

RECUPERACION TERMICA DE PETROLEO MEDIANTE INYECCION DE VAPOR. ESTIMACION DE PERDIDAS DE CALOR.

Ing. M.M. Recchia

Introducción

En la mayoría de los yacimientos de petróleo pesado se hace prácticamente imposible la recuperación por métodos primarios, debido a la elevada viscosidad que presenta el hidrocarburo a temperatura de formación.

En esos casos se recomienda el uso de métodos de recuperación térmica de petróleo. Uno de los cuales es el de inyección de vapor.

Este método se está aplicando en nuestro país en el yacimiento Llanquanelo (Departamento Malargüe, Mendoza), donde el petróleo posee una densidad de 13°API (a 15,6°C) y una viscosidad de aproximadamente 4.000 cp (a 50°C).

Se dan dos alternativas en lo que respecta a la implementación de este método; una es realizar una inyección continua, donde existe un pozo inyector y otro/s productores. En la mayoría de los casos se aplica cuando la presión del yacimiento ha disminuído. Cuando el yacimiento no ha sido explotado en forma intensiva se aplica la inyección cíclica de vapor, en cuyo caso un mismo pozo es alternativamente inyector y productor.

Básicamente la recuperación mediante el uso del método de inyección cíclica de vapor consta de dos etapas: la primera es la inyección propiamente dicha, cuya duración es función de las características de la formación y del volumen de vapor a inyectar. La segunda etapa es de producción, que utiliza la misma disposición de cañerías que la usada durante la etapa anterior. Su duración depende de la bondad del pozo y del límite económico impuesto como caudal diario de producción.

Características de la Inyección

El fluido inyectado es vapor húmedo con un título que oscila entre el 50 y el 80%, la presión de inyección está regida por las características de la formación (especialmente en lo que respecta a su capacidad de admitir fluidos). En general el rango de presiones está entre 1.000 y 2.500 PSI.

La temperatura queda fijada por la presión.

Objetivos del Presente Trabajo

El método térmico consiste, mediante el uso de un agente intermediario, en elevar la temperatura de la formación productiva en las cercanías del pozo. Se consigue de esta forma disminuir la viscosidad del petróleo haciendo factible su extracción.

Esquemáticamente un diseño básico para inyección de vapor constaría de la siguiente secuencia: tanque de agua blanda, generador de vapor, válvula reguladora de presión, línea de conducción de vapor, armadura de boca de pozo (para inyección) y cañería de inyección (Figura 1 - a).

Por lo dicho es de suma importancia disminuir las pérdidas de calor que pudiesen existir desde el generador hasta la formación productiva.

Existen dos secciones propicias para las pérdidas de calor: línea de conducción entre el generador de vapor y boca de pozo y la otra es la cañería de inyección desde boca de pozo hasta el techo de la formación productiva.

Dado que la línea de conducción se encuentra revestida con lana mineral y es de corta longitud, centralizaremos el estudio en la evaluación de las pérdidas de calor correspondientes a la cañería de inyección.

Evaluación de la Pérdida de Calor desde Boca de Pozo hasta el Tope de la Formación Productiva

Antes de comenzar el análisis se debe hacer una consideración importante: la temperatura del vapor permanece constante a lo largo de toda la cañería de inyección. Esta consideración puede justificarse por el hecho de que el vapor, en esta sección del circuito, solo transfiere calor latente, es decir a presión y temperatura constantes. La posible variación de presión / puede desprejarse ya que si se tiene en cuenta una caída por pérdidas de carga, que aumenta con la profundidad; también debe tenerse en cuenta un incremento por presión hidrostática que aumenta con la profundidad. Ambos efectos no tienen importancia relevante cuando el fluido es vapor y puede suponerse que se contrarrestan.

De acuerdo con esto se asume que el gradiente de presión y el de temperatura con la profundidad son nulos dentro de la cañería.

Como lo muestra la Figura 1 - b existen distintos medios que debe atravesar el flujo de calor para llegar desde el seno de vapor hasta la formación. Cada uno de estos medios presenta una resistencia acorde con su mecanismo particular de transferencia de calor.

Análisis de las Distintas Resistencias

a. Resistencia que opone la película líquida adherida a la pared interior de la cañería de inyección como consecuencia de la condensación del vapor que por ella circula. El mecanismo de transferencia es el de convección natural:

$$q = h_s \cdot A \cdot (T_s - T_o) = \frac{T_s - T_o}{R_s}$$

Donde:

- q = flujo de calor (BTU/h)
- A = área interior de la cañería (ft²)
- T_S = temperatura del vapor (°F)
- T_O = Temperatura de la cara interna de la cañería (°F)
- h_S = coeficiente de transferencia de calor por convección.

El valor de este coeficiente es elevado, aproximadamente 1.500 (BTU/h x ft² x °F) lo que implica una resistencia R_S muy pequeña, es decir que T_O es prácticamente igual a T_S.

- b. Resistencia debida al espesor del caño de inyección. El mecanismo de / transferencia es el de conducción pura.

$$q = \frac{k_{ac} \cdot 2\pi \cdot L \cdot (T_o - T_1)}{\ln d_o/d_i} = \frac{T_s - T_1}{R_{ac}}$$

Donde:

- k_{ac} = conductividad térmica de acero (BTU/h x ft x °F)
- L = longitud de la cañería de inyección (ft).
- T₁ = temperatura de la cara externa de la cañería (°F).
- d_i; d_o = diámetros interno y externo de la cañería (ft).

- c. Resistencia debida al fluido que actúa como aislante térmico en la entrecolumna: cañería de inyección - cañería de entubación. Fluido: petróleo deshidratado: densidad (60°F) = 13 °API, viscosidad (120 °F) = 4.000 cp.

En este caso se plantea una dualidad en lo que respecta al mecanismo de transferencia de calor. Como el aislante es un líquido no se puede hablar de conducción pura, pero tampoco es aconsejable emplear el concepto de convección natural ya que se trata de un fluido de elevada viscosidad aún a las temperaturas de trabajo (lo que limita su posible movimiento a régimen laminar). Además el espesor de esta capa aislante es despreciable frente a su longitud (por ejemplo 1.000 m.) lo que indicaría que se pueden considerar despreciables las corrientes convectivas.

Por lo dicho se asume como mecanismo de transferencia al de conducción:

$$q = \frac{k_p \cdot 2\pi L \cdot (T_1 - T_2)}{\ln D_i/d_o} = \frac{T_1 - T_2}{R_p}$$

Donde:

- k_p = conductividad térmica del petróleo a la temperatura de trabajo (BTU/h x ft x °F).
- T₂ = temperatura de la cara interna de la cañería de entubación (°F).
- D_i = diámetro interior de la cañería de entubación (ft).

