |
| Metodología             |
| Resultados              |
| Conclusiones            |
| Consideraciones Finales |

# Conclusiones

1. Las correlaciones de Transferencia de Calor utilizadas, producen variaciones menores al 3% en los resultados de simulaciones en estado permanente.
2. Existe una dispersión importante en las correlaciones para el cálculo de las medias para las propiedades de tapones (frecuencia y longitud media). Estas deben ser ajustadas a los datos de campo que eventualmente se posean.
3. Los procedimientos de limpieza en las tuberías producen el mayor volumen de líquido que se debe acumular.

Objetivos

Metodología

Resultados

Conclusiones

Consideraciones  
Finales

# Conclusiones

4. Los volúmenes de líquido producto de los procedimientos de limpieza en la tubería, y de incrementos en la tasa de gas, al igual que el tiempo en que estos ocurren son dependientes de la longitud de la tubería.
5. El análisis como un volumen de control del acumulador de líquido permite reducir sustancialmente el volumen de diseño que se obtenga con un mismo conjunto de información.
6. Los volúmenes de líquido producidos por los tapones de líquido no deben entrar dentro del balance volumétrico, debido al corto período de tiempo en que ocurren.

Objetivos

Metodología

Resultados

Conclusiones

Consideraciones  
Finales

# Conclusiones

7. En caso de no realizarse procedimientos de limpieza en la tubería, la ocurrencia de tapones de líquido son las que rigen el diseño del acumulador de líquido.
8. La tasa de salida del acumulador debe ser lo más elevada posible, y velocidad del tapón se debe reducir al mínimo para lograr reducir el volumen del acumulador de líquido.
9. Una tubería de menor diámetro es deseable para reducir los volúmenes a acumular, por cualquiera de los casos estudiados, por lo que se deben optimizar las operaciones aguas arriba del acumulador para que trabajen a menores presiones.

Objetivos

Metodología

Resultados

Conclusiones

Consideraciones  
Finales

# Consideraciones Finales

1. La correlación de Beggs and Brill para el cálculo de gradientes de presión y acumulaciones de líquido debe de ser comparada con alguna otra correlación o mejor aún, con algún método mecánico que mejor describa los fenómenos que ocurren en las tuberías.
2. Los modelos de propiedades físicas, termodinámicas y de equilibrio son factores que controlan los resultados de una simulación de flujo. Se debe seleccionar cuidadosamente el conjunto de correlaciones a utilizar y que mejor caractericen el fluido en cuestión.
3. Una mejor representación de los casos a estudiar es preferible a la hora de realizar este tipo de análisis, de tal forma de poder dar conclusiones más sólidas en cuanto al diseño del acumulador de líquido.

Objetivos

Metodología

Resultados

Conclusiones

Consideraciones  
Finales

# Consideraciones Finales

4. La evaluación de los eventos que producen volúmenes de líquido que deban ser acumulados al final de la tubería, deben ser comparados a través de un simulador dinámico que permita comparar los resultados con la simulación pseudo permanente realizada en el presente trabajo.
5. Los sistemas de tuberías verticales tipo riser deben ser evaluados con mejores correlaciones o sistemas mecánicos que permitan su mejor caracterización. Se deben evaluar los resultados presentados con los obtenidos en dicho caso.
6. El análisis de un conjunto de resultados analíticos de simulaciones en estado permanente presentado debe ser realizado para identificar cualquier tipo información crucial que permita enfocar la atención para invertir en simulaciones dinámicas más complejas.

Objetivos

Metodología

Resultados

Conclusiones

Consideraciones  
Finales

# Consideraciones Finales

7. Para evitar el arrastre de líquido por parte de la corriente de gas en la salida del acumulador de líquido, se debe asegurar flujo estratificado dentro del sistema, con los flujos instantáneos a la salida de la línea o a la entrada del acumulador. Para esto, se puede utilizar el método mecanicista de Taitel and Dukler.

