

01174



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA

“APLICACIONES Y LIMITACIONES DE LA FUNCIÓN CAÍDA DE PRESIÓN NORMALIZADA $\Delta p/q$ ”

T E S I S

PARA OBTENER EL GRADO DE:
**MAESTRO EN
INGENIERÍA PETROLERA**

PRESENTA:
FERNANDO OLIVERA ZAVALETA

DIRECTOR DE TESIS
DR. HEBER CINCO LEY

México, D.F. 2004





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

CONTENIDO

	Pág.
CAPÍTULO I. GENERALIDADES	
I.1 Introducción	1
I.2 Normalización	1
I.3 Convolución	2
I.4 Deconvolución	4
I.5 Función Influencia	5
I.6 Objetivos	5
CAPÍTULO II. REVISIÓN Y ANÁLISIS DE TRABAJOS PRÉVIOS	
II.1 Concepto del Índice de Productividad Recíproco $\Delta p/q$	6
II.1.1 Definición	
II.2 Verificación del concepto $\Delta p/q$ en pruebas de incremento y decremento de presión	6
II.3 Verificación del concepto $\Delta p/q$ en pruebas de incremento de Presión	7
II.4 Verificación del concepto $\Delta p/q$ por Winestock y Colpitts	10
CAPÍTULO III. ANÁLISIS DE LA APROXIMACIÓN $\Delta p/q$	
III.1. Respuesta de presión para gasto variable	12
III.2. Modelo de caída de Presión Normalizada con declinación lineal del gasto	14
III.3. Respuesta de presión con declinación lineal del gasto	15
III.4. Modelo de caída de Presión Normalizada con declinación cuadrática del gasto	19
III.5. Respuesta de presión con declinación cuadrática del gasto	20
III.6. Datos de historias de producción de campos productores de aceite	21
III.7. Modelo de caída de Presión Normalizada con declinación cuadrática del gasto en variables Reales	24
III.8. Datos de presión y gastos de pozos productores de aceite	26

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Fernando Olivera Zavaleta

FECHA: 11-Feb-04

FIRMA: Olivera
p.a. Teresa Rodríguez B.
Rodríguez B.

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

IV.1. Resultados de $\Delta p/q$ con declinación lineal del gasto	36
IV.2. Resultados del análisis de los datos de campo	40
IV.3. Resultados de $\Delta p/q$ con declinación cuadrática del gasto	47
IV.4. Resultados del análisis estadístico de los datos de historias de producción	52
IV.5. Resultados del modelo de caída de Presión Normalizada con declinación cuadrática del Gasto en variables reales	52

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES

NOMENCLATURA

REFERENCIAS

APÉNDICE A: GEOMETRÍA DE FLUJO RADIAL E INTEGRACIÓN DE $\Delta p/q$

APÉNDICE B: GEOMETRÍA DE FLUJO LINEAL E INTEGRACIÓN DE $\Delta p/q$

APÉNDICE C: GEOMETRÍA DE FLUJO ESFÉRICO E INTEGRACIÓN DE $\Delta p/q$

APÉNDICE D: GEOMETRÍA DE FLUJO BILINEAL E INTEGRACIÓN DE $\Delta p/q$

APÉNDICE E: GEOMETRÍA DE FLUJO PSEUDOESTACIONARIO E INTEGRACIÓN DE $\Delta p/q$

APÉNDICE F: DATOS

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

Puesto que en las pruebas de incremento y decremento de presión tomadas en los pozos existe una variación en el gasto, se requiere estimar la respuesta de presión a un gasto (caudal) constante, unitario ó base y así, realizar un análisis confiable que permita determinar la naturaleza del flujo en el yacimiento y los parámetros del mismo.

Existen tres métodos para lograr éste proceso: Normalización, Convulación y Deconvolución.

A continuación se describen éstas metodologías.

1.2 NORMALIZACIÓN

Para pruebas de decremento en la que se tiene la dificultad de mantener una razón de producción constante se realiza una estimación de la respuesta de presión correspondiente a un gasto (caudal) constante. El método que se utiliza cuando las variaciones del gasto $q(t)$ son suaves, es el de "Normalización" utilizando la relación de Gladfelter¹ que involucra a la caída de presión $\Delta p_{wf}(t)$ y al gasto $q(t)$, así como un gasto q_{base} :

$$\Delta p_1(t) \approx \frac{\Delta p_{wf}(t)}{q(t)} \quad (1)$$

Este resulta ser un método aproximado.

$$\Delta p_{qbase}(t) \approx \frac{\Delta p_{wf}(t)}{q(t)} \times q_{base} \quad (2)$$

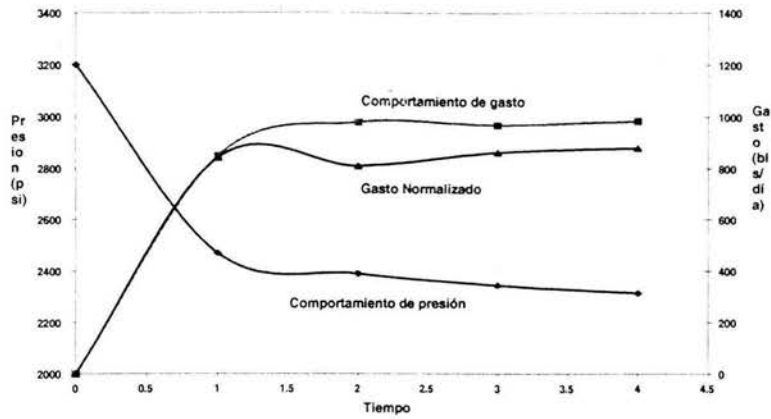


Figura i.2.1 gráfica de la normalización

1.3 CONVOLUCIÓN

Para el caso en que no hay variaciones suaves del gasto $q(t)$ recurrimos al método de la Convolución para superponer los efectos de cambios del gasto. Este método requiere un modelo de flujo, ya sea lineal, radial, bilineal ó esférico.

Si el modelo de flujo es radial, al caso en que el gasto $q(t)$ es variable, la ecuación de respuesta de presión por estimar es:

$$\Delta p(t) = \sum_{i=1}^n (q_i - q_{i-1}) \Delta p_1(t - t_i) \quad (3)$$

Así, para cualquier t se estimará la respuesta de presión, donde n , es el número de gastos (cambios) y es tal este número, n que:

$$t_n < t < t_{n+1} \quad (4)$$

Puesto que el flujo es radial:

$$\Delta p_1(t) = \frac{162.6B\mu}{kh} \left[\log t + \log \frac{k}{\phi\mu c_r r_w^2} - 3.2275 + 0.87S \right] \quad (5)$$

Por lo que sustituyendo (5) en (3) se obtiene:

$$\Delta p(t) = m_1 \sum_{i=1}^n (q_i - q_{i-1}) \log(t - t_i) + m_1 q_n \left\{ \log \frac{k}{\phi \mu c_i r_w^2} - 3.2275 + 0.87S \right\} \quad (6)$$

Dividiendo (6) entre q_n :

$$\frac{\Delta p(t)}{q_n} = m_1 \sum_{i=1}^n \frac{(q_i - q_{i-1})}{q_n} \log(t - t_i) + m_1 \left\{ \log \frac{k}{\phi \mu c_i r_w^2} - 3.2275 + 0.87S \right\} \quad (7)$$

La cual es de la forma: $y(t) = m x + b$

$$\frac{\Delta p(t)}{q_n} = m_1 \sum_{i=1}^n \frac{(q_i - q_{i-1})}{q_n} \log(t - t_i) + b \quad (8)$$

Análogamente para el flujo lineal:

$$\Delta p_1(t) = \frac{16.25B\mu}{A(k\phi\mu c_i)^{\frac{1}{2}}} (t)^{\frac{1}{2}} \quad (9)$$

$$\frac{\Delta p_{wt}(t)}{q_n} = \frac{16.25B\mu}{A(k\phi\mu c_i)^{\frac{1}{2}}} \sum_{i=1}^n \frac{(q_i - q_{i-1})}{q_n} (t - t_i)^{\frac{1}{2}} + \Delta p_{1,daño} \quad (10)$$

1.4 DECONVOLUCIÓN

La Deconvolución es también la estimación de la respuesta de presión correspondiente a gasto constante (unitario ó base), pero sin suponer un modelo de flujo.

Kuchuc² & Ayestarán utilizando la técnica de Hamming estiman la $\Delta p_1(t)$ así:

$$\Delta p_{wf}(t_n) = \sum_{i=1}^n \int_{t_{i-1}}^{t_i} q'(t_n - \tau) \Delta p_1(\tau) d\tau = \sum_{i=1}^n \Delta p_1 \left(t_{i-\frac{1}{2}} \right) \int_{t_{i-1}}^{t_i} q'(t_n - \tau) d\tau \quad (11)$$

$$\int_{t_{i-1}}^{t_i} q'(t_n - \tau) d\tau = \int_{t_n-t_i}^{t_n-t_{i-1}} q'(\tau') d\tau' \quad (12)$$

$$\Delta p_{wf}(t_n) = \sum_{i=1}^n \Delta p_1 \left(t_{i-\frac{1}{2}} \right) [q(t_n - t_{i-1}) - q(t_n - t_i)] \quad (13)$$

$$\text{si } n = 1, \quad \Delta p_{wf}(t_1) = \Delta p_1 \left(t_{\frac{1}{2}} \right) q(t_1)$$

$$\Delta p_1 \left(t_{\frac{1}{2}} \right) = \frac{\Delta p_{wf}(t_1)}{q(t_1)} \quad (14)$$

$$\text{si } n > 1 \quad \Delta p_1 \left(t_{n-\frac{1}{2}} \right) = \frac{\Delta p_{wf}(t_n) \sum_{i=1}^{n-1} \Delta p_1 \left(t_{i-\frac{1}{2}} \right) [q(t_n - t_{i-1}) - q(t_n - t_i)]}{q(t_1)} \quad (15)$$

$$\Delta p_{wf} \quad \text{vs} \quad t \quad \rightarrow \quad \Delta p_1 \quad \text{vs} \quad t$$

1.5 FUNCIÓN INFLUENCIA

Las características de la función influencia son:

$$\text{FUNCION INFLUENCIA} \left\{ \begin{array}{l} \Delta p_1 \geq 0 \\ \Delta p_1' > 0 \\ \Delta p_1'' < 0 \end{array} \right\} \text{ para todo modelo} \quad (16)$$

1.6 OBJETIVOS

El objetivo principal del presente estudio consiste en investigar las limitaciones en la aplicación de la función caída de presión normalizada $\Delta p/q$.

CAPÍTULO II

REVISION Y ANALISIS DE TRABAJOS PREVIOS

II.1 CONCEPTO DEL ÍNDICE DE PRODUCTIVIDAD RECÍPROCO

II.1.1 DEFINICIÓN

Este índice de productividad recíproco es la conceptualización de la pérdida de la presión por cada barril producido.

II.2 VERIFICACIÓN DEL CONCEPTO $\Delta p/q$ EN PRUEBAS DE INCREMENTO Y DECREMENTO DE PRESIÓN

En 1955, Gladfelter-Tracy-Wilsey¹ utilizaron un método para corregir el efecto del almacenamiento en pruebas de incremento y decremento de presión. Gladfelter-Tracy-Wilsey¹ realizaron un análisis del incremento de presión para un pozo el cual ha estado produciendo a una gasto constante q para un tiempo t_{po} , cerrando el pozo de tal manera que el gasto decremó constantemente desde un gasto q a través de gastos q_{sf} en tiempos de cierre t_D hasta que el gasto q_{sf} fue cero.. Estos autores no consideraron el efecto de descargado anular durante el estado de decremento inicial. El resultado de su análisis fue una serie que quedo simplificada así:

$$(p_i - p_w) \left(\frac{q}{q - q_{sf}} \right) = \frac{m}{2.303} \left[\ln \frac{0.00634 kt_D}{\phi \mu c_t r_w^2} + 0.80907 + 2s \right] \quad (II.1)$$

donde

$$m = \frac{162.6 q \mu B}{kh}$$

Gladfelter-Tracy-Wilsey¹ establecieron que la estimación de respuesta de presión anterior puede usarse para corregir datos de incremento de presión por almacenamiento y producir valores de la pendiente del incremento m ,

dentro de un 1% del valor del tiempo más largo alcanzado cuando el efecto del almacenamiento no fue muy importante.

II.3 VERIFICACIÓN DEL CONCEPTO $\Delta p/q$ EN RESPUESTAS DE PRESIÓN TRANSITORIA RADIAL CON EFECTOS DE ALMACENAMIENTO Y DAÑO.

En 1976 Henry J. Ramey³, Jr., verificó el concepto de Gladfelter-Tracy-Wilsey¹⁰, para una geometría de flujo radial transitorio, con almacenamiento y daño.

