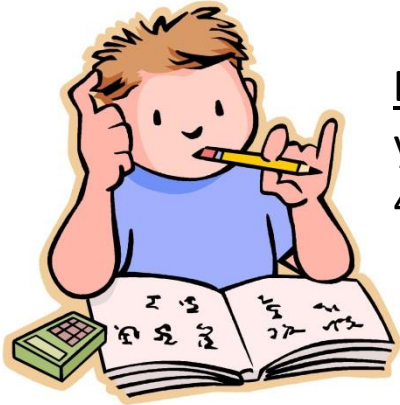


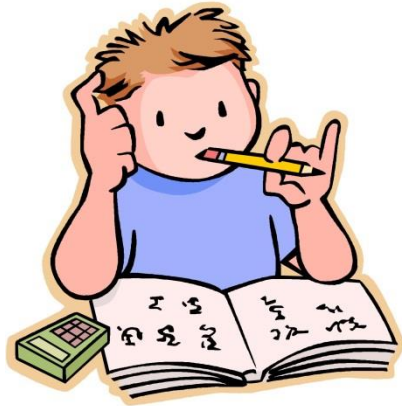
Métodos para Calcular la Viscosidad del Petróleo



Ejercicio: La viscosidad de un petróleo es 1.700 cp a 60 °F y de 180 cp a 200 °F. Estimar la viscosidad del mismo a 400 °F. (Resp. 25,878 Cp).

$$\ln \mu = \ln a + \frac{b}{T^*}$$

- (1) Sustituimos los dos valores de viscosidad y Temperaturas dadas (Sistema de dos ecuaciones).
- (2) Despejamos de cualquiera de las dos ecuaciones $\ln a$.
- (3) Encontrar el valor b . Resp. (5,504)
- (4) El valor de $\ln a$. Resp. (-3,1472)
- (5) Encontrar el valor de Viscosidad @ 400°F (860°R). Resp. (25,878 cp)



Ejercicio

Una roca contiene una saturación de 50% de petróleo y 50% de agua, la gravedad ρ_{API} del petróleo es 25 ° y la porosidad de la formación es de 25%. La viscosidad del petróleo a 300 °F es de 18.000 cp y a 400 °F la viscosidad es de 10.000 cp. Considerando que el yacimiento sea calentado a 300°F .

- Calcular la capacidad calorífica, la conductividad térmica, el calor específico y las densidades de los fluidos a dicha temperatura.
- Calcular la saturación residual de petróleo a una temperatura del reservorios de 300 °F y 450 °F.
- Suponer que la densidad de la roca, ρ_r , es igual a 165 lb/pie³, y el calor específico de la roca, c_r , es 0,23 BTU/lb-F.

Reflexione sobre los resultados obtenidos.

FORMULAS

Capacidad Calorífica

$$M = (1 - \phi) \rho_r C_r + \phi (S_o \rho_o C_o + S_w \rho_w C_w + S_g \rho_g C_g)$$

ϕ y Saturaciones en Fracción.