Objetivos

Metodología

Resultados

Conclusiones

Consideraciones  
Finales

# Ecuaciones de Estado

$$PV = ZnRT$$

Factor de Compresibilidad

$$P = \frac{RT}{(V-b)} - a \frac{1}{V^2}$$

Van der Waals

$$P = \frac{RT}{V-b} - \frac{a}{T^{0.5}} \frac{1}{V(V+b)}$$

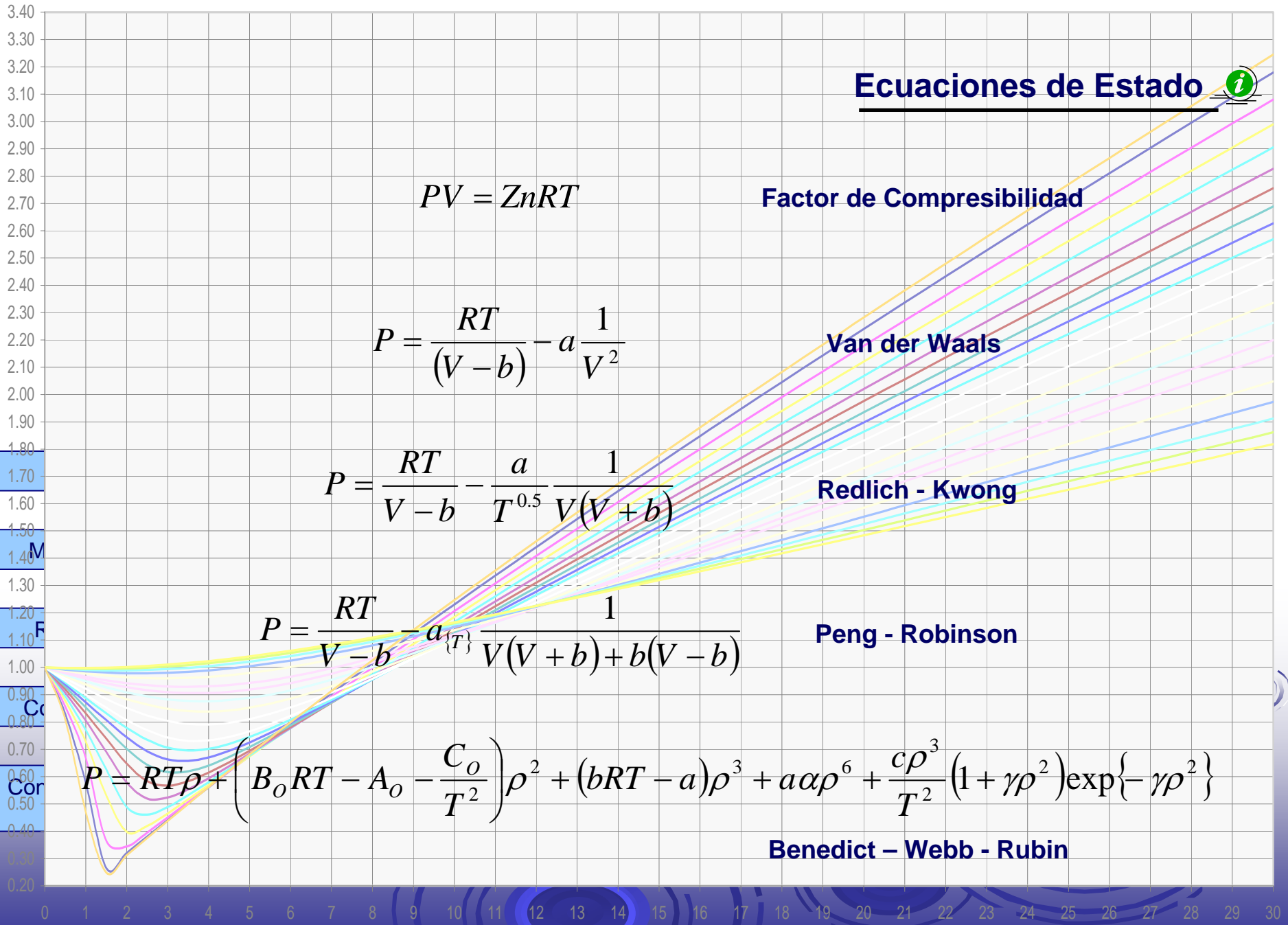
Redlich - Kwong