Ramey³ primero obtuvo la respuesta de presión para un pozo produciendo a razón constante con efecto de almacenamiento y daño $p_{wd}(S, C_D, t_D)$; es decir se obtuvo la solución siguiente: (II.2)

$$L\{p_{wd}\} = \frac{K_o(\sqrt{p}) + s\sqrt{p}K_1(\sqrt{p})}{p[\sqrt{p}K_1(\sqrt{p}) + Cp\{K_o(\sqrt{p}) + s\sqrt{p}K_1(\sqrt{p})\}]}$$

Donde p es la variable s , de Laplace, s es el daño y C es el almacenamiento. Esta solución fue traída al tiempo real con el invertidor numérico de Stehfest (1970) obteniéndose la siguiente gráfica:

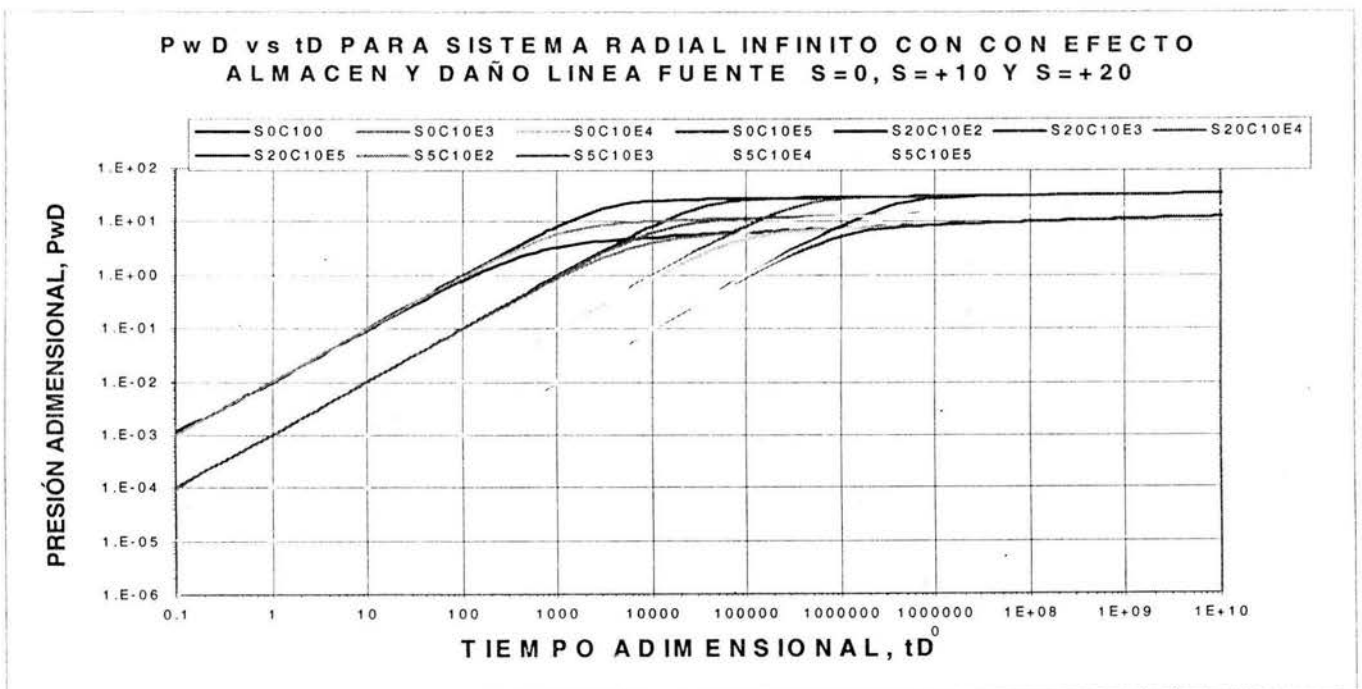


Figura II.1 presión contra tiempo adimensional con daños y almacenamientos

Inmediatamente Ramey³ resolvió la ecuación que representa el gasto de formación q_{sf} , como función del tiempo y con las mismas condiciones de frontera y su relación con el gasto q constante en la superficie:

$$\frac{q_{sf}}{q_s} = 1 - C_D \frac{dp_{wD}}{dt_D} \quad (II.3)$$

Obtuvo la siguiente solución :

$$\frac{q_{sf}}{q_s} = \frac{\sqrt{s} K_1(\sqrt{s})}{S \{ C_D S K_o(\sqrt{s}) + \sqrt{s} [C_D S + 1] K_1(\sqrt{s}) \}} \quad (II.4)$$

Cuya representación por el convertidor numérico de Stehfest (1970) es:

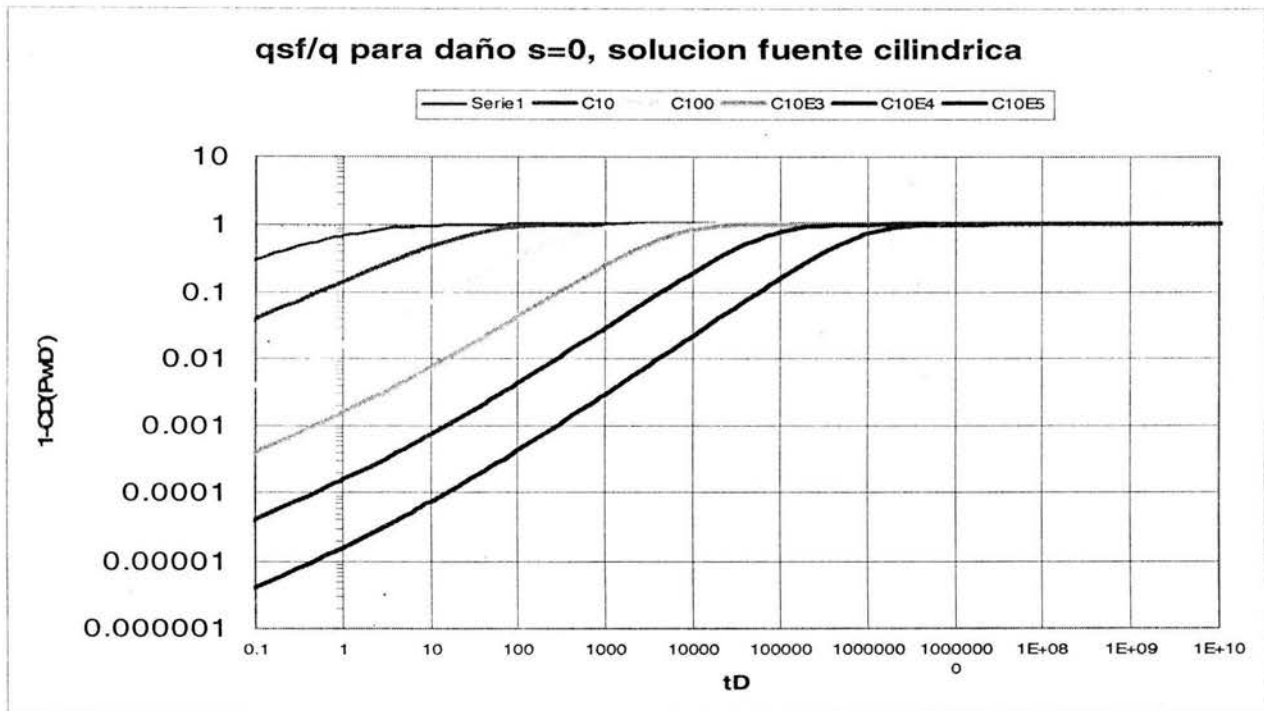


Figura II.2 relación de q_{sf} y q contra el tiempo t_d , con igual almacenamiento y daño.

Finalmente Ramey³ verificó que el cociente, $p_{wD}/(q_{SF}/q)$ incrementando el valor del almacenamiento corregía al valor de la respuesta de presión para flujo radial con daño $s=0$ y sin almacenamiento así:

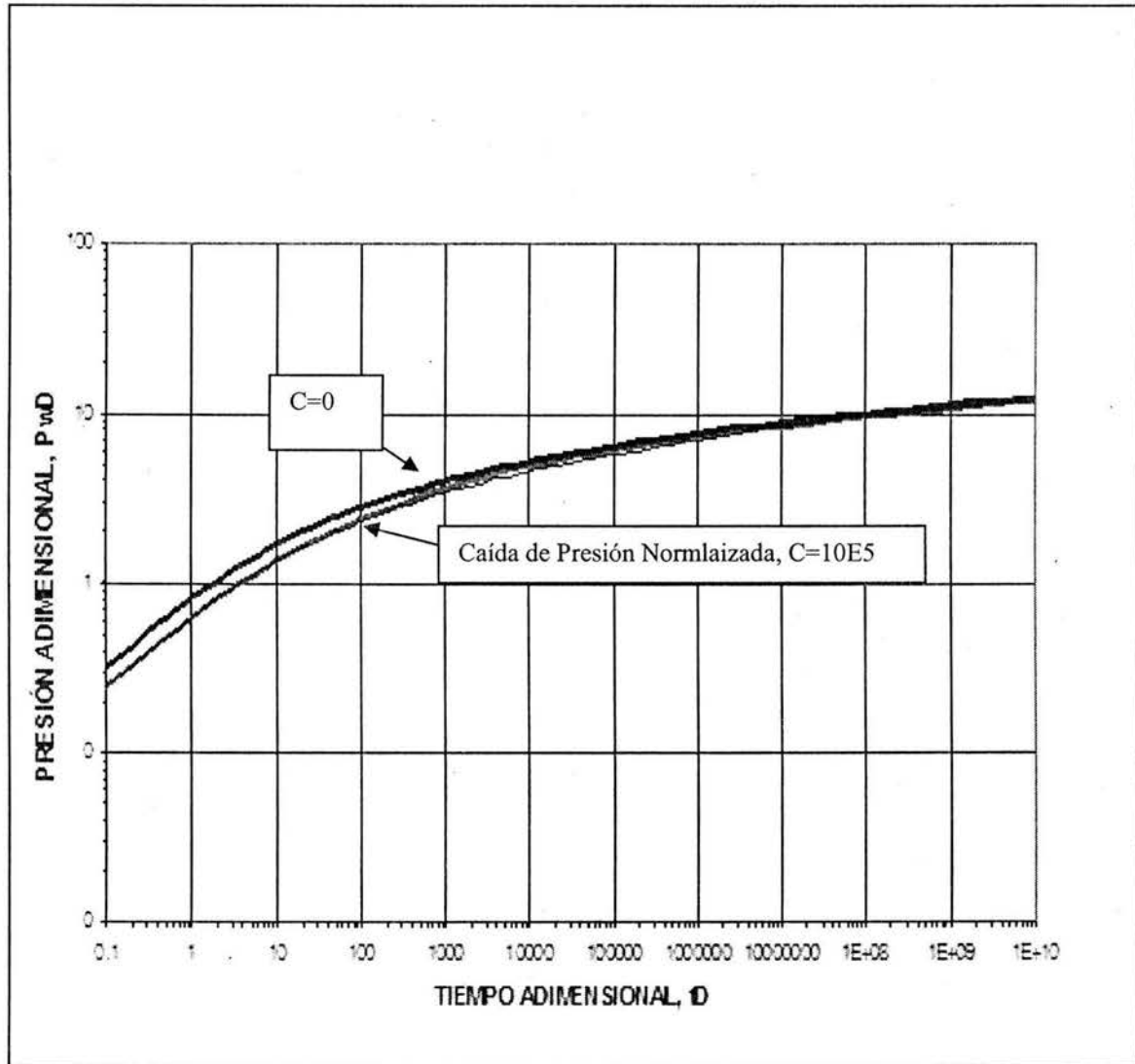


Figura II.3 corrección de Gladfelter al aumentar el almacenamiento la curva corregida se aproxima a la solución radial de la presión sin almacenamiento.

Lo anterior estableció que el método de Gladfelter de graficar el índice de productividad recíproco contra el $\log t$, tiene una base razonable para la variación del gasto de formación causado por el efecto del almacenamiento.

II.4 VERIFICACIÓN DEL CONCEPTO $\Delta p/q$ POR WINESTOCK Y COLPITTS EN POZOS PRODUCTORES DE GAS, ACEITE Y AGUA.

En 1965, A.G. Winestock y G.P. Colpitts⁴ realizaron un estudio para yacimientos productores de gas, partiendo de la ecuación de Houpeurt :

$$p_i^2 - p_{wf}^2 = 1639 \frac{qT}{kh} \left\{ \log \frac{kt}{\phi \mu c_i r_w^2} - 3.23 + 0.87S' \right\} + Bq^2 \quad (II.5)$$

Donde se puede observar el último término de turbulencia, Bq^2 .