- d. Resistencia debida al espesor de la pared de la cañería de entubación. El mecanismo de transferencia es el de conducción pura:

$$q = \frac{k_{ac} \cdot 2\pi L \cdot (T_2 - T_3)}{\ln D_o/D_i} = \frac{T_2 - T_3}{R_{ac}}$$

D_o = diámetro exterior de la cañería de entubación (ft)

T_3 = temperatura de la cara externa de la cañería de entubación ($^{\circ}F$).

- e. Resistencia debida al fluido que se encuentra ocupando el espacio entre la cañería de entubación y el cemento. Esta sería una resistencia de contacto. La existencia de este espacio queda confirmada por el hecho de que durante la inyección esta cañería se dilata y se produce un desplazamiento vertical respecto al cemento.

Esta resistencia es muy difícil de evaluar dado que no se conoce con certeza de qué fluido se trata y tampoco qué longitud neta posee el espacio antes mencionado.

Dadas estas limitaciones y como estamos frente a un problema de aislación, esta resistencia no será tenida en cuenta, lo que implica que la resistencia total que estimaremos será menor que la real.

- f. Resistencia debida al espesor del anillo de cemento. En estos pozos de recuperación térmica, donde la cañería de entubación sufre dilataciones, el anillo de cemento llega hasta superficie con el objeto de evitar deformaciones transversales de la cañería.

Se considerará el caso ideal de espesor constante de este anillo a lo largo de toda su longitud.

El mecanismo de transferencia es el de conducción pura.

$$q = \frac{k_c \cdot 2\pi L \cdot (T_3 - T_c)}{\ln D_c/D_o} = \frac{T_3 - T_c}{R_c}$$

Donde:

k_c = conductividad térmica del cemento (BTU/h x ft x $^{\circ}F$)

D_c = diámetro exterior del anillo de cemento tomado igual al diámetro del trépano utilizado para perforar.

No se considerará la resistencia adicional correspondiente a la cañería guía y de superficie con sus respectivos anillos de cemento, dado que las longitudes de las mismas son pequeñas comparadas con la de la cañería de entubación y varían de pozo a pozo.

Datos

En los distintos medios que atraviesa el flujo de calor, la temperatura varía en forma radial (de acuerdo al espesor) y en forma longitudinal (de

acuerdo a la profundidad), esto implica una falta de constancia en los valores de la conductividad térmica y del coeficiente de transferencia, lo que a su vez tornaría el cálculo muy engorroso. Por lo tanto asumiremos temperatura constante en cada medio y se trabajará con los valores correspondientes a las mismas.

1. Película de condensado

$$h_s = 1.500 \text{ (BTU/h . ft}^2 \text{ . } ^\circ\text{F)}$$

2. Espesor de los tubos

$$k_{ac} = 26 \text{ (BTU/h ft } ^\circ\text{F) cuando } T = 32 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$k_{ac} = 26 \text{ (BTU/h ft } ^\circ\text{F) cuando } T = 212 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$k_{ac} = 21 \text{ (BTU/h ft } ^\circ\text{F) cuando } T = 1.112 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Adoptaremos $k_{ac} = 24 \text{ (BTU/h . ft . } ^\circ\text{F)}$ ya que la temperatura de inyección oscila alrededor de los 600 °F.

3. Espesor del aislante. k_p es función de la temperatura y la densidad. Si adoptamos como temperatura del petróleo durante la inyección 350 °F y si se supone variación lineal de la densidad con la temperatura, le corresponderá 28 °API y una conductividad térmica:

$$k_p = 0.069 \text{ (BTU/h . ft . } ^\circ\text{F)}$$

4. Anillo de cemento

$$k_c = 0.17 \text{ (BTU/h . ft . } ^\circ\text{F) a } 195 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Diámetros:

Cañería de inyección : $d_i = 3''$ $d_o = 3,5''$

Cañería de entubación: $D_i = 8,681''$ $D_o = 9,625''$

Anillo de cemento: $D_c = 12,5''$

Cálculo

Como estamos frente a un problema de pérdidas de calor a través de una pared cilíndrica compuesta, se puede decir que alcanzado el regimen estable, el flujo de calor que atraviesa los distintos medios es el mismo. Este regimen estable se alcanza cuando la temperatura correspondiente a cada uno de los infinitos planos verticales paralelos se mantiene constante en el tiempo, hecho que en nuestro caso, y como se verá más adelante, se puede asumir.

Teniendo en cuenta las resistencias analizadas se puede escribir:

$$q = \frac{T_s - T_c}{\sum R} = \frac{T_s - T_o}{R_s} = \frac{T_o - T_1}{R_{ac}} = \frac{T_1 - T_2}{R_p} = \frac{T_2 - T_3}{R_{ac}} = \frac{T_3 - T_c}{R_c}$$

$$R = R_s + R_{ac} + R_p + R_{ac} + R_c$$

Dando valores obtendremos:

$$R_s = \frac{1}{h_s \cdot \pi \cdot d_i \cdot L} = 0.00085 \frac{1}{L}$$

$$R_{ac} = \frac{\ln d_o/d_i}{2\pi L \cdot k_{ac}} = 0.00102 \frac{1}{L}$$

$$R_p = \frac{\ln D_i/d_o}{2\pi L \cdot k_p} = 2.09524 \frac{1}{L}$$

$$R_{ac} = \frac{\ln D_o/D_i}{2\pi L \cdot k_{ac}} = 0.00068 \frac{1}{L}$$

$$R_c = \frac{\ln D_o/D_c}{2\pi L \cdot k_c} = 0.24469 \frac{1}{L}$$

$$R = 2,34248 \frac{1}{L} \left(\text{°F} / \frac{\text{BTU}}{h} \right)$$

Si no se consideran las resistencias debidas al espesor de la película de condensado y de las paredes de los tubos, la resistencia total queda:

$R = 2,33993 \frac{1}{L}$ vemos que la diferencia es del orden de las milésimas, por lo tanto despreciamos estas tres resistencias, pudiendo escribir:

$$q = \frac{T_s - T_c}{R} = \frac{T_s - T_c}{R_p + R_c} = \frac{L}{2,34} (T_s - T_c)$$

ó

$$\frac{q}{L} = \frac{(T_s - T_c)}{2,34} \left(\frac{\text{BTU}}{h \cdot \text{ft}} \right)$$

En esta expresión la incógnita, para poder encontrar el valor de q/L , es la temperatura de la cara externa del anillo de cemento T_c ya que T_s se puede medir en boca de pozo.