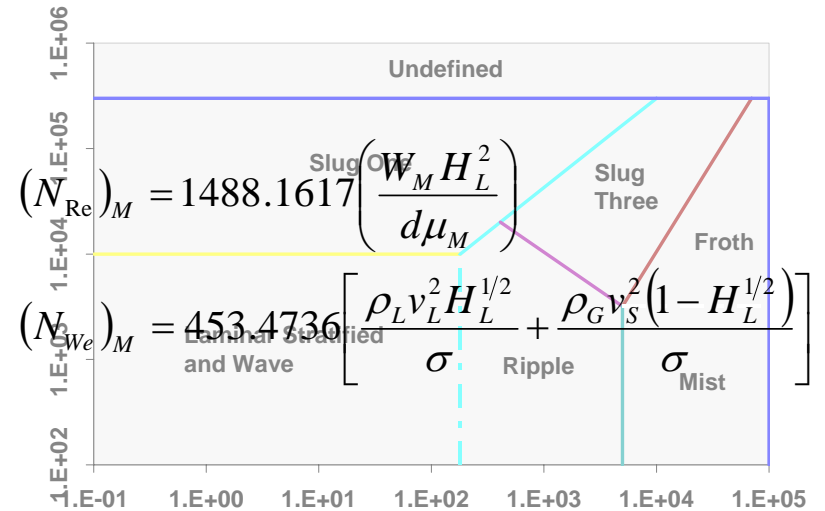
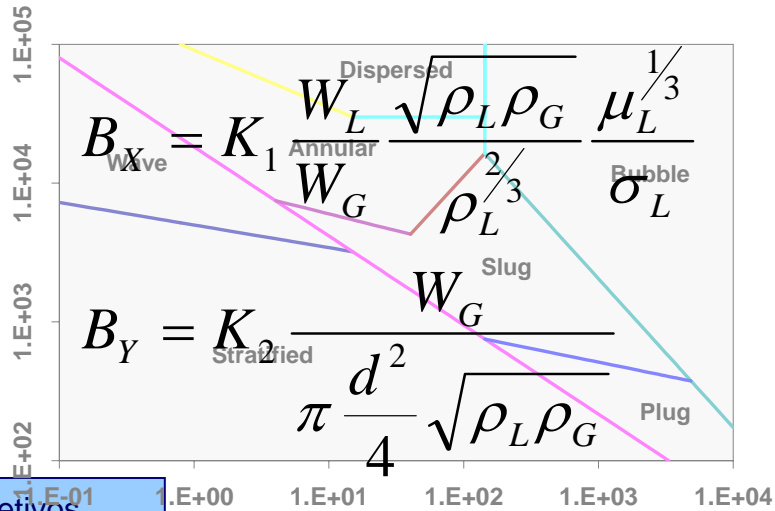
$$P = \frac{RT}{V-b} - \frac{a_{\{T\}}}{V(V+b) + b(V-b)}$$

Peng - Robinson

$$P = RT\rho + \left( B_o RT - A_o - \frac{C_o}{T^2} \right) \rho^2 + (bRT - a)\rho^3 + a\alpha\rho^6 + \frac{c\rho^3}{T^2} (1 + \gamma\rho^2) \exp\{-\gamma\rho^2\}$$