Calor específico del agua y del petróleo

$$C_w = 1,0504 - 6,05 \times 10^{-4} T + 1,79 \times 10^{-6} T^2$$

$$C_o = \frac{0,388 + 0,00045T}{\sqrt{\gamma_o}}$$

Densidad del petróleo

$$\rho_o = \frac{\rho_{osc}}{1 + \frac{T-68}{1885}}$$

$$\gamma_o = \frac{141.5}{^\circ API + 131.5}$$

Conductividad

$$K_h = \frac{6,36 e^{0,6[2,65(1-\phi)+S_i]}}{(0,556T + 255,3)^{0,55}}$$

$$K_h = \frac{26,31}{T^{0,55}} e^{0,6(\rho_r + S_w)}$$

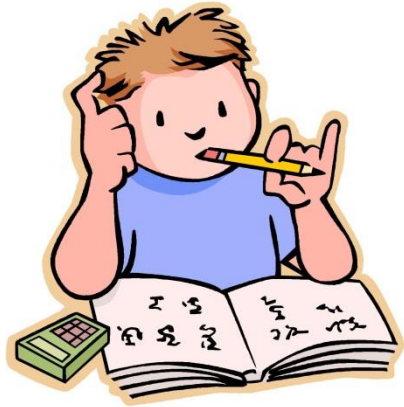
Densidad del agua

$$\rho_w = \frac{1}{0,01602 + 0,000023G}$$

Donde: $G = -6.6 + 0.0325T + 0,000657 \times T^2$

Saturación del Petróleo

$$S_{or_{st}} = \frac{1,0}{T} 54,0 + 0,01004787 \ln \mu_o - 0,14881$$



PROBLEMA

Se está inyectando vapor de 80% de calidad a una presión de 750 *lpca* en cierto yacimiento, a través de la tubería de revestimiento. Si la presión del vapor en el fondo del pozo es de 600 *lpca*. y las pérdidas se estiman en un 46% del calor inyectado.

- Calcular la calidad del vapor frente a la arena productora, suponiendo que las pérdidas de calor sean de un 16% y de un 46% del calor inyectado respectivamente.

Reflexione sobre los resultados obtenidos.

FORMULAS

Temperatura de Saturación

$$T_s = 115,1 P_s^{0,225}$$

Entalpía del agua

$$H_w = c_w (T_s - 32)$$

$$H_w = 91,0 P_s^{0,2574}$$

Entalpía del vapor húmedo

$$H_{ws} = H_w + X L_v$$

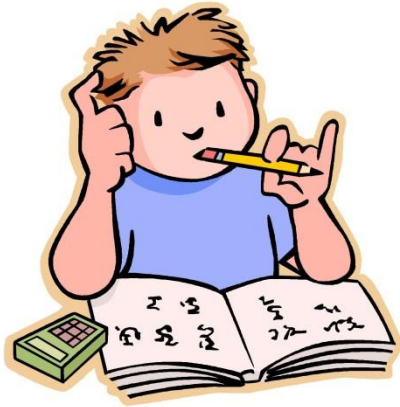
Entalpía del vapor seco y saturado

$$H_s = H_w + L_v$$

$$H_s = 1119 P_s^{0,01267}$$

Calor Latente

$$L_v = 1318 P_s^{-0,08774}$$



PROBLEMA

Vapor a $155,6 \text{ lpc}$ y calidad igual a 70% está siendo inyectado en una formación de 15 pies de espesor a una tasa de 1.000 B/D (equivalente de agua). Calcular el *volumen* de la zona de vapor utilizando el modelo de Marx y Langenheim y las *pérdidas acumuladas* de calor hacia las capas supra y subyacentes, al final de 1.460 días de inyección continua.

Otros datos son:

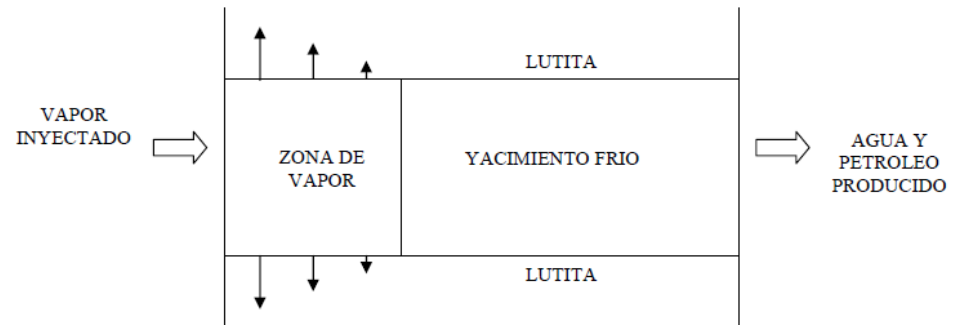
$$M_{ob} = 42 \frac{\text{BTU}}{\text{pie}^3 - ^\circ\text{F}}$$