Si bien T_c no se puede medir directamente, es posible conocerla debido al hecho de que todo el calor que atravesase el anillo de cemento debe ser transmitido y difundido a través de la formación circundante. Esta transmisión está regida por la temperatura que posea la formación alrededor del pozo. A su vez dicha temperatura depende, de acuerdo al gradiente geotérmico, de la profundidad a la cual hagamos la evaluación y del tiempo transcurrido desde el inicio de la inyección hasta el momento en que se quieran conocer las pérdidas de calor.

La transmisión de calor en la formación está dada por la siguiente expresión:

$$\frac{q}{L} = \frac{4\pi \cdot k_F \cdot (T_c - T_F)}{\ln \frac{16\alpha t}{D_c^2} - 0.5772} \quad (\text{BTU/h} \cdot \text{ft})$$

Vemos que el flujo de calor por unidad de longitud es función de la profundidad (de acuerdo con T_F) y del logaritmo del tiempo.

k_F = conductividad térmica de la formación (BTU/h . ft . °F)

T_F = temperatura de la formación a la profundidad en estudio (°F) antes de comenzar la inyección

α = difusividad térmica de la formación (ft²/h).

t = tiempo de inyección (h), medido desde el inicio de la misma hasta el momento de la evaluación.

Tanto k_F como α dependen de las características de la formación: porosidad, permeabilidad, saturación de agua, etc. Desde boca de pozo hasta la formación productiva se atraviesan distintos terrenos, cada uno con características particulares, por lo tanto los valores k_F y α varían de uno a otro. Con el objeto de simplificar el estudio se pueden adoptar como valores de k_F y α aquellos que resulten de realizar un promedio ponderado, es decir estamos asemejando una secuencia de terrenos distintos a uno único que posea características promedios.

Para el caso del yacimiento Llançanelo se puede adoptar:

$$k_F = 1,40 \text{ (BTU/h} \cdot \text{°F} \cdot \text{ft)}$$

$$\alpha = 0,0417 \text{ (ft}^2\text{/h)}$$

Basándonos en la existencia de régimen estable podemos escribir:

$$\frac{1}{2,34} (T_s - T_c) = \frac{4\pi \cdot k_F \cdot (T_c - T_F)}{\ln \frac{16\alpha t}{D_c^2} - 0,5772}$$

$$\text{Llamando } B = \ln \frac{16\alpha t}{D_c^2} - 0,5772$$

Despejando T_c :

$$T_c = \frac{\frac{B}{2,34} T_s + 4\pi \cdot k_F \cdot T_F}{4\pi k_F + B/2,34}$$

Trabajando con esta expresión y dando valores se llega a:

$$T_c = \frac{(\ln t - 1,063) T_s + 41,17 T_F}{\ln t + 40,107}$$

Esta expresión nos permite graficar la variación de q/L y T_c en función de t para distintas condiciones de inyección y temperatura inicial de formación (Figura 2). También se grafica q/L en función de T_F para condiciones y tiempos de inyección variables (Figura 3). En ella se observa que el flujo de calor disminuye al aumentar la profundidad y además todas las rectas q/L vs. T_F tienen la misma pendiente:

$$- \frac{2}{5} \frac{(\text{BTU/h ft})}{^\circ\text{F}}$$

Estas gráficas son útiles para conocer el flujo de calor a una profundidad dada y determinar las temperaturas de las cañerías, petróleo, cemento que le corresponden. Pero nuestro objetivo es determinar cuánto calor se ha perdido desde superficie hasta esa profundidad.

Para conocer la pérdida total a una profundidad L se debería hacer la sumatoria de las pérdidas desde $L = 0$ (superficie) hasta $L = L$, o sea:

$$\sum q/L_i = \frac{1}{2,34} \sum (T_s - T_{c_i})$$

Observando la Figura 3 donde están representadas T_s y T_c vs. profundidad (para $t = \text{cte}$), se ve que no se comete error significativo si en lugar de hacer la sumatoria se calcula $q/L_i = 1/2,34 (T_s - T'_c)$; donde T'_c es el promedio aritmético entre la temperatura del cemento a una profundidad de referencia (que puede ser superficie) y la correspondiente a una profundidad L en estudio:

$$T'_c = \frac{T_c + T_{c_0}}{2}$$

Tanto T_c como T_{c_0} se calculan utilizando la expresión vista anteriormente que da T_c en función de T_F , T_s y t , fijando T_F que será la correspondiente para cada profundidad.

Si se considera $L = 0$ para calcular T_{c_0} se puede adoptar como T_{F_0} un promedio anual de temperatura ambiente para el área en cuestión.

Nuestra intención es lograr un gráfico simple que nos permita conocer las pérdidas totales de calor a cada profundidad. Para poder hacerlo se deberá conocer T'_c para cada temperatura y tiempo de inyección además de la profundidad en estudio.

Una forma de graficar es hacer q/L vs. P_s (Correspondiente a T_s) con el tiempo de inyección en isolíneas, manteniendo una profundidad y por lo tanto una T_F constante (T_{FR} : temperatura de formación de referencia), con esta T_{FR} se calculará T_{cR} y con ella T'_{cR} , pudiendo así calcular y graficar la expresión:

$$q/L = (q/L)_R = \frac{1}{2,34} (T_s - T'_{cR})$$

Esta expresión nos da la pérdida total a una profundidad de referencia única. Para hacerla extensible a cualquier profundidad utilizamos la relación constante anteriormente encontrada que nos dice que existe una variación de 2 BTU/h x ft por cada 5 °F de variación de la temperatura inicial de formación. Podemos construir un gráfico auxiliar ΔQ vs. $(T_F - T_{FR})$, donde T_F es la temperatura de la formación a la profundidad en estudio, T_{FR} es la de referencia y ΔQ es la corrección que se le debe sumar a $(q/L)_R$ por el hecho de que T_F no es igual a T_{FR} . De esta forma se obtiene un gráfico apto para cualquier T_S , tiempo y T_F .

Adoptando:

$$T_{F_0} = 50 \text{ °F (10 °C)}$$

$$T_{FR} = 100 \text{ °F (38 °C)} \quad \text{Figura 5.}$$

$$T_{c_0} = \frac{(\ln t - 1,063) T_S + 41,17 T_{F_0}}{\ln t + 40,107}$$

$$T_{c_R} = \frac{(\ln t - 1,063) T_S + 41,17 T_{FR}}{\ln t + 40,107}$$

$$T'_{c_R} = \frac{T_{c_0} + T_{c_R}}{2} = \frac{(\ln t - 1,063) T_S + 41,17}{\ln t + 40,107} \cdot \frac{(T_{FR} + T_{F_0})}{2}$$

$$\text{Luego: } (q/L)_R = \frac{1}{2,34} (T_S - T'_{c_R})$$

Conociendo: $(T_F - T_{FR})$ se obtiene ΔQ :

$$q/L = (q/L)_R + \Delta Q$$

y multiplicando por la profundidad a la cual corresponde T_F se obtienen las pérdidas totales de calor expresadas en BTU/h.