Benedict - Webb - Rubin





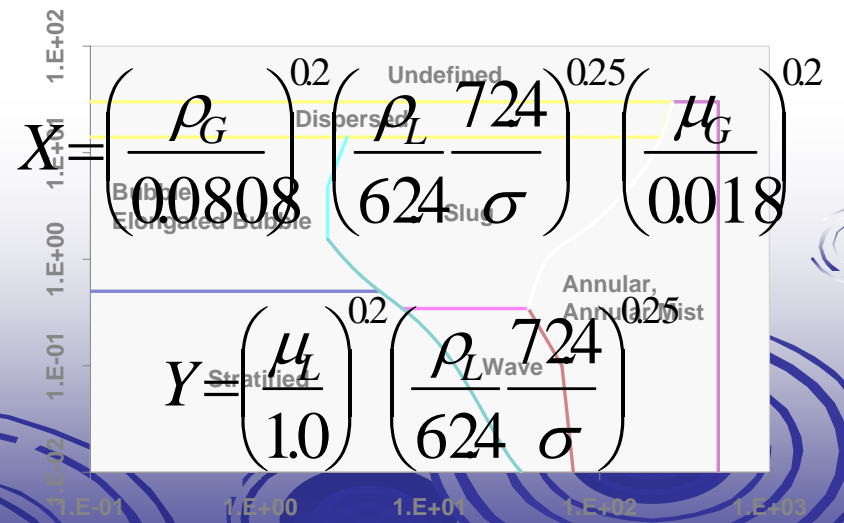
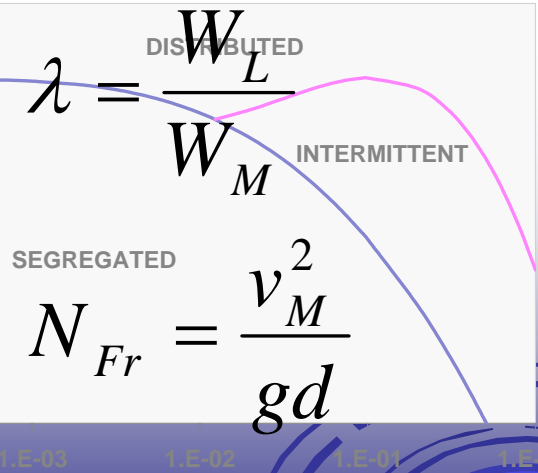
Objetivos

Metodología

Resultados

Conclusiones

Consideraciones Finales



$$-A_L \left( \frac{dP}{dx} \right) - \tau_{wL} S_L + \tau_i S_i + \rho_L A_L g \sin \theta = 0$$

$$-A_G \left( \frac{dP}{dx} \right) - \tau_{wG} S_G + \tau_i S_i + \rho_G A_G g \sin \theta = 0$$

$$\gamma = 2 \cos^{-1} \left( \frac{r-h}{r} \right)$$

$$S_L = r\gamma$$

$$S_G = r(2\pi - \gamma)$$

$$S_i = r\sqrt{2(1 - \cos \gamma)}$$

$$A_L = r^2 \cos^{-1} \left( \frac{r-h}{r} \right) - (r-h)\sqrt{2rh-h^2}$$

$$A_G = r^2 \cos^{-1} \left[ \frac{r-(1-h)}{r} \right] - [r-(1-h)]\sqrt{2r(1-h)-(1-h)^2}$$