$$M_s = 35 \frac{\text{BTU}}{\text{pie}^3 - ^\circ\text{F}}$$

$$K_{hob} = 1,2 \frac{\text{BTU}}{\text{h} - \text{pie} - ^\circ\text{F}}$$

$$T_R = 75 ^\circ\text{F}$$

$$c_w = 1 \frac{\text{BTU}}{\text{lb} - ^\circ\text{F}}$$



FORMULAS

Tasa de Inyección de calor (BTU/h:

$$Q = (350/24) i_{st} \{ (H_w - H_R) + X_{st} L_V \}$$

$$= (350/24) i_{st} \{ c_w (T_S - T_R) + X_{st} L_V \}$$

Ist= tasa de inyección del vapor en B/D
Xst= Calidad del vapor en fracción

Volumen de la zona de Vapor

Modelo de Marx y Langenheim

$$V_s = \frac{Q_i h_t^2 M_s F_1}{4K_{hob} M_{ob} (T_s - T_r)} \quad (t \leq t_c)$$

Modelo de Mandl y Volek

$$V_s = \frac{Q_i h_t^2 M_s F_3}{4K_{hob} M_{ob} (T_s - T_r)} \quad (t > t_c)$$

Tiempo adimensional

$$t_D = \frac{4K_{hob} M_{ob} t}{M_s^2 h_t^2}$$

tD (adimensional) **t**= horas

$$F_1 = \frac{t_D}{1 + 0,85\sqrt{t_D}}$$

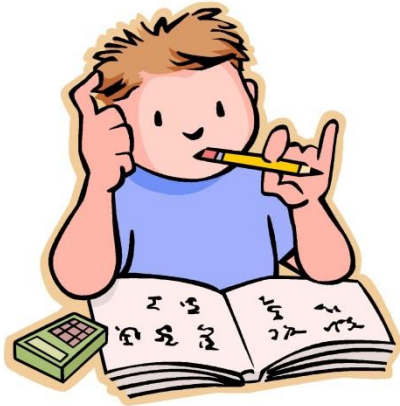
Pérdida de Calor hacia las formaciones adyacentes

$$Q_{ob} = 1 - E_s \rightarrow E_s = \frac{F_1}{t_D}$$

Es= Eficiencia térmica

Vs está en pie³ para transformar su valor en acre-pie se debe dividir el valor en 43560.





PROBLEMA

Vapor a 300 *lpca* y calidad igual a 70% está siendo inyectado en una formación de espesor h_t , pies, a una tasa de 600 B/D (equivalente de agua). Calcular el *volumen* de la zona de vapor utilizando el modelo de Marx & Langenheim a un tiempo t de inyección.

Otros datos son:

$$M_{ob} = 42 \frac{BTU}{pie^3 - ^\circ F}$$

$$T_R = 85 F$$

$$M_S = 35 \frac{BTU}{pie^3 - ^\circ F}$$

$$C_w = 1 \frac{BTU}{lb - ^\circ F}$$

$$K_{hob} = 1,2 \frac{BTU}{h - pie - ^\circ F}$$

| ESPESOR (pies) | TIEMPO (años) |
|-------------------|------------------|
| 25 | 2 |
| 25 | 4 |
| 25 | 6 |
| 10 | 6 |
| 20 | 6 |
| 50 | 6 |
| 100 | 6 |

Reflexione sobre los resultados obtenidos.