EJEMPLO:

Datos:

- Presión de inyección: 1.500 PSI_a.
- Tiempo transcurrido desde el inicio de la inyección: 15 días.
- Profundidad del techo de la formación productiva: L = 1.000 m. = 3.281 ft.
- Temperatura inicial de la formación a esa profundidad: $T_F = 49 \text{ °C} = 120 \text{ °F}$.

Entrando con $P_S = 1.500 \text{ PSI}_a$ y $t = 15$ días en el gráfico de la Figura 5 se obtiene:

$$(q/L)_R = 200 \text{ (BTU/h ft).}$$

Con ayuda del gráfico auxiliar se determina ΔQ entrando con la diferencia $(T_F - T_{FR}) = 120 - 100 = 20 \text{ °F}$.

$$\Delta Q = - 8 \text{ (BTU/h x ft)}$$

$$q/L = (q/L)_R + \Delta Q = 200 + (-8) = 192 \text{ (BTU/h x ft)}$$

$$q = (q/L) \times L = 192 \times 3.281 = 629.952 \text{ (BTU/h).}$$

Cálculo del Título del Vapor a una Profundidad Determinada

Generalmente es de interés conocer el título del vapor a la profundidad del techo de la formación productiva cuando se ha perdido una cantidad de calor q . Este título se puede obtener de la siguiente expresión:

$$X_F = X_i - \frac{q}{m_v \cdot \lambda} X_i$$

Donde:

X_F = título del vapor a una profundidad determinada (%)

X_i = título del vapor medido en superficie.

q = calor total perdido desde superficie hasta la profundidad donde quiere obtener X_F (BTU/h).

m_v = masa de la fase vapor correspondiente a la mezcla (vapor-líquido) inyectada (lb/h).

λ = calor latente de condensación a las condiciones de presión y temperatura de inyección (BTU/lb).

$\frac{q}{m_v \cdot \lambda}$ = representa la fracción de X_i que se condensará como consecuencia de la pérdida de calor q .

Esta pérdida de calor q se puede expresar como una fracción del calor total inyectado:

$$Q_i \text{ (BTU/h):}$$

$$q = y \cdot Q_i$$

Además $m_v = X_i \times m_t$, donde:

m_t = masa total inyectada.

Q_i se puede calcular de la siguiente manera:

$$Q_i = m_v H_v + m_a H_a$$

$$Q_i = [X_i H_v + (1 - X_i) H_a] m_t$$

$$Q_i = [X_i (H_v - H_a) + H_a] m_t$$

Donde:

m_a = masa de la fase líquida (lb/h).

H_v = entalpía de la fase vapor (BTU/lb).

H_a = entalpía de la fase líquida (BTU/lb), ambas a las condiciones de inyección.

Teniendo en cuenta que $\lambda = H_v - H_a$, X_F nos quedará:

$$X_F = X_i - \frac{y m_t (X_i \lambda + H_a)}{m_t}$$
$$X_F = X_i - y \frac{(X_i \lambda + H_a)}{\lambda}$$

Como es de esperar X_F está en función de las características de la inyección: X_i , presión y temperatura (ya que λ y H_a dependen de ellas) y del calor perdido desde superficie hasta la profundidad de interés (representado por la fracción y).

Interesa representar X_F como función de y manteniendo constantes las características de inyección.

Como la representación de X_F vs. y es una recta, de pendiente negativa $(X_i \lambda + H_a) / \lambda$, basta encontrar dos puntos de la misma:

Ordenada al origen: cuando $y = 0\%$; $X_{F0} = X_i$

Absisa al origen: cuando $X_F = 0$; $y_0 = \frac{X_i \cdot \lambda}{X_i \lambda + H_a} \%$

Vemos que para cada $X_{F0} = X_i$ se pueden obtener tantos y_0 como se deseen dependientes de la presión de inyección. Figura 6.

EJEMPLO:

Haciendo uso del ejemplo dado para el cálculo de las pérdidas totales de calor y suponiendo:

- Título de vapor a la salida del generador = $X_i = 60\%$
- Caudal de inyección = 1.000 Bbl/día = 110 l/min.
- Calor inyectado medido en superficie: $Q_i = 12,5$ MMBTU

$$y = \frac{q}{Q_i} \times 100 = \frac{0,629952}{12,5} \times 100 = 5\%$$

Entrando al gráfico de la Figura 6 con $y = 5\%$ se levanta una vertical hasta interceptar la recta correspondiente a $P_g = 1.500$ PSI_a de la familia de rectas que tienen como ordenada al origen $X_i = 60\%$.

La ordenada que le corresponde al punto de intersección será X_F , para nuestro ejemplo:

$$X_F = 52\%$$

Si X_i fuera igual a 55% (no graficada) se averigua X_f para $X_i = 60\%$ y para $X_i = 50\%$ y luego se interpola en forma lineal.

En el gráfico se observa que para una misma calidad de vapor en superficie X_i y el mismo porcentaje de pérdidas, la calidad o título del vapor en el fondo disminuye al aumentar la presión de inyección. Esto se debe a que el calor latente disminuye con el aumento de presión; por lo tanto para una pérdida de calor dada la masa de vapor que habrá de condensarse será mayor a medida que también lo sea la presión.

Limitaciones

Las limitaciones del presente trabajo están dadas por las distintas suposiciones que se debieron hacer durante su desarrollo. Estas suposiciones son fuentes de error pero su importancia es comparable con la de los errores cometidos en las mediciones de superficie y en la evaluación de las características de la formación.

Los gráficos presentados pueden ser útiles para realizar una estimación aceptable de las pérdidas de calor durante la inyección de vapor, pero solo son válidos para la zona de LLancanelo o cualquier otra cuyo subsuelo pueda asemejarse.

En el caso que esto no sea posible se deben obtener otros gráficos similares basados en los parámetros correspondientes.