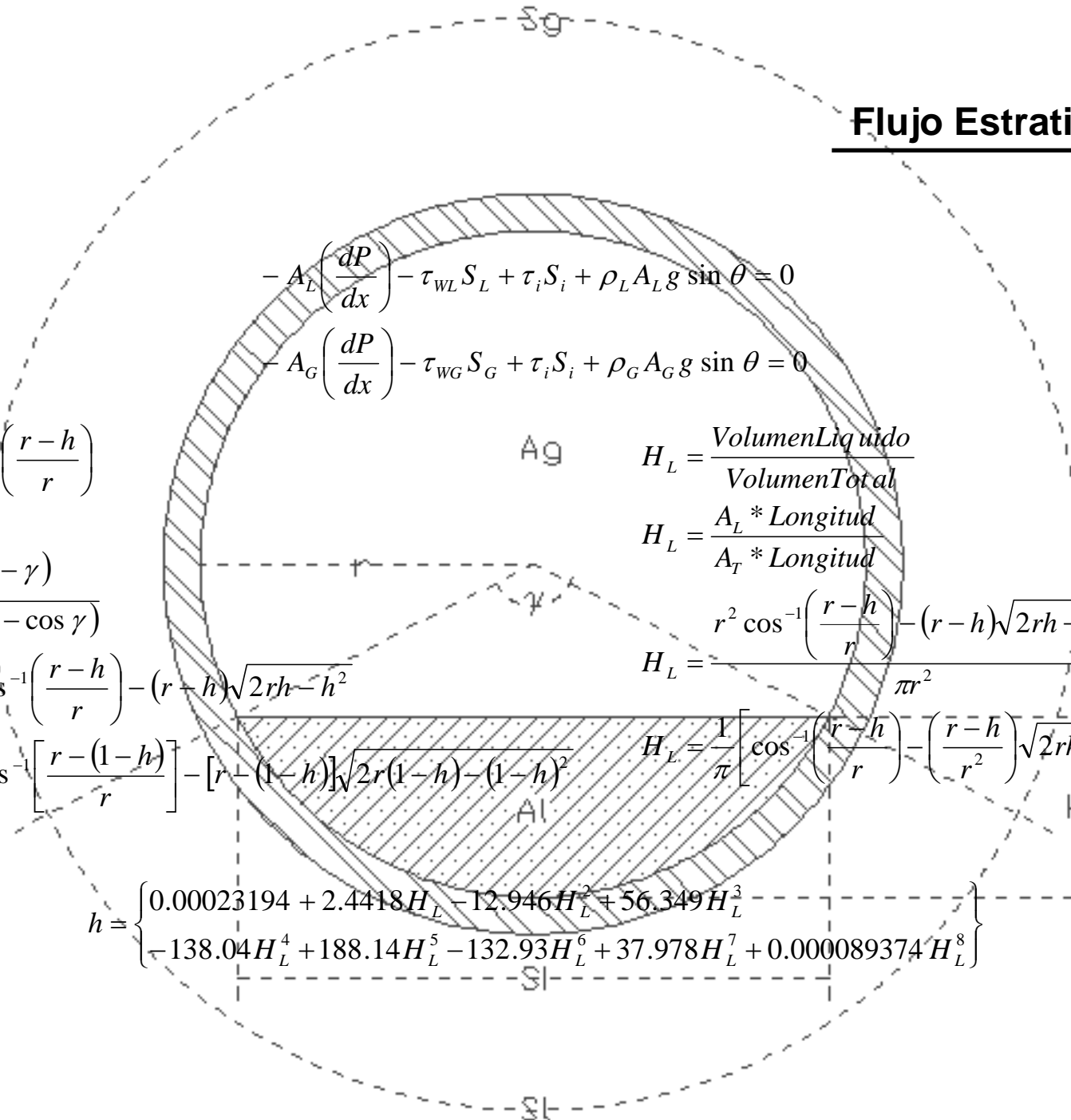
$$H_L = \frac{\text{VolumenLiquido}}{\text{VolumenTotal}}$$

$$H_L = \frac{A_L * \text{Longitud}}{A_T * \text{Longitud}}$$

$$H_L = \frac{r^2 \cos^{-1} \left( \frac{r-h}{r} \right) - (r-h)\sqrt{2rh-h^2}}{\pi r^2}$$

$$H_L = \frac{1}{\pi} \left[ \cos^{-1} \left( \frac{r-h}{r} \right) - \left( \frac{r-h}{r^2} \right) \sqrt{2rh-h^2} \right]$$

$$h = \left\{ \begin{array}{l} 0.00023194 + 2.4418H_L - 12.946H_L^2 + 56.349H_L^3 \\ -138.04H_L^4 + 188.14H_L^5 - 132.93H_L^6 + 37.978H_L^7 + 0.000089374H_L^8 \end{array} \right\}$$