Al considerar variaciones en el gasto, Colpitts y Winestock⁴ derivaron un nuevo análisis el cual llamaron Método de Decremento Normalizado.

$$\frac{p_i^2 - p_{wf}^2 - Bq^2}{q(t)} = 1639 \frac{T}{kh} \left\{ \log \frac{kt}{\phi \mu c_i r_w^2} - 3.23 + 0.87S' \right\} \quad (II.6)$$

Así una gráfica de

$$\frac{p_i^2 - p_{wf}^2 - Bq^2(t)}{q(t)} \quad \text{versus} \quad \log(t) \quad (II.7)$$

Permite obtener una línea recta con una pendiente por ciclo logarítmico y así el producto kh puede ser calculado

$$kh = 1639 \frac{\mu z T}{m} \quad (II.8)$$

Después Colpitts y Winestock⁴ consideraron un pozo productor de aceite, produciendo a un gasto variable $q(t)$ barriles por día desde un sistema infinito, isotrópico y homogéneo con viscosidad y compresibilidad constantes y ligeramente compresible. La variación de la caída de presión con el tiempo es :

$$p_i - p_{wf}(t) = \frac{70.6\mu}{kh} \int_0^t q(\tau) e^{-\frac{r_w^2}{4\eta(t-\tau)}} \frac{d\tau}{t-\tau} \quad (II.9)$$

Expandiendo el gasto como un polinomio y después como una potencia de, (t- τ) se tiene

$$p_i - p_{wf}(t) = \frac{70.6\mu}{kh} \sum_{i=0}^n \alpha_i \xi^i \int_{\xi/t}^{\infty} \frac{e^{-x}}{x^{i+1}} dx \quad (II.10)$$

Además

$$p_i - p_{wf}(t) = \frac{70.6\mu}{kh} \left\{ q(t) \left[-E_i\left(-\frac{\xi}{t}\right) \right] + e^{-\frac{\xi}{t}} \sum_{i=1}^n \left[\frac{\alpha_i \xi^i}{i!} \sum_{j=1}^i (-1)^{i+j} (j-1)! (t/\xi)^j \right] + \right. \\ \left. + E_i\left(-\frac{\xi}{t}\right) \sum_{i=1}^n \frac{(-1)^{i+1}}{i!} \alpha_i \xi^i \right\} \quad (II.11)$$

Del lado derecho de la igualdad (II.11) los dos últimos términos son pequeños en comparación con el primero; por lo tanto se tiene la aproximación logarítmica :

$$\frac{p_i - p_{wf}(t)}{q(t)} = \frac{1412 \cdot \mu}{kh} \left[\frac{1}{2} (\ln t_D + 0.809) \right] \quad (II.12)$$

La cual es la ecuación de decremento normalizada para un flujo Darciano ligeramente compresible .

Su gráfica es una línea recta donde determinar una pendiente y así calcular la kh.

CAPÍTULO III

ANÁLISIS DE LA APROXIMACIÓN $\Delta p_D/q_D$

III.1 RESPUESTA DE PRESIÓN PARA GASTO VARIABLE

Supongamos en la integral de la convolución que el daño y el almacenamiento son cero, $s=0$, $C=0$

$$\Delta p_{wD} = \int_0^{t_D} \Delta p_{ID}'(t_D - \tau) q_D(\tau) d\tau \quad (17)$$

Así, también se supondrá que el gasto no es constante sino que en primera instancia depende linealmente del tiempo, es decir:

$$q_D = mt_D + b \quad (18)$$

Sí, la geometría de flujo es radial para la función influencia Δp_{ID} en la aproximación logarítmica y en variables adimensionales ó reales:

$$\Delta p_{D1}(t) = \frac{1}{2} [\ln t_D + 0.80907] \quad (19)$$

derivando la ecuación (19) se tiene (ver apéndice A):

$$\Delta p_{D1}'(t) = \frac{1}{2} \frac{1}{t_D} \quad (20)$$

Sí el flujo es lineal se tiene en variables adimensionales

$$\Delta p_{D1}(t) = \frac{2}{\pi} t_D^{-1} \quad (21)$$

derivando la ecuación (21) se tiene (ver apéndice B):

$$\Delta p_{D1}'(t) = \frac{1}{\pi} t_D^{-1} \quad (22)$$

Para el flujo esférico se tiene (ver apéndice C):

$$\Delta p_{D1}(t) = 1 - \frac{1}{\sqrt{\pi}} t_D^{-1/2} \quad (23)$$

y

$$\Delta p_{1D}'(t) = \frac{1}{2\sqrt{\pi}} t_D^{-3/2} \quad (24)$$

para flujo bilineal y su derivada en variables adimensionales se tiene a tiempos cortos (ver apéndice D):

$$\Delta p_{D1}(t) = \frac{2\sqrt{\pi}}{(k_f b_f)_D} t_D^{1/2} \quad (25)$$

$$\Delta p_{D1}'(t) = \frac{\sqrt{\pi}}{(k_f b_f)_D} t_D^{-1/2} \quad (26)$$

para flujo bilineal y su derivada en variables adimensionales se tiene en tiempos largos (ver apéndice D):

$$\Delta p_{D1}(t) = \frac{2.54}{\sqrt{k_f b_f}} t_D^{1/4} \quad (27)$$

$$\Delta p_{D1}'(t) = \frac{1}{4} \frac{2.54}{\sqrt{k_f b_f}} t_D^{-3/4} \quad (28)$$

Para flujo pseudoestacionario se tiene:

$$\Delta p_D = \frac{2t_D}{r_{eD}^2} + \ln r_{eD} - \frac{3}{4} \quad (29)$$

Por lo que derivando la ecuación (29) para obtener la derivada del flujo pseudoestacionario se tiene (ver apéndice E):

$$\Delta p_D' = \frac{2}{r_{eD}^2} \quad (30)$$

III.2 MODELO CAÍDA DE PRESIÓN NORMALIZADA CON DECLINACIÓN LINEAL DEL GASTO

En general se tiene

$$\Delta p_D = \int_0^t q_D(\tau) \Delta p_{D1}'(t_D - \tau) d\tau = \int_0^t q_D(t_D - \tau) \Delta p_{D1}'(\tau) d\tau \quad (31)$$

$$\text{si } q_D(t_D - \tau) = q_o + m_q(t_D - \tau) \quad (32)$$

$$\Delta p_D = \int_0^t q_o \Delta p_{D1}'(\tau) d\tau + \int_0^t m_q t \Delta p_{D1}'(\tau) d\tau - m_q \int_0^t \tau \Delta p_{D1}'(\tau) d\tau \quad (33)$$

Integrando y haciendo $q_o=0$ se obtiene

$$\Delta p_D = 0 + m_q t_D \int_0^t \Delta p_{D1}'(\tau) d\tau - m_q \int_0^t \tau \Delta p_{D1}'(\tau) d\tau \quad (34)$$

Dividiendo entre $q(t)$

$$\frac{\Delta p_D}{q_D(t)} = \frac{m_q t_D \int_0^t \Delta p_{D1}'(\tau) d\tau}{m_q t_D} - \frac{m_q \int_0^t \tau \Delta p_{D1}'(\tau) d\tau}{m_q t_D} = \Delta p_{D1} - I(t_D, \Delta p_{D1}') \quad (35)$$

Donde

$$I(t_D, \Delta p_{D1}') = \frac{1}{t_D} \int_0^t \tau \Delta p_{D1}'(\tau) d\tau \quad (36)$$

III.3 RESPUESTA DE PRESIÓN CON DECLINACIÓN LINEAL DEL GASTO

Resolviendo la ecuación (35) al utilizar la función influencia para flujo radial y su derivada, se tiene:

$$\frac{\Delta p_D}{q_D(t)} = \frac{1}{2} [\ln t_D + 0.80907] - \frac{1}{2} \quad (37)$$

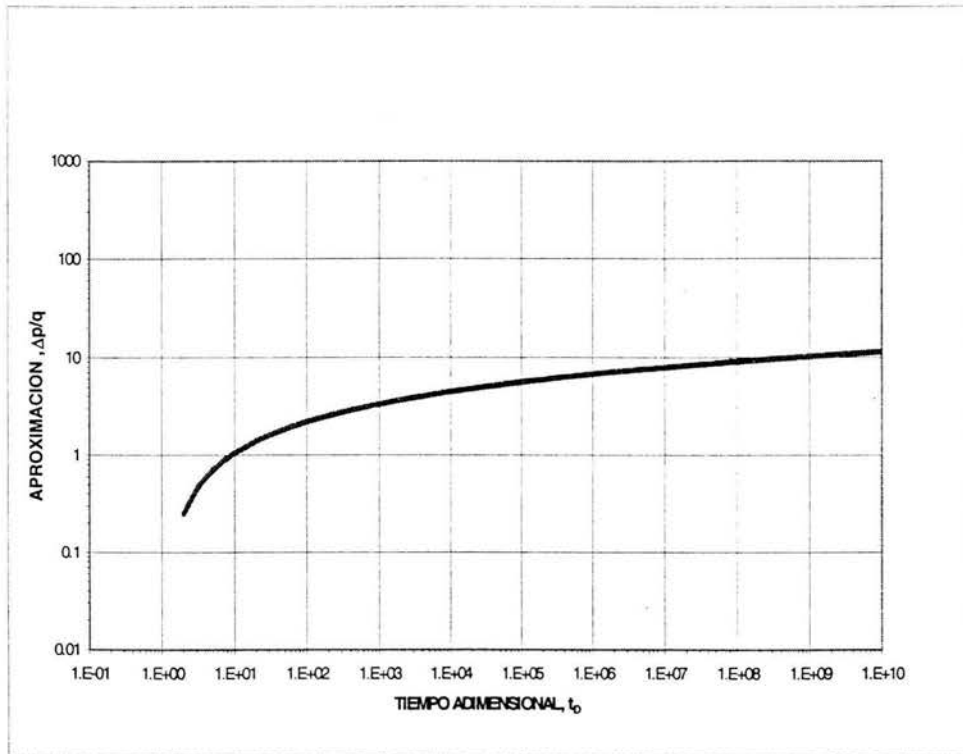


Figura III.1 Esta gráfica corresponde a la ecuación (37) para la caída de presión normalizada con flujo radial y declinación lineal del gasto

También se resuelve la ecuación (35) utilizando la función influencia para flujo lineal y su derivada, obteniendo:

$$\frac{\Delta p_D}{q_D(t)} = \frac{2}{\pi} t_D^{\frac{1}{2}} - \frac{2}{3\pi} t_D^{\frac{1}{2}} = \frac{2}{3} \frac{2}{\pi} t_D^{\frac{1}{2}} \quad (38)$$

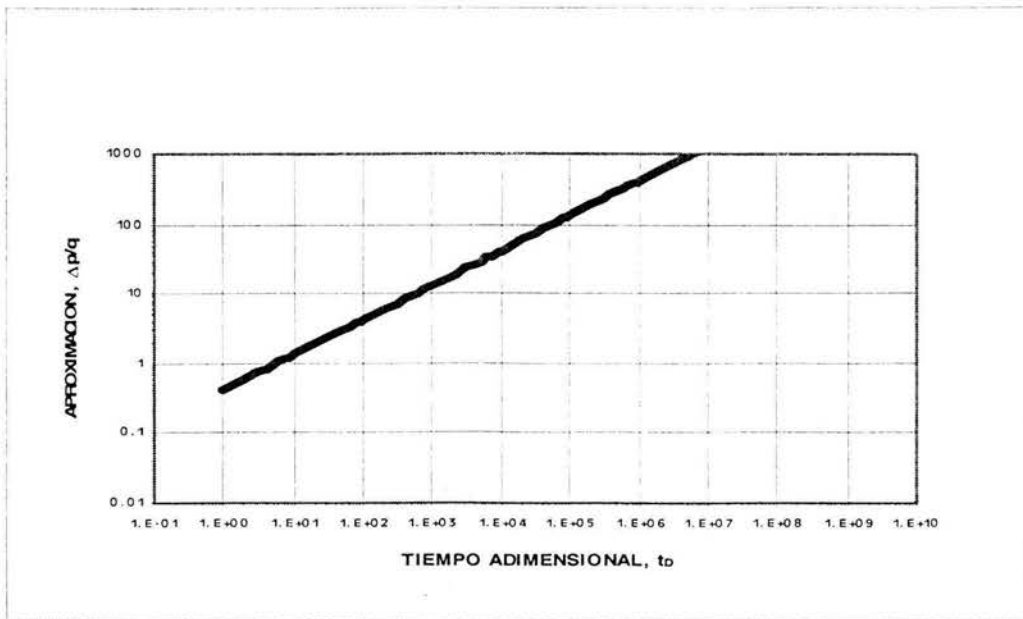


Figura III.2 Esta gráfica corresponde a la ecuación (38) para la caída de presión normalizada para flujo lineal y declinación lineal del gasto

Además sustituyendo la función influencia para flujo esférico y su derivada

$$\frac{\Delta p_D}{q_D(t)} = 1 - \frac{1}{\sqrt{\pi}} t_D^{-\frac{1}{2}} - \frac{1}{\sqrt{\pi}} t_D^{-\frac{1}{2}} = 1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} t_D^{-\frac{1}{2}} \quad (39)$$

en la ecuación (35) se tiene:

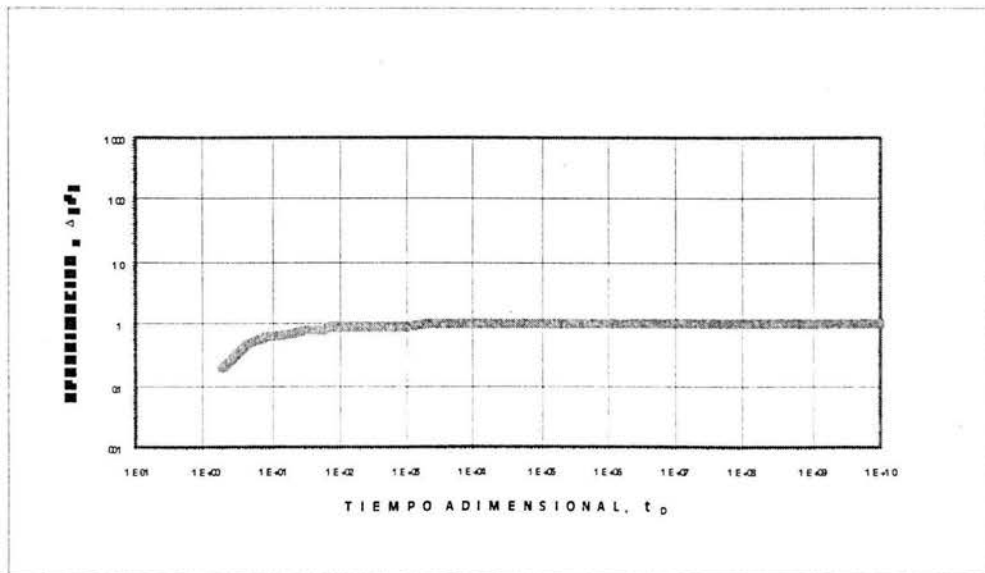


Figura III.3 Esta gráfica corresponde a la ecuación (39) para la caída de presión normalizada con flujo esférico y declinación lineal del gasto

Y sustituyendo la función influencia para flujo bilineal y su derivada en la ecuación (35) se tiene para tiempos cortos:

$$\frac{\Delta p_D}{q_D(t)} = \frac{2\sqrt{\pi}}{(k_f b_f)_D} t_D^{\frac{1}{2}} - \frac{2}{3} \frac{\sqrt{\pi}}{(k_f b_f)_D} t_D^{\frac{1}{2}} = \frac{2}{3} \frac{2\sqrt{\pi}}{(k_f b_f)_D} t_D^{\frac{1}{2}} \quad (40)$$

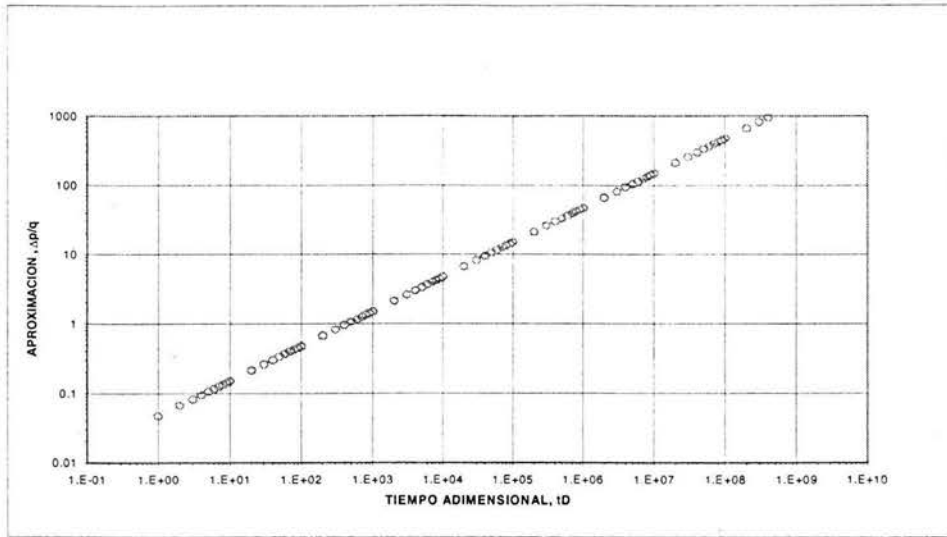


Figura III.4 caída de presión normalizada para flujo bilineal a tiempos cortos y declinación lineal del gasto, ecuación (40)

Así como también la función influencia para flujo bilineal y su derivada en la ecuación (35) se tiene para tiempos largos:

$$\frac{\Delta p_D}{q_D(t)} = \frac{2.54}{\sqrt{k_f b_f}} t_D^{\frac{1}{4}} - \frac{1}{5} \frac{2.54}{\sqrt{k_f b_f}} t_D^{\frac{1}{4}} = \frac{4}{5} \frac{2.54}{\sqrt{k_f b_f}} t_D^{\frac{1}{4}} \quad (41)$$

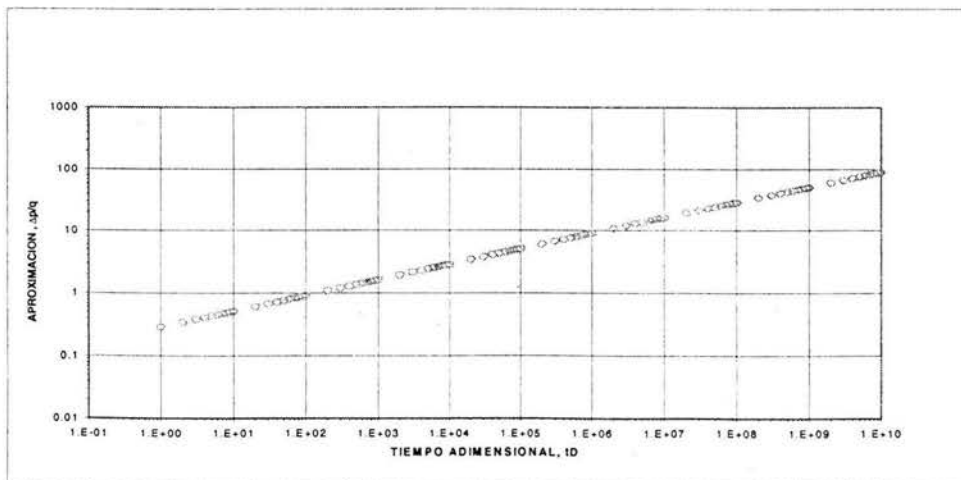


Figura III.5 caída de presión normalizada para flujo bilineal a tiempos largos y declinación lineal del gasto, ecuación (41)

Y sustituyendo la función influencia para flujo pseudoestacionario y su derivada en la ecuación (35) se tiene :

$$\begin{aligned} \frac{\Delta p_D}{q_D(t_D)} &= \frac{2t}{r_{eD}^2} + \ln r_{eD} - \frac{3}{4} - \frac{t}{r_{eD}^2} = \\ &= \frac{t}{r_{eD}^2} + \ln r_{eD} - \frac{3}{4} \end{aligned} \quad (42)$$

III.4 MODELO CAIDA DE PRESIÓN NORMALIZADA CON DECLINACIÓN CUADRÁTICA DEL GASTO

En general se tiene

$$\Delta p_D = \int_0^{t_D} q(\tau) \Delta p_{D1}(t_D - \tau) d\tau = \int_0^{t_D} q(t_D - \tau) \Delta p_{D1}(\tau) d\tau \quad (43)$$

$$\text{si } q(t_D - \tau) = a(t_D - \tau)^2 - b(t_D - \tau) + c \quad (44)$$

$$\begin{aligned} \Delta p_D &= \int_0^t a t^2 \Delta p_{D1}(\tau) d\tau - \int_0^t 2at\tau \Delta p_{D1}(\tau) d\tau + \int_0^t a\tau^2 \Delta p_{D1}(\tau) d\tau - \int_0^t bt \Delta p_{D1}(\tau) d\tau + \int_0^t b\tau \Delta p_{D1}(\tau) d\tau + \\ &+ \int_0^t c \Delta p_{D1}(\tau) d\tau = \\ &= at^2 \int_0^t \Delta p_{D1}(\tau) d\tau - 2at \int_0^t \tau \Delta p_{D1}(\tau) d\tau + a \int_0^t \tau^2 \Delta p_{D1}(\tau) d\tau - bt \int_0^t \Delta p_{D1}(\tau) d\tau + b \int_0^t \tau \Delta p_{D1}(\tau) d\tau + \\ &+ c \int_0^t \Delta p_{D1}(\tau) d\tau = \\ &= at^2 \Delta p_{D1}(\tau) - 2at \int_0^t \tau \Delta p_{D1}(\tau) d\tau + a \int_0^t \tau^2 \Delta p_{D1}(\tau) d\tau - bt \Delta p_{D1}(\tau) + b \int_0^t \tau \Delta p_{D1}(\tau) d\tau + c \Delta p_{D1}(\tau) = \\ &= at^2 \Delta p_{D1}(\tau) - bt \Delta p_{D1}(\tau) + c \Delta p_{D1}(\tau) - 2at \int_0^t \tau \Delta p_{D1}(\tau) d\tau + a \int_0^t \tau^2 \Delta p_{D1}(\tau) d\tau + b \int_0^t \tau \Delta p_{D1}(\tau) d\tau = \\ \Delta p_D &= at^2 \Delta p_{D1}(\tau) - bt \Delta p_{D1}(\tau) + c \Delta p_{D1}(\tau) - (2at - b) \int_0^t \tau \Delta p_{D1}(\tau) d\tau + a \int_0^t \tau^2 \Delta p_{D1}(\tau) d\tau \quad (45) \end{aligned}$$

Dividiendo entre $q_D(t) = at^2 - bt + c$ la ecuación (45) se tiene

$$\begin{aligned} \frac{\Delta p_D}{q_D(t)} &= \frac{at^2 - bt + c}{at^2 - bt + c} \Delta p_{D1}(\tau) - \frac{(2at - b) \int_0^t \tau \Delta p_{D1}(\tau) d\tau}{at^2 - bt + c} + \frac{a \int_0^t \tau^2 \Delta p_{D1}(\tau) d\tau}{at^2 - bt + c} = \\ \frac{\Delta p_D}{q_D(t)} &= \Delta p_{D1}(t_D) - \frac{(2at - b)}{at^2 - bt + c} \int_0^t \tau \Delta p_{D1}(\tau) d\tau + \frac{a}{at^2 - bt + c} \int_0^t \tau^2 \Delta p_{D1}(\tau) d\tau = \\ \frac{\Delta p_D}{q_D(t)} &= \Delta p_{D1}(t_D) - \frac{1}{at_D^2 - bt_D + c} \left((2at_D - b) \int_0^t \tau \Delta p_{D1}(\tau) d\tau - a \int_0^t \tau^2 \Delta p_{D1}(\tau) d\tau \right) \quad (46) \end{aligned}$$

III.5 RESPUESTA DE PRESIÓN CON DECLINACIÓN CUADRÁTICA DEL GASTO

Si la geometría de flujo es radial obtenemos para la relación de la caída de presión normalizada al integrar la ecuación (46) (ver apéndice A):

$$\frac{\Delta p_D}{q_D(t_D)} = \frac{1}{2} [\ln t_D + 0.80907] - \left[\frac{1}{4} \frac{(3at_D^2 - 2bt_D)}{at_D^2 - bt_D + c} \right] \quad (47)$$

Si la geometría de flujo es lineal obtenemos para la relación de la caída de presión normalizada al integrar la ecuación (46) (ver apéndice B):

$$\frac{\Delta p_D}{q_D(t_D)} = \frac{2}{\pi} t_D^{\frac{1}{2}} - \left[\frac{1}{3} \frac{(2at_D^2 - bt_D)}{at_D^2 - bt_D + c} - \frac{1}{5} \frac{at_D^2}{at_D^2 - bt_D + c} \right] \frac{2}{\pi} t_D^{\frac{1}{2}} \quad (48)$$

Si la geometría de flujo es bilineal para tiempos largos obtenemos la relación de la caída de presión normalizada al integrar la ecuación (46) (ver apéndice D):

$$\frac{\Delta p_D}{q_D(t_D)} = \frac{2.54}{\sqrt{k_f b_f}} t_D^{\frac{1}{4}} - \frac{1}{5} \frac{(2at_D - b)t_D}{at_D^2 - bt_D + c} \frac{2.54}{\sqrt{k_f b_f}} t_D^{\frac{1}{4}} + \frac{1}{9} \frac{at_D^2}{at_D^2 - bt_D + c} \frac{2.54}{\sqrt{k_f b_f}} t_D^{\frac{1}{4}} \quad (49)$$

Si la geometría de flujo es esférica obtenemos la relación de la caída de presión normalizada al integrar la ecuación (46) (ver apéndice C):

$$\frac{\Delta p_D}{q_D(t_D)} = 1 - \frac{1}{\sqrt{\pi}} t_D^{-\frac{1}{2}} - \frac{1}{\sqrt{\pi}} \frac{(2at_D - b)}{at_D^2 - bt_D + c} t_D^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{\sqrt{\pi}} \frac{1}{3} \frac{a}{at_D^2 - bt_D + c} t_D^{\frac{3}{2}} \quad (50)$$

Si la geometría de flujo es pseudoestacionario obtenemos la relación de la caída de presión normalizada al integrar la ecuación (46) (ver apéndice E):

$$\frac{\Delta p_D}{q_D(t)} = \frac{2t_D}{r_{eD}^2} + \ln r_{eD} - \frac{3}{4} + \frac{1}{r_{eD}^2 (at_D^2 - bt_D + c)} \left[bt_D^2 + 2at_D^3 \left(\frac{1}{3} - 1 \right) \right] \quad (50A)$$

III.6 DATOS DE HISTORIAS DE PRODUCCION DE CAMPOS PRODUCTORES DE ACEITE

Fueron seleccionados aleatoriamente los campos San Ramón , Cinco Presidentes de la Región Sur y Abkatun de la Región Marina, con el objetivo de observar las declinaciones del gasto contra el tiempo en cada pozo.