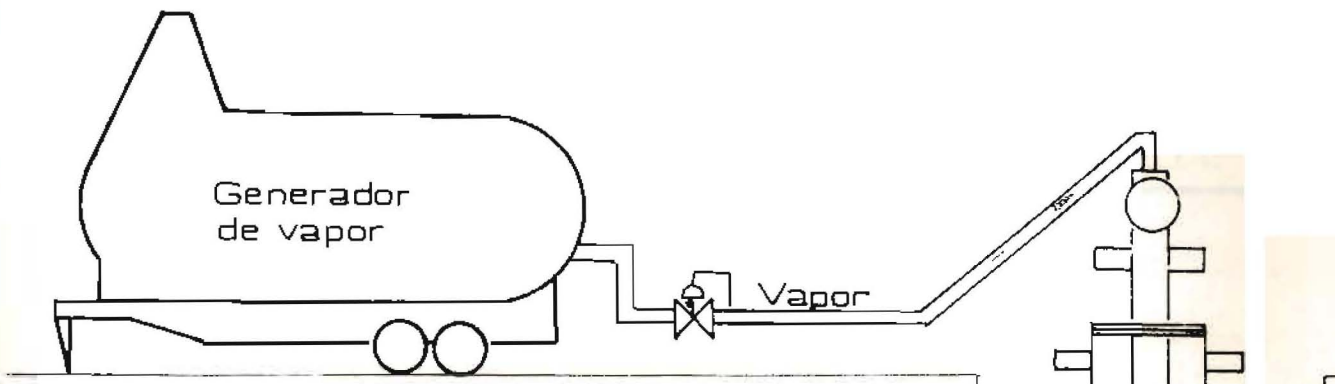


FIG. 1.a

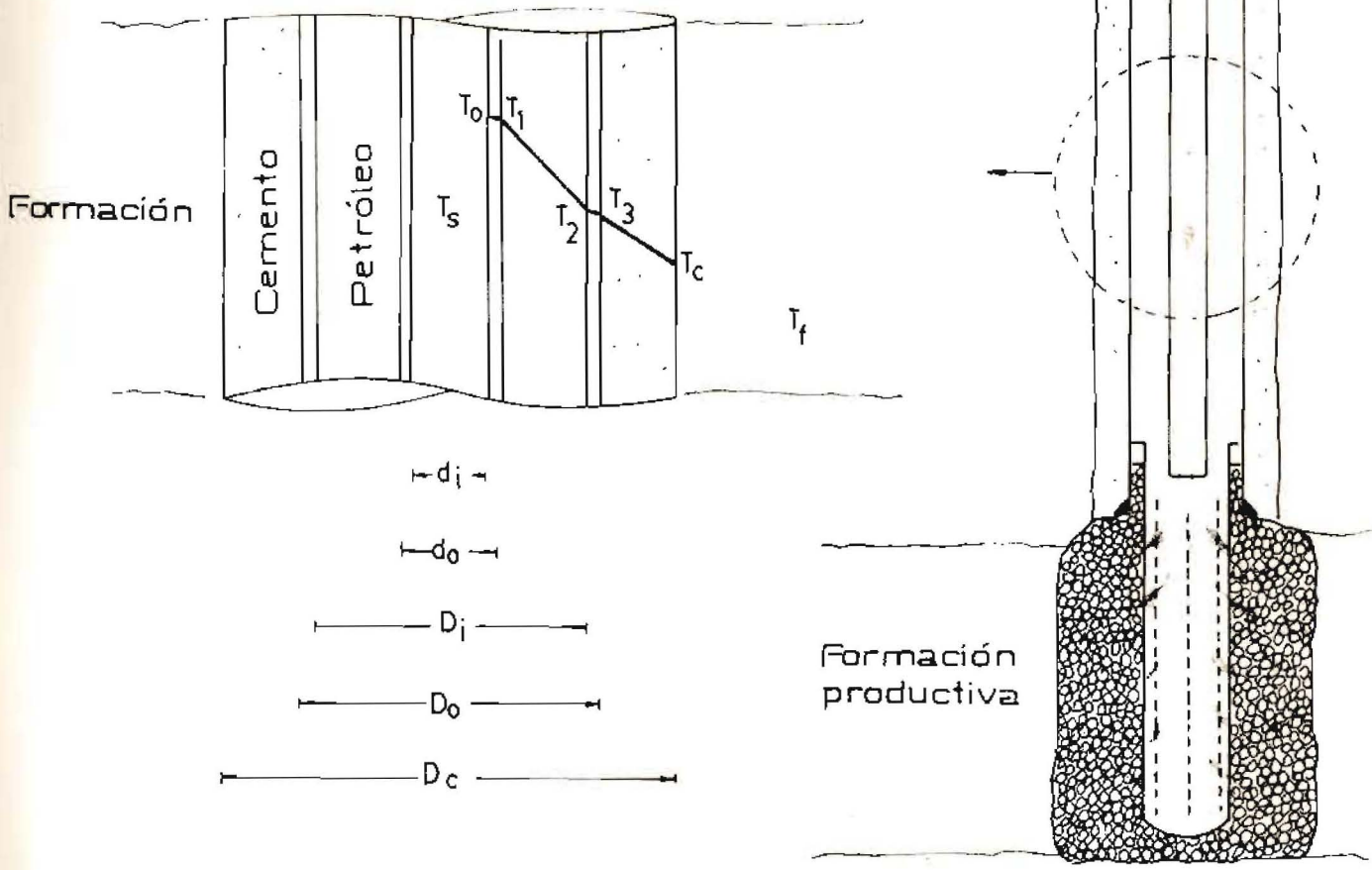