# Formulación Probabilística

$$\phi(L_S) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} L_{TAPON} \sigma} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{\ln(L_{TAPON}) - \ln(\overline{L_{TAPON}})}{\sigma} \right)^2 \right]$$

$$\Phi(L_{TAPON}) = \int_0^{X_i} \frac{1}{\sqrt{2\pi} L_{TAPON} \sigma} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{\ln(L_{TAPON}) - \ln(\overline{L_{TAPON}})}{\sigma} \right)^2 \right]$$

$$\ln(L_{TAPON}) = b + \ln(\overline{L_{TAPON}})$$

$$b = A_1 \sigma + A_0$$

$$A_X = C_{X3} \ln^3(N) + C_{X2} \ln^2(N) + C_{X1} \ln(N) + C_{X0}$$

$$C_{13} = +2.6258e-3$$

$$C_{12} = -6.3820e-2$$

$$C_{11} = +7.9699e-1$$

$$C_{10} = -2.5077e-1$$

$$C_{03} = -2.6012e-4$$

$$C_{02} = +4.1805e-3$$

$$C_{01} = -1.9894e-2$$

$$C_{00} = +2.8806e-2$$

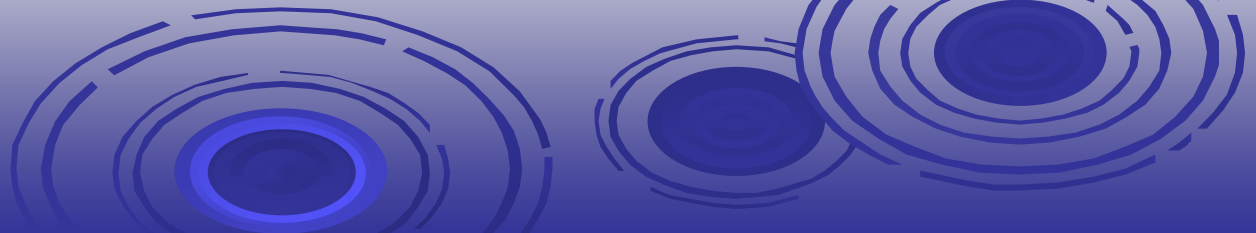
Objetivos

Metodología

Resultados

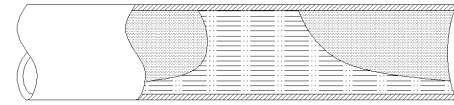
Conclusiones

Consideraciones  
Finales

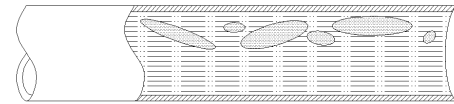


# Patrones de Flujo

## Intermitente: Patrones de Flujo Posibles

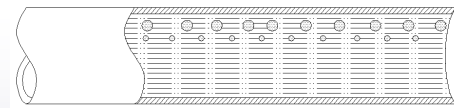


Tapón

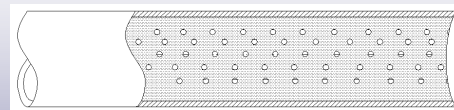


Perturbado

## Distribuido: Patrones de Flujo Posibles

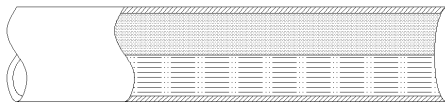


Burbuja

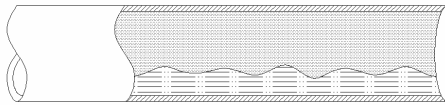


Rocío

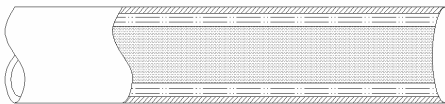
## Segregado: Patrones de Flujo Posibles



Estratificado



Ondulado



Anular

Objetivos

Metodología

Resultados

Conclusiones

Consideraciones  
Finales