Se graficaron los datos de gasto contra tiempo de 75 pozos del campo San Ramón como se muestra en la gráfica III.6.1

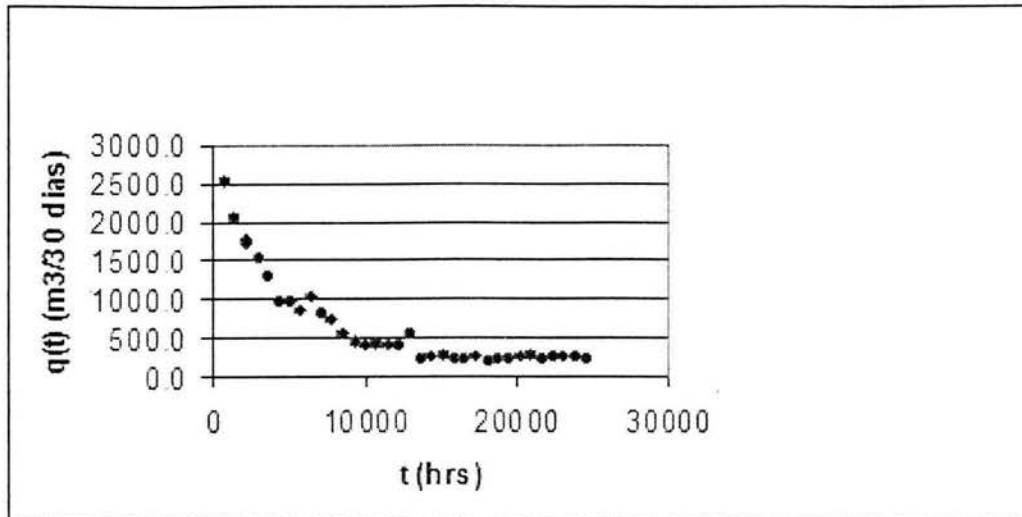


Figura III.6.1 gráfica de gasto contra tiempo típica del campo San Ramón (San Ramón 1 A)

y se realizaron los ajustes de los datos de acuerdo a las expresiones analíticas, lineal, cuadrática, exponencial, potencial, logarítmica y cúbica, como se muestra en las siguientes figuras:

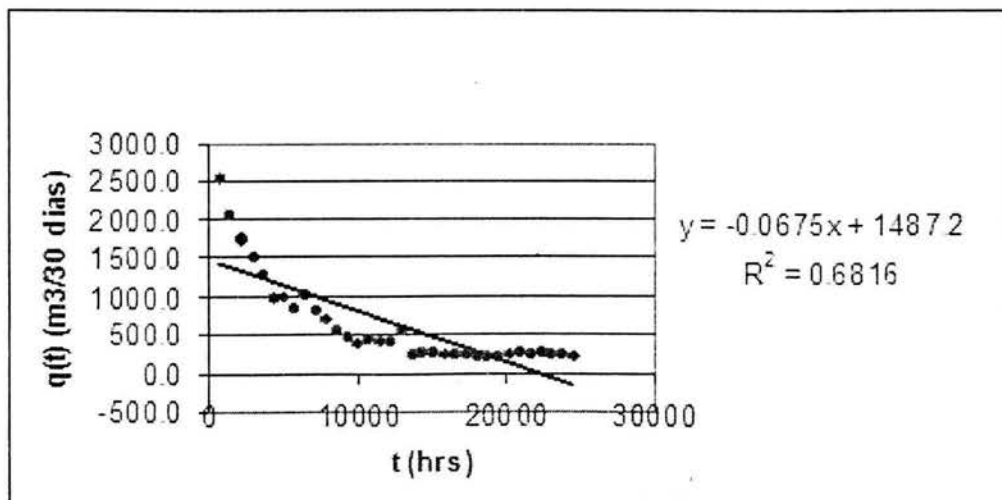


Figura III.6.2 ajuste lineal de los datos (San Ramón 1 A)

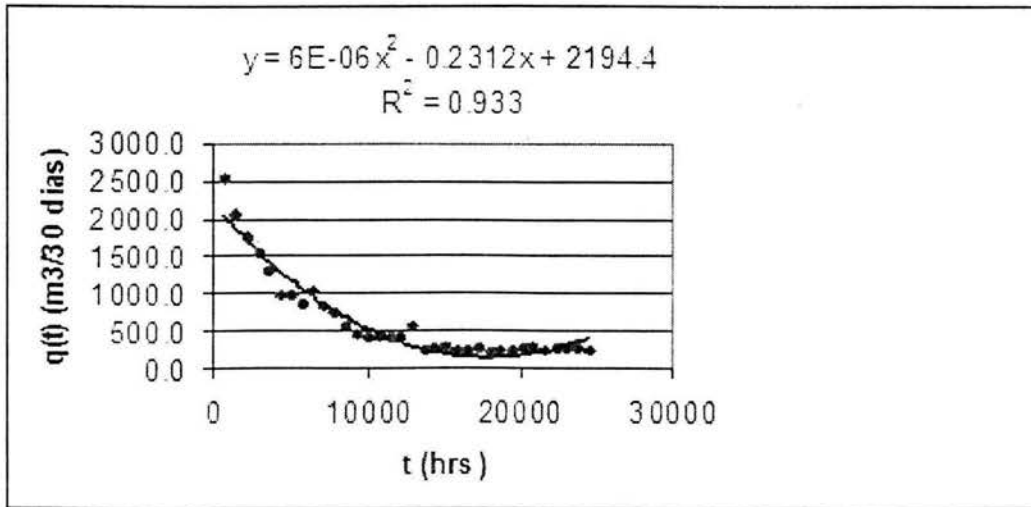


Figura III.6.3 ajuste cuadrático de los datos (San Ramón 1 A)

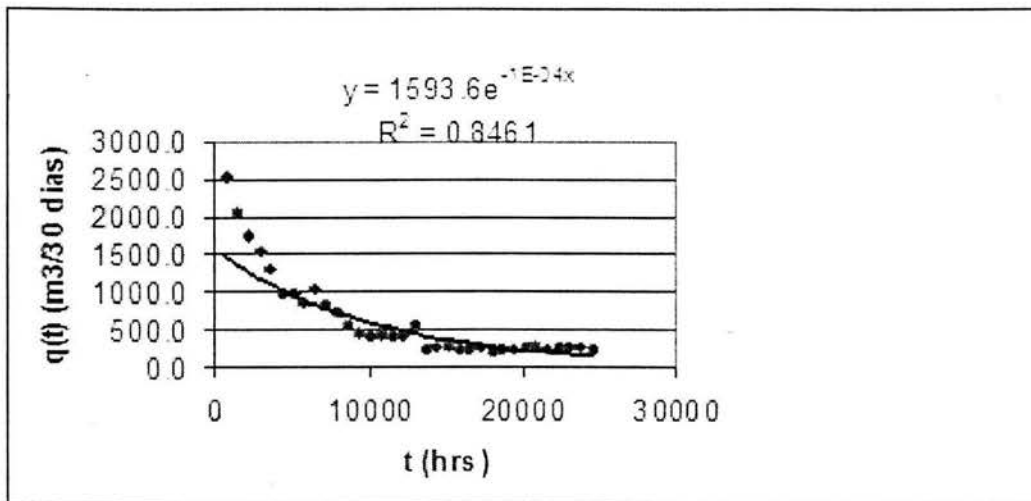


Figura III.6.4 ajuste exponencial de los datos (San Ramón 1 A)

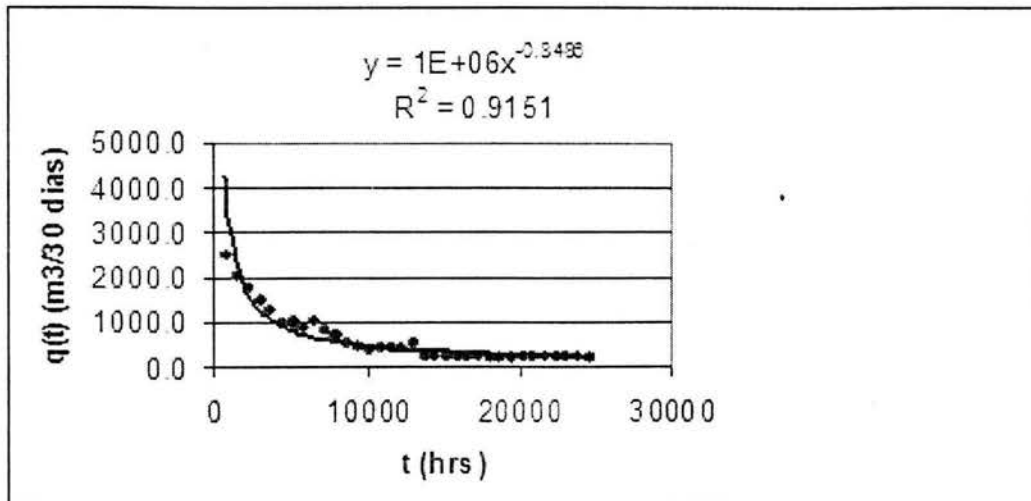


Figura III.6.5 ajuste potencial de los datos (San Ramón 1 A)

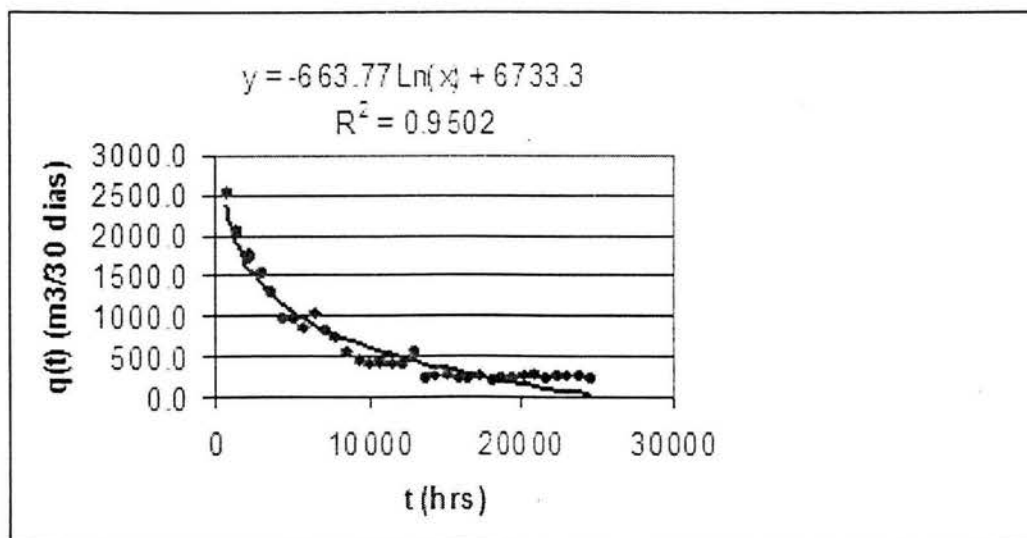


Figura III.6.6 ajuste logarítmico de los datos (San Ramón 1 A)

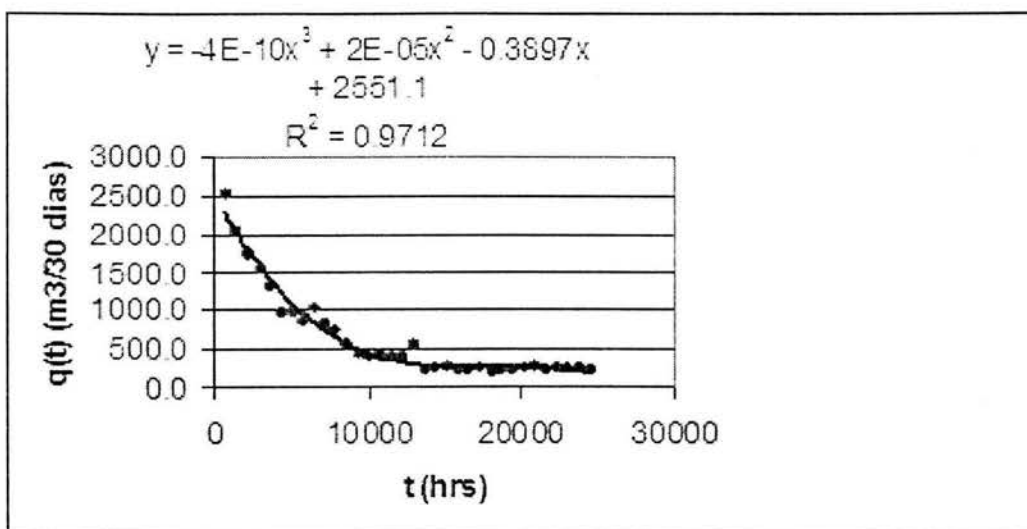


Figura III.6.7 ajuste cúbico de los datos (San Ramón 1 A)

Como se observa en las gráficas anteriores se incluyó , la prueba R^2 de Pearson, que permite determinar la discrepancia menor entre los datos del pozo y el ajuste de estos.