FIG. 1.b

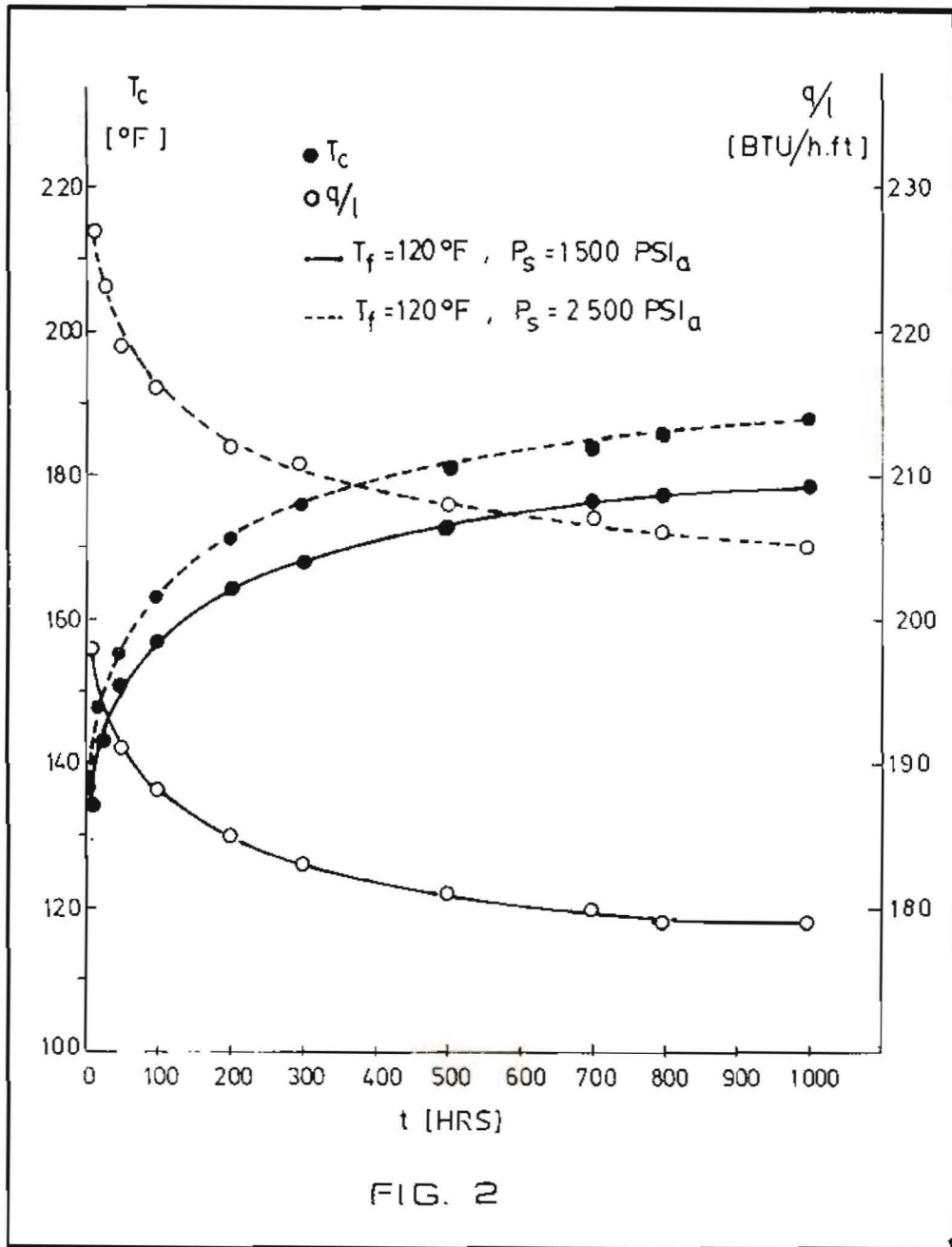