Modelo de Marx y Langenheim

$$V_s = \frac{Q_i h_t^2 M_s F_1}{4K_{hob} M_{ob} (T_s - T_r)}$$

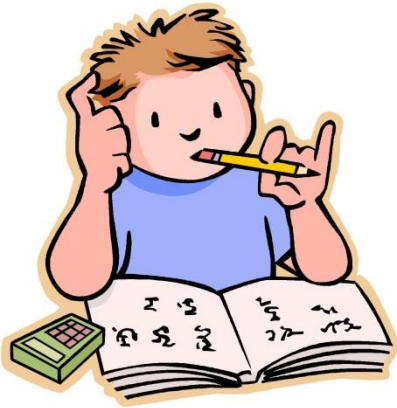
$$F_1 = \frac{t_D}{1 + 0,85\sqrt{t_D}}$$

Vs está en pie³ para transformar su valor en acre-pie se debe dividir el valor en 43560.

$$t_D = \frac{4K_{hob} M_{ob} t}{M_s^2 h_t^2}$$

Tasa de Inyección de calor (BTU/h:

$$\begin{aligned} Q &= (350/24) i_{st} \{ (H_w - H_R) + X_{st} L_V \} \\ &= (350/24) i_{st} \{ c_w (T_S - T_R) + X_{st} L_V \} \end{aligned}$$



PROBLEMA

Vapor a 300 lpc y calidad igual a 80% , está siendo inyectado en una formación de espesor total igual a 35 pies y porosidad de 28% , a una tasa de 400 B/D (equivalente de agua). La capacidad calorífica de la arena y de las capas supra y subyacentes es $33 \text{ BTU/ pie}^3 \text{ } ^\circ\text{F}$, la saturación inicial de petróleo es 65% , la saturación residual de petróleo es 20% , la conductividad térmica de las formaciones adyacentes es $0,7 \text{ BTU/ h- pie}^3 \text{ } ^\circ\text{F}$, la temperatura de la formación es de $85 \text{ } ^\circ\text{F}$ y el calor específico del agua es de $1,02 \text{ BTU /lb- } ^\circ\text{F}$

- Calcular el volumen de la zona de vapor, la recuperación total de petróleo, la tasa de producción de petróleo y la razón petróleo/vapor al final de 100 días y $4.197,5 \text{ días}$ luego de iniciada la inyección. $/\text{lb- } ^\circ\text{F}$.
- Considere que el espesor neto es igual al espesor total y el factor de captura es igual al 100% .

Reflexione sobre los resultados obtenidos.

Volumen de la zona de Vapor

Modelo de Marx y Langenheim

$$V_s = \frac{Q_i h_t^2 M_s F_1}{4K_{hob} M_{ob} (T_s - T_r)} \quad (t \leq t_c)$$

Modelo de Mandl y Volek

$$V_s = \frac{Q_i h_t^2 M_s F_3}{4K_{hob} M_{ob} (T_s - T_r)} \quad (t > t_c)$$

→ Grafica 5.5

Vs está en pie³ para transformar su valor en acre-pie se debe dividir el valor en 43560.

$$Sor_{st} = \frac{1,0}{T} 54,0 + 0,01004787 \ln \mu_o - 0,14881$$

tdc

$$B = \frac{X_{st} L_v}{Hw - Hr} = \frac{X_{st} L_v}{c_w (Ts - Tr)}$$

$$F2 = 1/1+B$$

Tiempo Critico

$$t_c = \frac{M_s^2 h_t^2 t_{Dc}}{4K_{hob} M_{ob}} \quad \text{Horas ---- días}$$

Tiempo Adimensional

$$t_D = \frac{4K_{hob} M_{ob} t}{M_s^2 h_t^2}$$

Horas ---- días

$$F_1 = \frac{t_D}{1 + 0,85 \sqrt{t_D}}$$

Cálculo de la Recuperación Acumulada de petróleo

$$N_P = \frac{\phi V_s (S_{oi} - S_{orst})}{5,615} E_C \left(\frac{h_n}{h_t} \right)$$

E_C : factor de captura (fracción de petróleo desplazado de la zona de vapor que se produce), *fracción*.