También se graficaron y ajustaron 102 pozos del campo Cinco Presidentes de la Región Sur ; se revisaron 55 pozos del campo Abkatun de la Región Marina y del campo Jujo de la Región Sur.

El objetivo fue comprobar y determinar la exactitud de los signos de la declinación cuadrática del gasto, $q_D(t)=at^2+bt+c$.

III.7 MODELO DE LA CAIDA DE PRESIÓN NORMALIZADA CON DECLINACIÓN CUADRÁTICA DEL GASTO EN VARIABLES REALES

Si la geometría de flujo es radial se obtiene para la relación de la caída de presión normalizada al integrar la ecuación (46) en variables reales :

$$\frac{\Delta p}{q(t)} = \frac{0162.6B\mu}{kh} \left[(0.4343)\ln t + (0.4343)\ln \frac{k}{\phi\mu c_i r_w^2} - 3.2275 \right] - \left[\frac{1}{4} \frac{(3at^2 - 2bt)}{at^2 - bt + c} \right] \quad (51)$$

Si la geometría de flujo es lineal se obtiene para la relación de la caída de presión normalizada al integrar la ecuación (46) en variables reales :

$$\frac{\Delta p}{q(t)} = \frac{16.25B\mu}{A(k\phi\mu c_i)^{\frac{1}{2}}} t^{\frac{1}{2}} - \left[\frac{1}{3} \frac{(2at^2 - bt)}{at^2 - bt + c} - \frac{1}{5} \frac{at^2}{at^2 - bt + c} \right] \left(\frac{16.25B\mu}{A(k\phi\mu c_i)^{\frac{1}{2}}} \right) t^{\frac{1}{2}} \quad (52)$$

Si la geometría de flujo es esférica se obtiene para la relación de la caída de presión normalizada al integrar la ecuación (46) en variables reales :

$$\frac{\Delta p_D}{q_D(t)} = \frac{\alpha q B \mu}{k r_w} \frac{\alpha q B \mu^{\frac{3}{2}} (\phi c_i)^{\frac{1}{2}}}{\sqrt{\pi \beta k^2}} t^{-\frac{1}{2}} - \left(\frac{\alpha q B \mu^{\frac{3}{2}} (\phi c_i)^{\frac{1}{2}}}{\sqrt{\pi \beta k^2}} \right) \frac{(2at-b)}{at^2 - bt + c} t^{\frac{1}{2}} + \left(\frac{\alpha q B \mu^{\frac{3}{2}} (\phi c_i)^{\frac{1}{2}}}{\sqrt{\pi \beta k^2}} \right) \frac{1}{3} \frac{a}{at^2 - bt + c} t^{\frac{3}{2}} \quad (53)$$

Al despejar de la ecuación (51) la geometría radial se tiene

$$\frac{\Delta p}{q(t)} + \left[\frac{1}{4} \frac{(3at^2 - 2bt)}{at^2 - bt + c} \right] = \frac{0162.6B\mu}{kh} \left[(0.4343)\ln t + (0.4343)\ln \frac{k}{\phi\mu c_i r_w^2} - 3.2275 \right] \quad (54)$$

También al despejar de la ecuación (52) la geometría lineal se tiene

$$\frac{\frac{\Delta p}{q(t)}}{\left[1 - \left[\frac{1}{3} \frac{(2at^2 - bt)}{at^2 - bt + c} - \frac{1}{5} \frac{at^2}{at^2 - bt + c} \right] \right]} = \frac{16.25B\mu}{A(k\phi\mu c_i)^{\frac{1}{2}}} t^{\frac{1}{2}} \quad (55)$$

Además despejando de la ecuación (53) la geometría de flujo esférica se obtiene la siguiente aproximación

$$\frac{\Delta p}{q(t)} + \frac{\alpha_l B \mu^{\frac{3}{2}} (\phi_c)_2^{\frac{1}{2}}}{\sqrt{\pi \beta}} \left[+ \frac{(2at-b)}{at^2-bt+c} t^{\frac{1}{2}} - \frac{1}{3} \frac{a}{at^2-bt+c} t^{\frac{3}{2}} \right] \cong \frac{\alpha_l B \mu}{kr_w} - \frac{\alpha_l B \mu^{\frac{3}{2}} (\phi_c)_2^{\frac{1}{2}}}{\sqrt{\pi \beta} k^{\frac{3}{2}}} t^{-\frac{1}{2}} \quad (56)$$

III.8 DATOS DE PRESIÓN Y GASTOS DE POZOS PRODUCTORES DE ACEITE

Se revisaron los datos de presión y gastos del campo Sen en el mesozoico de la Región Sur.

Y puesto que la ecuación (46) del modelo de la caída de presión normalizada requiere conocer el ajuste cuadrático de la declinación del gasto, se utilizaron para los tiempos t (en horas), los gastos y presiones correspondientes para obtener la expresión siguiente:

$$q = -3E-06t^2 + 0.194t - 3431.3 \quad (57)$$

$$R2 = 0.8024$$

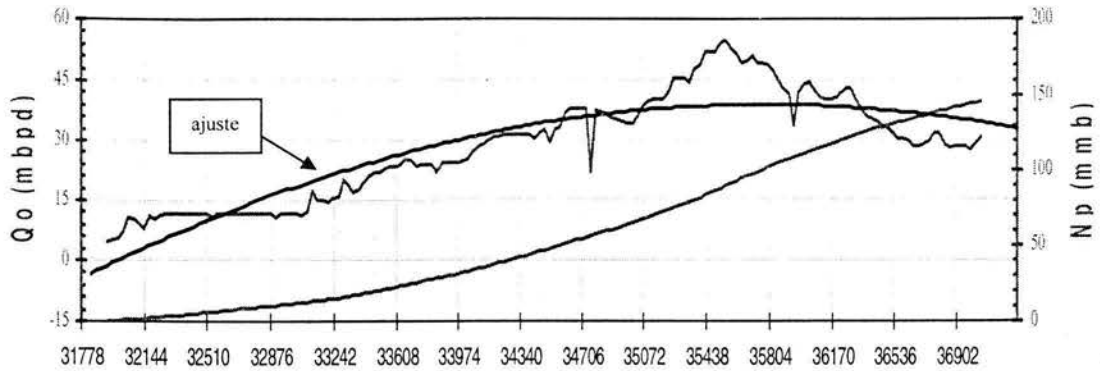


Figura III.8.1 campo Sen, ajuste del gasto para determinar a, b, c.

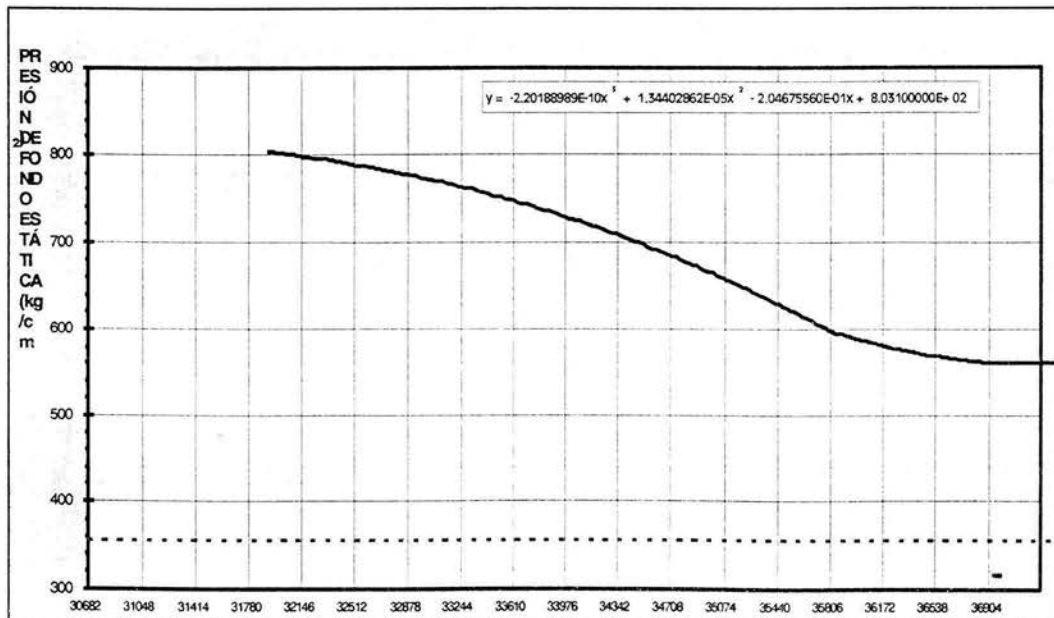


Figura III.8.2 campo Sen, ajuste de la presión.

Ahora, con los coeficientes a,b,c, de la ecuación (57) de ajuste de la declinación cuadrática del gasto y los promedios de los parámetros del campo Sen en cualquier tiempo, se grafican las ecuaciones (51), (52) y(53).

alfa(r)=	141.2
alfa(L)=	887.2
alfa(esf)=	70.6
beta=	2.64E-04
mu (cp)=	0.265
ct (1/psi)=	3.00E-05
Bo=	3.15
k (md)=	1700
h (PIES)=	204.63
L (pies)=	3000
b (PIES)=	1500
rw (pies)=	0.416
porosidad=	0.05087253
a=	-3.00E-06
b=	1.94E-01
c=	-3.43E+03

Tabla III.8.1 parámetros del campo Sen

Es decir, la figura III.8.3 es la gráfica de

$$\frac{\Delta p}{q(t)} + \left[\frac{1}{4} \frac{(3at^2 - 2bt)}{at^2 - bt + c} \right] V_s \log(t) \quad (58)$$

Y la función f(t) es la discrepancia analítica

$$f(t) = \left[\frac{1}{4} \frac{(3at^2 - 2bt)}{at^2 - bt + c} \right]$$

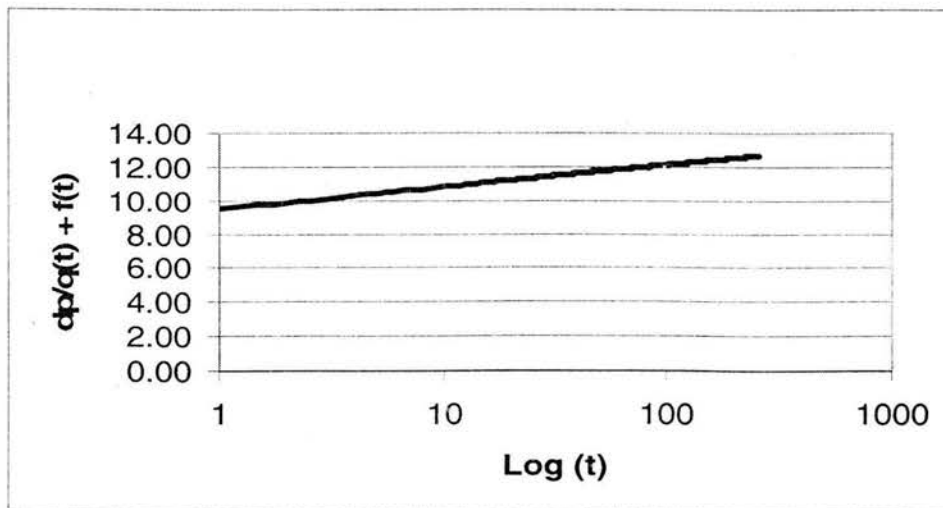


Figura III.8.3 caída de presión normalizada _radial contra log (t).