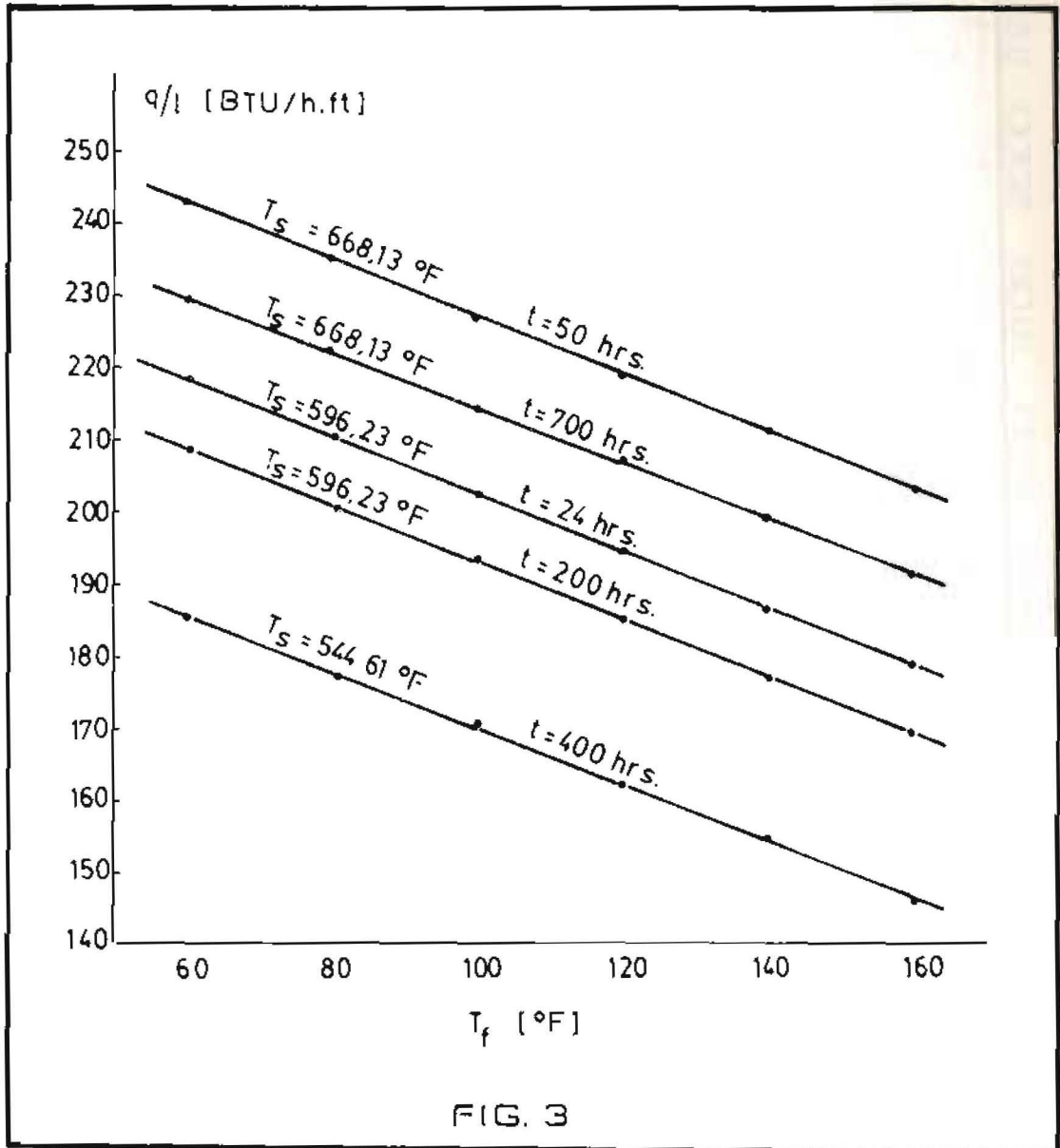
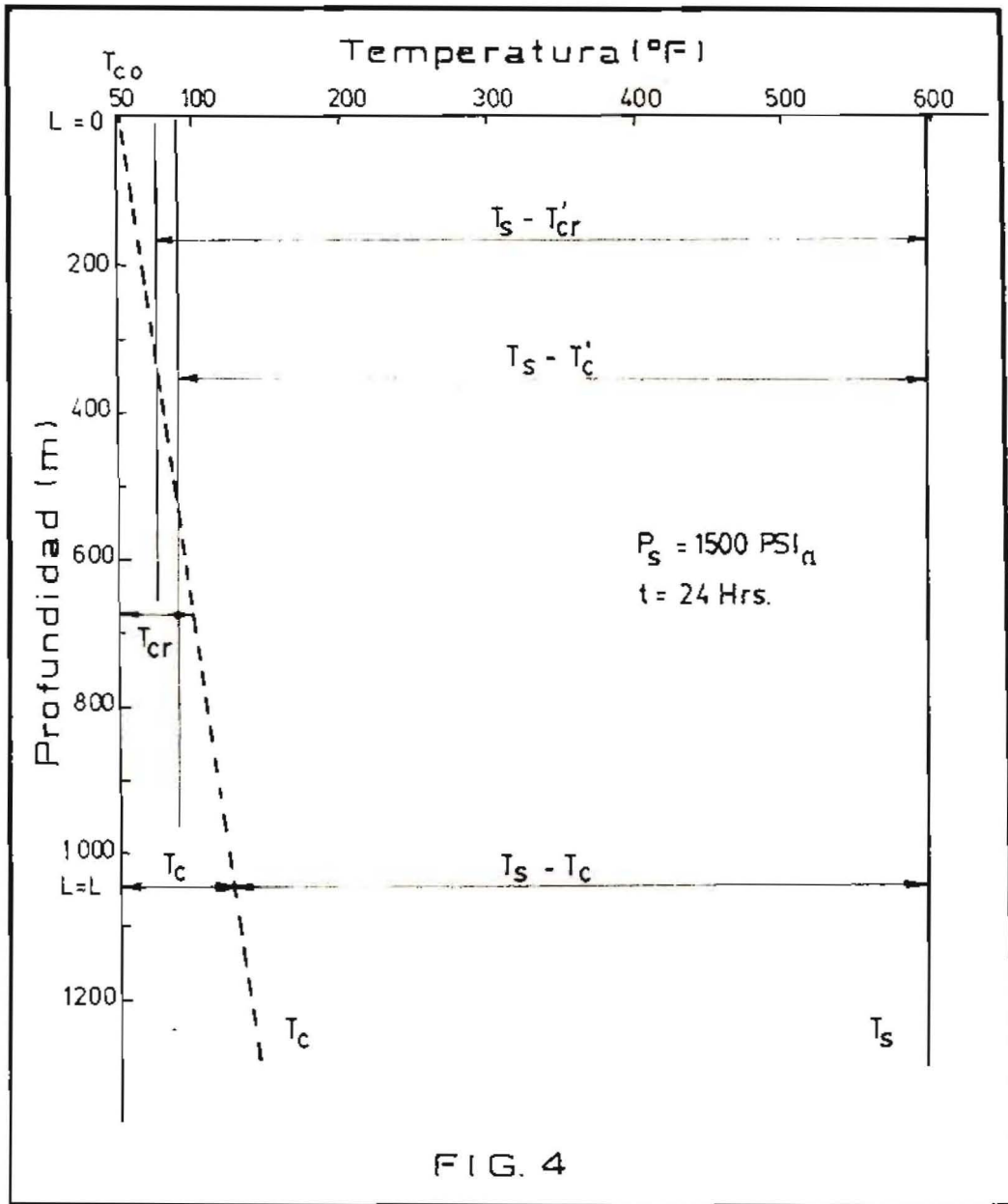