Cálculo de la tasa de producción de petróleo

$$q_o = \frac{24Q_i \phi (S_{oi} - S_{orst})}{5,615 M_s (T_s - T_R)} E_C \left(\frac{h_h}{h_t} \right) F_2$$

Tabla 5.1

Donde:

q_o : tasa de producción de petróleo, *B/D*

Q_i : tasa de inyección de calor, $\frac{BTU}{h}$

M_s : capacidad calorífica de la formación, $\frac{BTU}{pie^3 - F}$

T_s : temperatura de saturación del vapor, $^{\circ}F$

T_R : temperatura original de la formación, $^{\circ}F$

F_2 : función de Marx y Langenheim, ,

Cálculo de la relación petróleo / vapor

$$OSR = \frac{N_p}{i_{st} t}$$

Donde:

OSR : razón $\frac{\text{petróleo}}{\text{vapor}}$, fracción

i_{st} : tasa de inyección de vapor, B/D

t : tiempo de inyección, días

Tabla 5.1- Funciones F_1 Y F_2 de Marx y Langenheim

| t_D | F_1 | F_2 | t_D | F_1 | F_2 | t_D | F_1 | F_2 |
|--------|---------|---------|-------|---------|---------|-------|---------|---------|
| 0,0000 | 0,00000 | 1,00000 | 0,62 | 0,38198 | 0,49349 | 3,2 | 1,29847 | 0,27996 |
| 0,0002 | 0,00020 | 0,98424 | 0,64 | 0,39180 | 0,48910 | 3,3 | 1,32629 | 0,27649 |
| 0,0004 | 0,00039 | 0,97783 | 0,66 | 0,40154 | 0,48484 | 3,4 | 1,35377 | 0,27314 |
| 0,0006 | 0,00059 | 0,97295 | 0,68 | 0,41120 | 0,48071 | 3,5 | 1,38092 | 0,26992 |
| 0,0008 | 0,00028 | 0,96887 | 0,70 | 0,42077 | 0,47670 | 3,6 | 1,40775 | 0,26681 |
| 0,0010 | 0,00098 | 0,96529 | 0,72 | 0,43027 | 0,47281 | 3,7 | 1,43428 | 0,26380 |
| 0,0020 | 0,00193 | 0,95147 | 0,74 | 0,43969 | 0,46902 | 3,8 | 1,46052 | 0,26090 |
| 0,0040 | 0,00382 | 0,93245 | 0,76 | 0,44903 | 0,46533 | 3,9 | 1,48647 | 0,25810 |
| 0,0060 | 0,00567 | 0,91826 | 0,78 | 0,45830 | 0,46174 | 4,0 | 1,51214 | 0,25538 |
| 0,0080 | 0,00749 | 0,90657 | 0,80 | 0,46750 | 0,45825 | 4,1 | 1,53755 | 0,25275 |
| 0,0100 | 0,00930 | 0,89646 | 0,82 | 0,47663 | 0,45484 | 4,2 | 1,56270 | 0,25021 |
| 0,0020 | 0,01806 | 0,85848 | 0,84 | 0,48569 | 0,45152 | 4,3 | 1,58759 | 0,24774 |
| 0,0040 | 0,03470 | 0,80902 | 0,86 | 0,49469 | 0,44827 | 4,4 | 1,61225 | 0,24534 |
| 0,0060 | 0,05051 | 0,77412 | 0,88 | 0,50362 | 0,44511 | 4,5 | 1,63667 | 0,24301 |
| 0,0080 | 0,06571 | 0,74655 | 0,90 | 0,51250 | 0,44202 | 4,6 | 1,66086 | 0,24075 |