Y la figura III.8.4 es la gráfica de

$$\frac{\Delta p}{q(t)} \quad Vs \quad \sqrt{t} \quad (59)$$

$$\left[1 - \left[\frac{1}{3} \frac{(2at^2 - bt)}{at^2 - bt + c} - \frac{1}{5} \frac{at^2}{at^2 - bt + c} \right] \right]$$

Donde la función f(t) es el término

$$f(t) = \left[1 - \left[\frac{1}{3} \frac{(2at^2 - bt)}{at^2 - bt + c} - \frac{1}{5} \frac{at^2}{at^2 - bt + c} \right] \right]$$

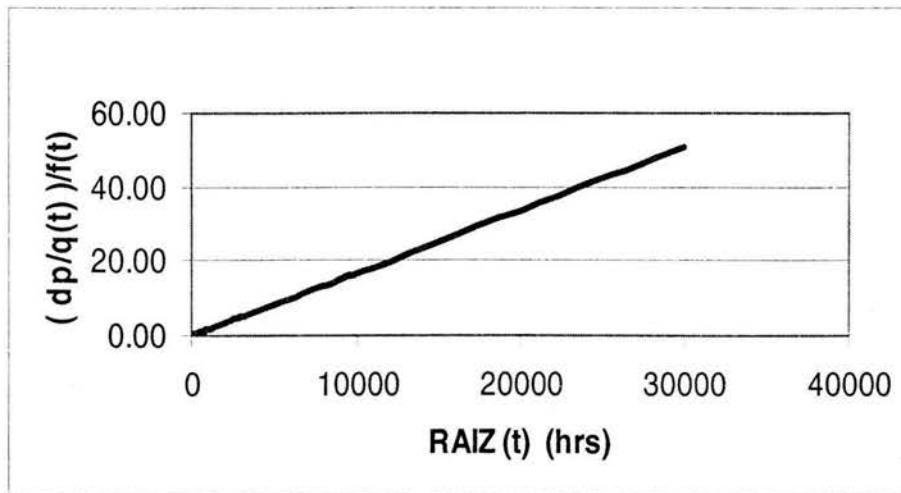


Figura III.8.4 caída de presión normalizada _lineal contra raiz (t).

Y la figura III.8.5 es la gráfica de

$$\frac{\Delta p}{q(t)} + \frac{\alpha_1 B \mu^2 (\phi_c)_i^2}{\sqrt{\pi \beta}} \left[+ \frac{(2at-b)}{at^2 - bt + c} t^{\frac{1}{2}} - \frac{1}{3} \frac{a}{at^2 - bt + c} t^{\frac{3}{2}} \right] \quad Vs \quad \frac{1}{\sqrt{t}} \quad (60)$$

Donde la función f(t) es el término

$$f(t) = \frac{\alpha_1 B \mu^2 (\phi_c)_i^2}{\sqrt{\pi \beta}} \left[+ \frac{(2at-b)}{at^2 - bt + c} t^{\frac{1}{2}} - \frac{1}{3} \frac{a}{at^2 - bt + c} t^{\frac{3}{2}} \right]$$

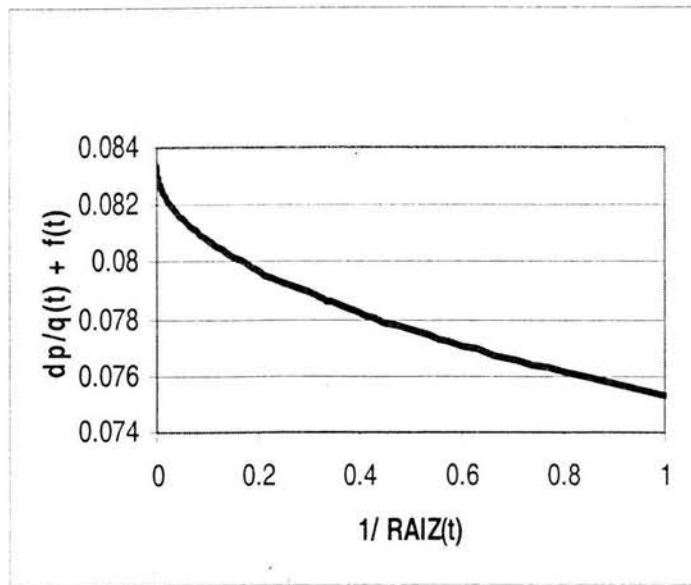


Figura III.8.5 caída de presión normalizada _esférico contra $1 / \text{raiz}(t)$.

Las gráficas III.8.3,4,5 muestran que para el caso real del campo Sen , las aproximaciones de la caída de presión normalizada de las geometrías graficadas contra alguna función del tiempo t, se comportan linealmente.

A continuación se substituirán en las ecuaciones (58), (59) y (60) las caídas de presión Δp (psi) del campo Sen, sus correspondientes gastos $q(t)$ (bls/d) en los tiempos (hrs) medidos con los coeficientes a,b,c de la ecuación (57) y se graficarán estas, en función del $\log(t)$, $RAIZ(t)$ y $1/RAIZ(t)$ respectivamente:

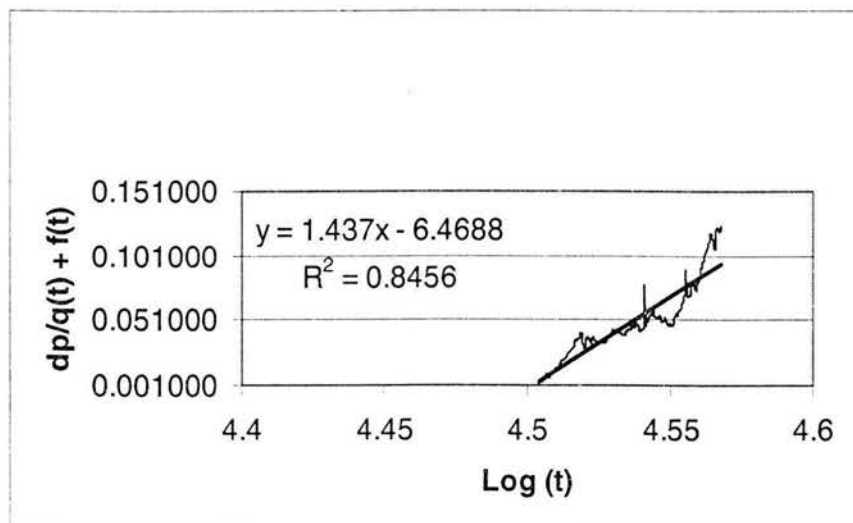


Figura III.8.6 caída de presión normalizada _radial contra $\log(t)$.

Para el caso esférico

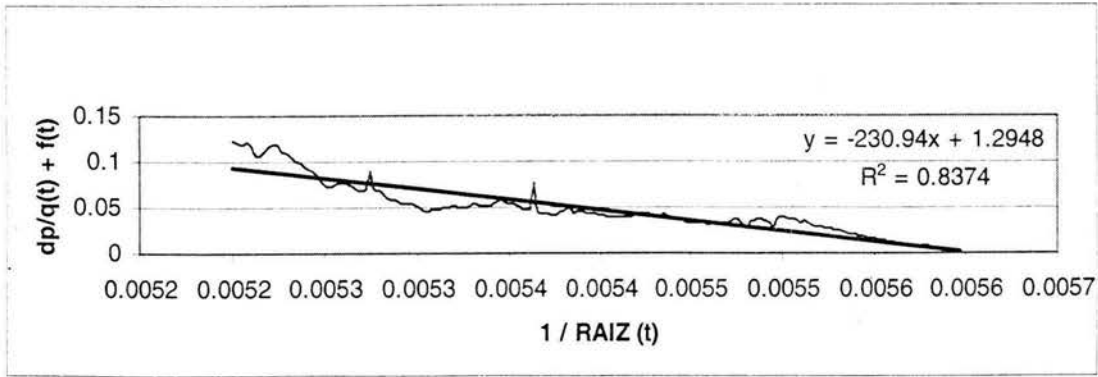


Figura III.8.7 caída de presión normalizada _esférica contra 1 / raíz (t).

Y para el caso lineal

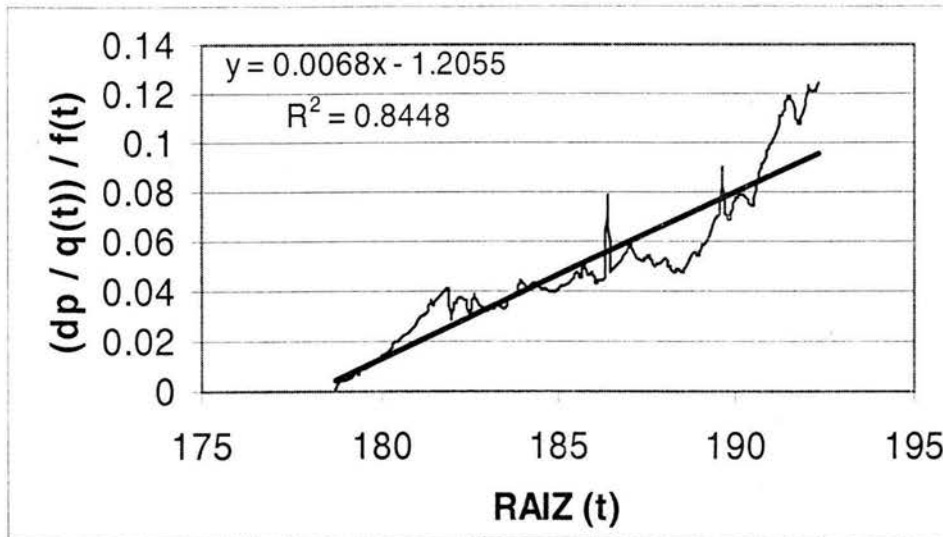


Figura III.8.8 caída de presión normalizada _lineal contra raíz (t) del campo Sen.

El ajuste de los datos de presión Δp contra la función del tiempo t , en las figuras III.8.6, III.8.7 y III.8.8 para el campo Sen, permiten afirmar que en el rango de tiempo considerado la geometría de flujo de la caída de presión normalizada que domina es la radial porque la prueba de R^2 es la mayor.

La caída de presión normalizada	R^2
LINEAL	0.8448
RADIAL	0.9714
ESFÉRICO	0.8374

Tabla III.8.2 prueba r^2 para el campo sen.

Otro ejemplo es el pozo productor de aceite Jujo-5 del campo Jujo en el Mesozoico de la Región Sur. Se consideraron los siguientes datos de presión Δp (psi) , sus correspondientes gastos $q(t)$ (bls/d) en los tiempos t (hrs) medidos.

q (bls/d)	dp (psi)	t (hrs)
4869	2120.202	23040
4656	4025.682	25200
4055	5106.402	27360
3807	4281.642	28800
3312	5092.182	30240
2149	4978.422	30960

Tabla III.8.3 pozo jujo-5, gastos, caídas de presión y tiempos.

Con estos gastos y tiempos se determinó la siguiente declinación cuadrática del gasto:

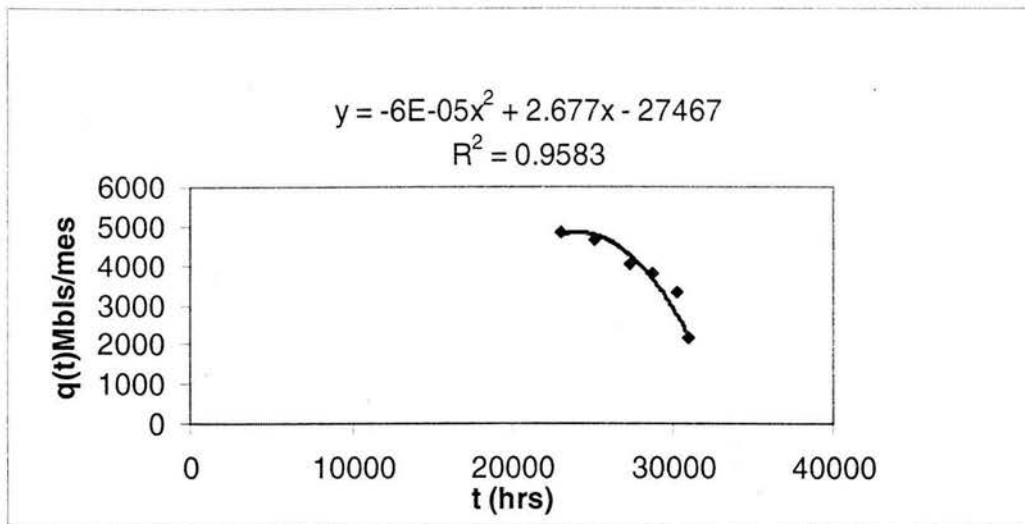


Figura III.8.9 declinación cuadrática del gasto del pozo jujo-5.

De donde

Pozo	Jujo-5
A	-4E-05
B	2.1203
C	20316

Tabla III.8.4 coeficientes a,b,c de la declinación cuadrática del gasto del pozo jujo-5.

Sustituyendo los valores de las tablas III.8.3 y III.8.4 en las ecuaciones (58),(59) y (60) se obtienen las siguientes gráficas.