FIG. 2





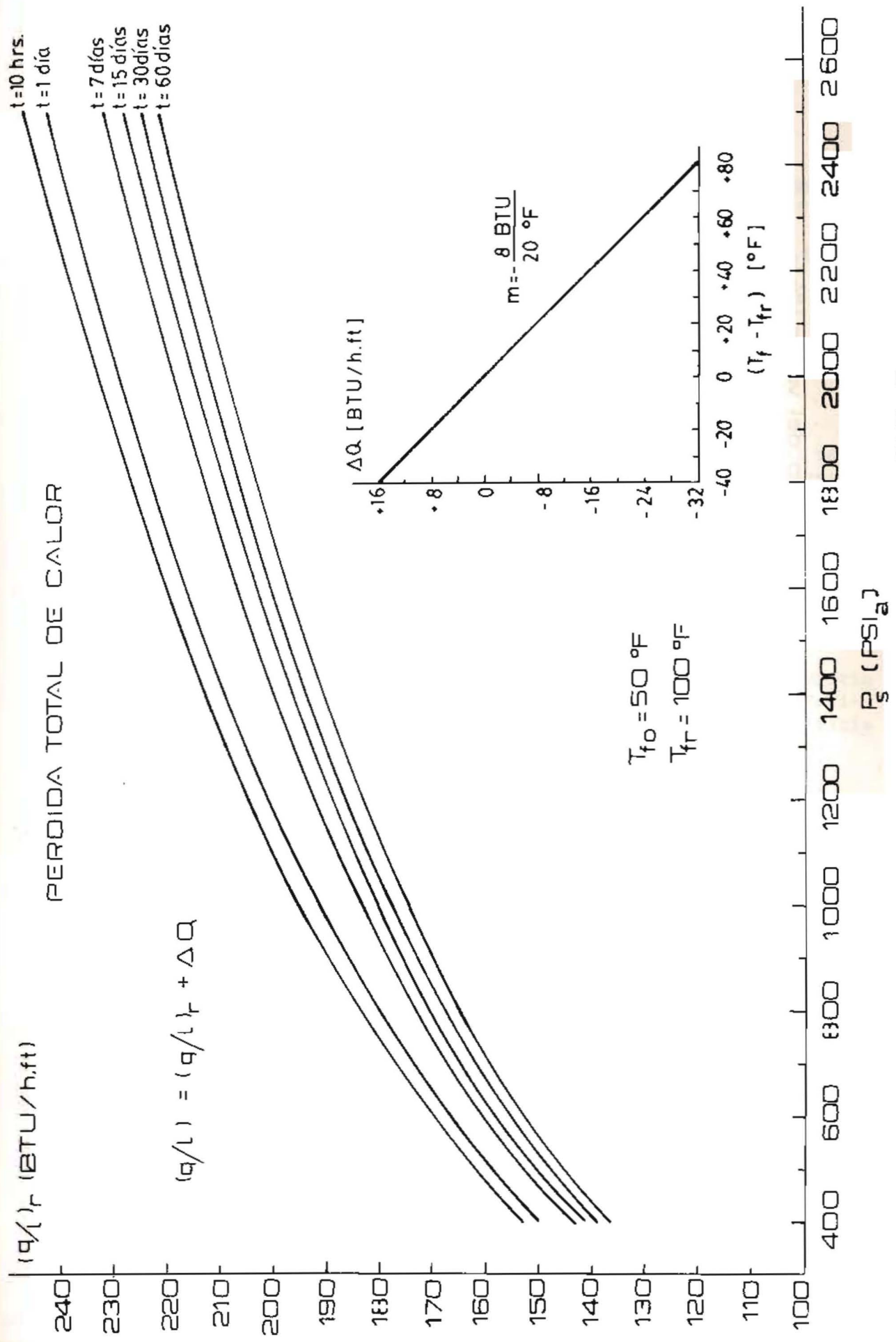


FIG. 5

TITULO DEL VAPOR
vs.
PERDIDAS DE CALOR

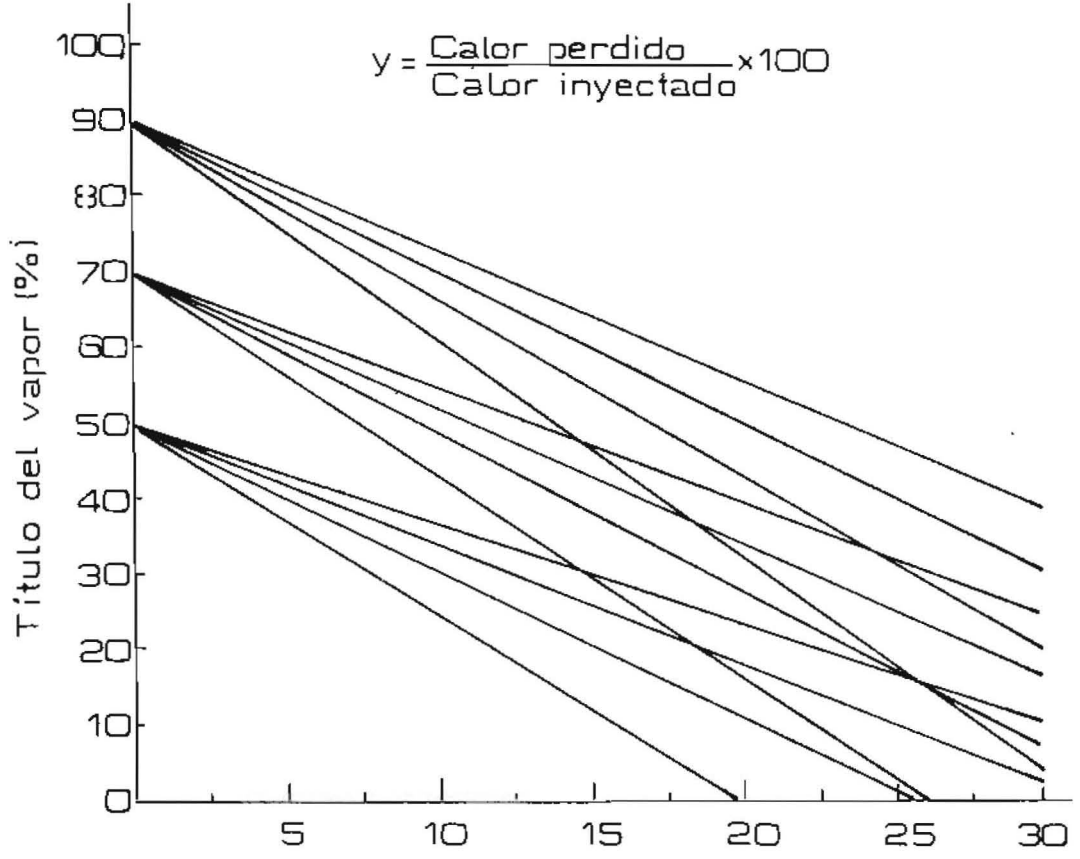
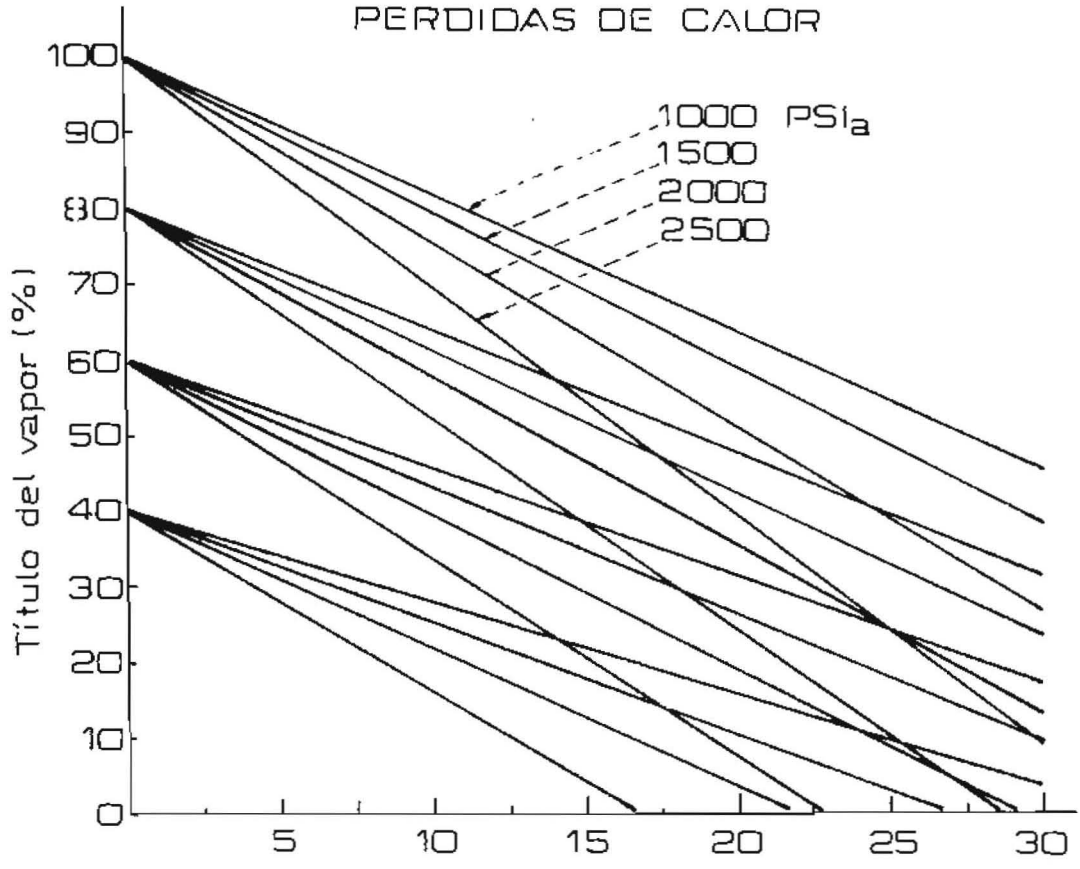


FIG. 6