| 0,1000 | 0,08040 | 0,72358 | 0,92 | 0,52131 | 0,43900 | 4,7 | 1,68482 | 0,23856 |
| 0,1200 | 0,09467 | 0,70379 | 0,94 | 0,53006 | 0,43605 | 4,8 | 1,70857 | 0,23642 |
| 0,1400 | 0,10857 | 0,68637 | 0,96 | 0,53875 | 0,43317 | 4,9 | 1,73212 | 0,23434 |
| 0,1600 | 0,12214 | 0,67079 | 0,98 | 0,54738 | 0,43034 | 5,0 | 1,75545 | 0,23232 |
| 0,1800 | 0,13541 | 0,65668 | 1,00 | 0,55596 | 0,42758 | 5,2 | 1,80153 | 0,22843 |
| 0,2000 | 0,14841 | 0,64379 | 1,10 | 0,57717 | 0,42093 | 5,4 | 1,84686 | 0,22474 |
| 0,2200 | 0,16117 | 0,63191 | 1,20 | 0,63892 | 0,40285 | 5,6 | 1,89146 | 0,22123 |
| 0,2400 | 0,17370 | 0,62091 | 1,30 | 0,67866 | 0,39211 | 5,8 | 1,93538 | 0,21788 |
| 0,2600 | 0,18601 | 0,61065 | 1,40 | 0,71738 | 0,38226 | 6,0 | 1,97865 | 0,21470 |
| 0,2800 | 0,19813 | 0,60105 | 1,50 | 0,75514 | 0,37317 | 6,2 | 2,02129 | 0,21165 |
| 0,3000 | 0,21006 | 0,59202 | 1,60 | 0,79203 | 0,36473 | 6,4 | 2,06334 | 0,20875 |
| 0,3200 | 0,22181 | 0,58350 | 1,70 | 0,82811 | 0,35688 | 6,6 | 2,10482 | 0,20597 |
| 0,3400 | 0,23340 | 0,57545 | 1,80 | 0,86343 | 0,34955 | 6,8 | 2,14576 | 0,20330 |
| 0,3600 | 0,24483 | 0,56781 | 1,90 | 0,89803 | 0,34267 | 7,0 | 2,18617 | 0,20076 |
| 0,3800 | 0,25612 | 0,56054 | 2,00 | 0,93198 | 0,33621 | 7,2 | 2,22608 | 0,19832 |
| 0,4000 | 0,26726 | 0,55361 | 2,10 | 0,96529 | 0,33011 | 7,4 | 2,26550 | 0,19598 |
| 0,4200 | 0,27826 | 0,54699 | 2,20 | 0,99801 | 0,32435 | 7,6 | 2,30446 | 0,19374 |
| 0,4400 | 0,28914 | 0,54066 | 2,30 | 1,03017 | 0,31890 | 7,8 | 2,34298 | 0,19159 |
| 0,4600 | 0,29989 | 0,53459 | 2,40 | 1,06180 | 0,31372 | 8,0 | 2,38106 | 0,18952 |
| 0,4800 | 0,31052 | 0,52876 | 2,50 | 1,09292 | 0,30880 | 8,2 | 2,41873 | 0,18755 |
| 0,5000 | 0,32104 | 0,52316 | 2,60 | 1,12356 | 0,30411 | 8,4 | 2,45600 | 0,18565 |
| 0,5200 | 0,33145 | 0,51776 | 2,70 | 1,15375 | 0,29963 | 8,6 | 2,49289 | 0,18383 |
| 0,5400 | 0,34175 | 0,51257 | 2,80 | 1,18349 | 0,29535 | 8,8 | 2,52940 | 0,18208 |
| 0,5600 | 0,35195 | 0,50755 | 2,90 | 1,21282 | 0,29126 | 9,0 | 2,56555 | 0,18041 |
| 0,5800 | 0,36206 | 0,50271 | 3,00 | 1,24175 | 0,28734 | 9,2 | 2,60135 | 0,17881 |
| 0,6000 | 0,37206 | 0,49802 | 3,10 | 1,27029 | 0,28358 | 9,4 | 2,63682 | 0,17727 |

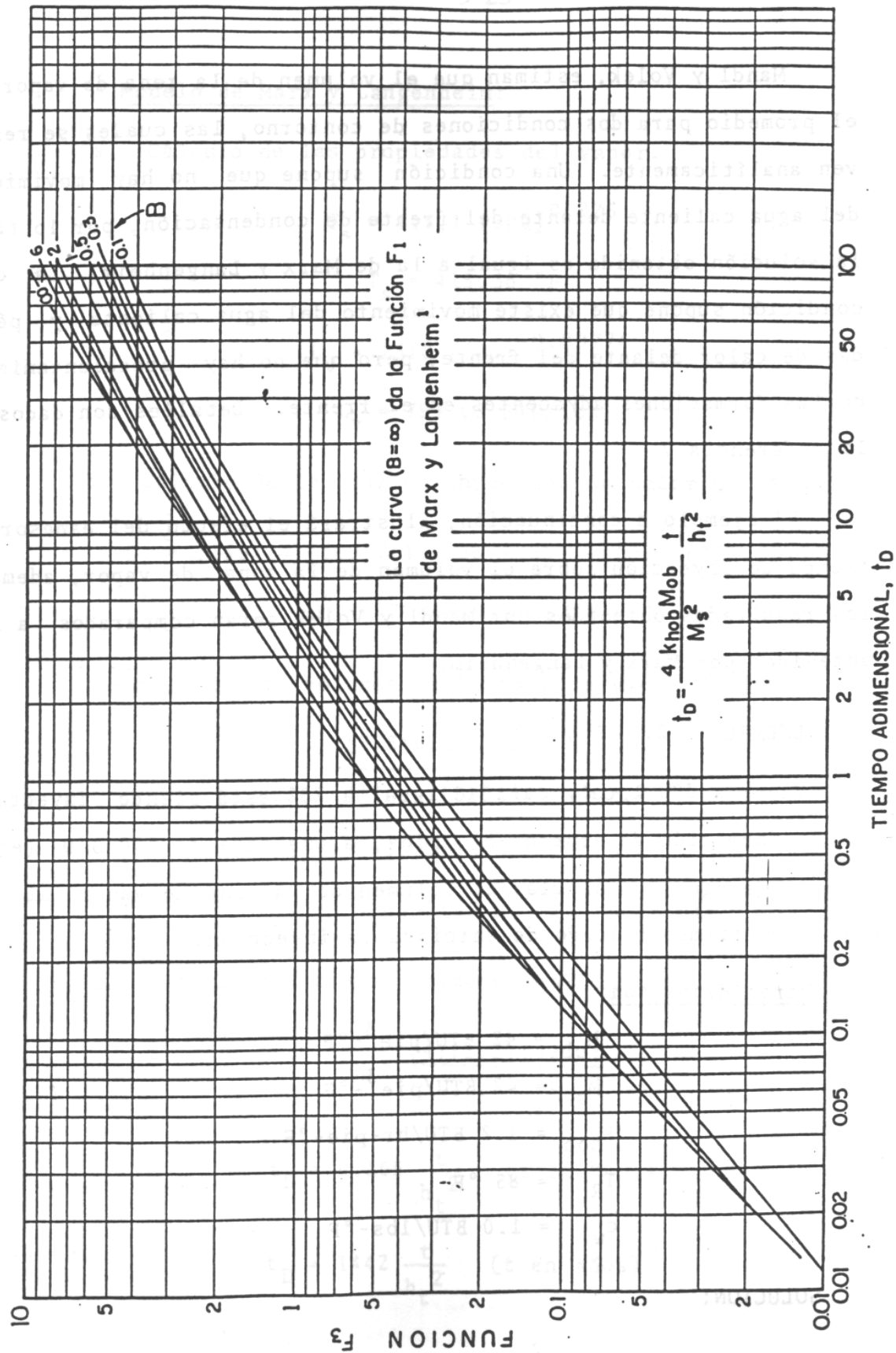


Fig. 5.5.- Función F_3 de Mandl y Volek?