Para el caso del flujo caída de presión normalizada _lineal

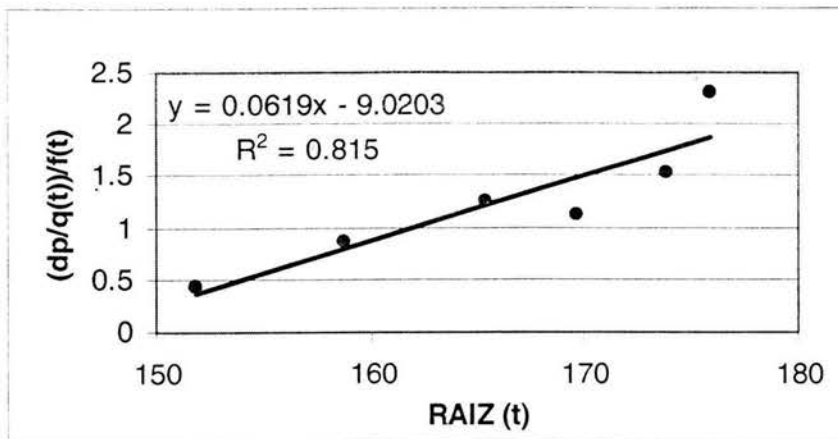


Figura III.8.10 caída de presión normalizada _lineal contra raiz (t) del pozo jujo-5.

Para el caso del flujo caída de presión normalizada _radial

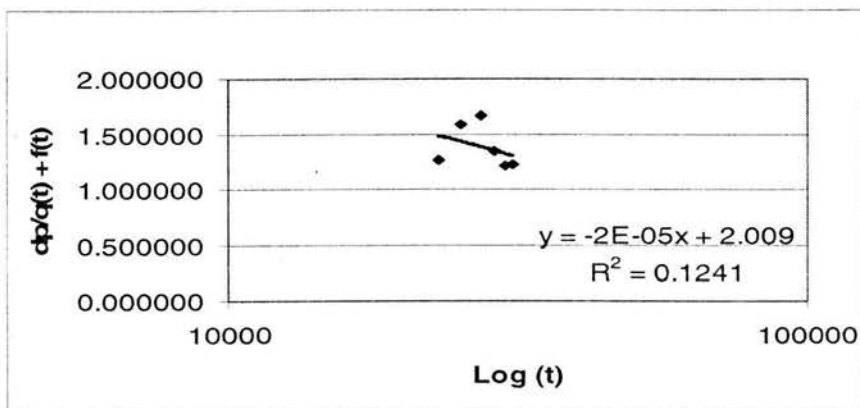


Figura III.8.11 caída de presión normalizada _radial contra log (t) del pozo jujo-5.

Para el caso del flujo caída de presión normalizada _esférico

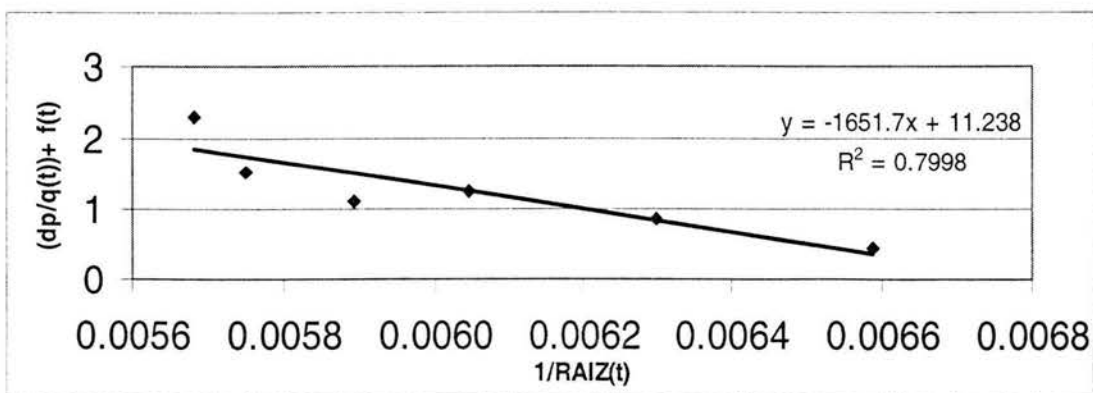


Figura III.8.12 caída de presión normalizada _esférico contra 1/raiz (t) del pozo jujo-5.

El ajuste de los datos de presión Δp contra la función del tiempo t , en las figuras III.8.8, III.8.9 y III.8.10 para el pozo Jujo-5, permiten afirmar que en el rango de tiempo considerado la geometría de flujo de la caída de presión normalizada que domina es la lineal porque la prueba de R^2 es la mayor.

La caída de presión normalizada	R^2
LINEAL	0.815
RADIAL	0.12
ESFÉRICO	0.799

Tabla III.8.5 prueba r^2 para el pozo jujo-5.

Otro ejemplo es el pozo Jujo-9 que pertenece al campo Jujo, en el Mesozoico de la Región Sur. Se presenta la siguiente tabla III.8.6, que contiene los siguientes datos de presión Δp (psi) , sus correspondientes gastos $q(t)$ (bls/d) en los tiempos t (hrs) medidos.

q (bls/d)	dp	t (hrs)
2256.50706	23.1786	840
2615.9481	38.5362	1560
3634.48374	81.1962	2304
2805.34	90.297	4512
2711.23348	249.1344	5976
2523.02383	316.6794	10320
2472.74103	572.355	11064
2778.77523	463.572	13992
2748.73	568.089	19824
2650.42339	618.9966	21288
2648.09	607.4784	25704

Tabla III.8.6 pozo jujo-9, gastos, caídas de presión y tiempos.

Con estos gastos y tiempos se determinó la siguiente declinación cuadrática del gasto:

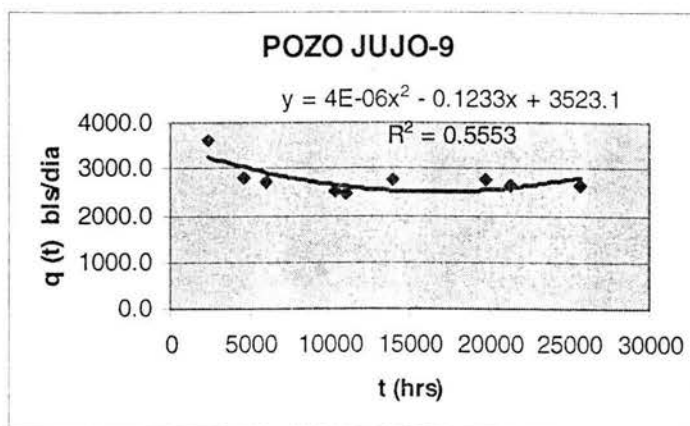


Figura III.8.13 declinación cuadrática del gasto del pozo jujo-9.

De donde

Pozo	Jujo-9
A	4E-06
b	-0.1233
c	3523.1

Tabla III.8.7 coeficientes a,b,c de la declinación cuadrática del gasto del pozo jujo-9.

Sustituyendo los valores de las tablas III.8.3 y III.8.4 en las ecuaciones (58),(59) y (60) se obtienen las siguientes gráficas.

Para el caso flujo de la caída de presión normalizada _lineal

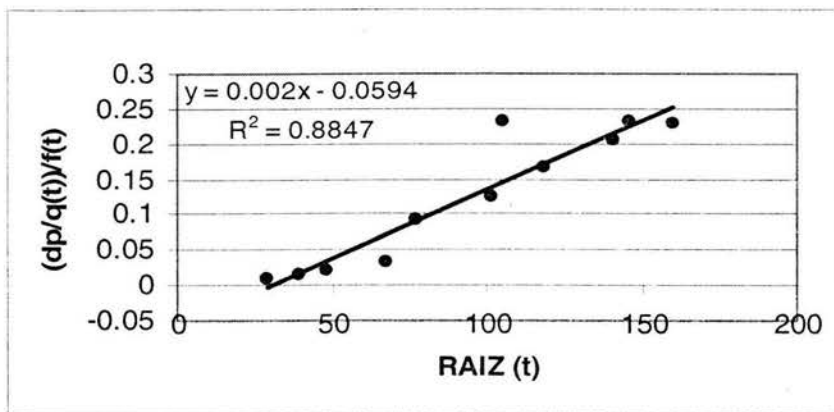


Figura III.8.14 caída de presión normalizada _lineal contra raíz (t) del pozo jujo-9.

Para el caso flujo de la caída de presión normalizada _radial

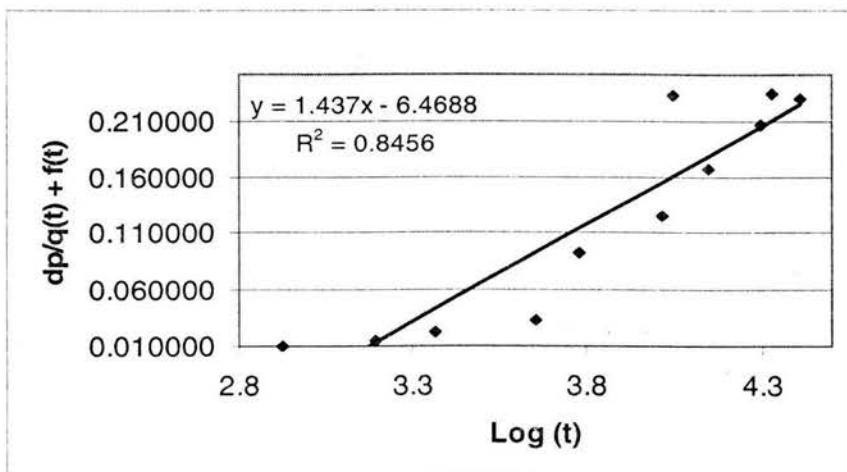


Figura III.8.15 caída de presión normalizada _radial contra log (t) del pozo jujo-9.

Para el caso flujo de la caída de presión normalizada _esférica

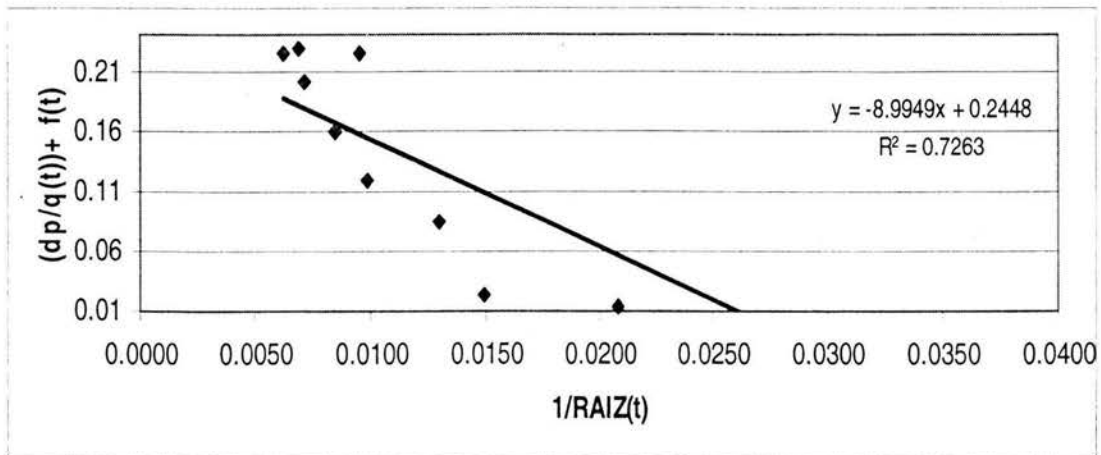


Figura III.8.16 caída de presión normalizada esférica contra 1/raiz (t), del pozo jujo-9.

El ajuste de los datos de presión Δp contra la función del tiempo t , en las figuras III.8.14, III.8.15 y III.8.16 para el pozo Jujo-9, permiten afirmar que en el rango de tiempo considerado la geometría de flujo de la caída de presión normalizada que domina es la lineal porque la prueba de R^2 es la mayor.

La caída de presión normalizada	R^2
LINEAL	0.89
RADIAL	0.84
ESFÉRICO	0.72

Tabla III.8.8 prueba r^2 para el pozo jujo-9.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Este capítulo tiene como objetivo analizar las soluciones analíticas obtenidas en el capítulo anterior; se mencionan primeramente los resultados que se obtuvieron con:

IV.1. RESULTADOS DE $\Delta p/q$ CON DECLINACIÓN LINEAL DEL GASTO

La diferencia entre la relación de la caída de presión normalizada para una geometría de flujo radial con un gasto lineal y la geometría de flujo radial misma, se observa en la siguiente gráfica, de acuerdo a las expresiones

$$\Delta p_D = \frac{1}{2} [\ln t_D + 0.80907] \quad (37A) \quad \frac{\Delta p_D}{q_D(t)} = \frac{1}{2} [\ln t_D + 0.80907] - \frac{1}{2} \quad (37)$$

analíticas:

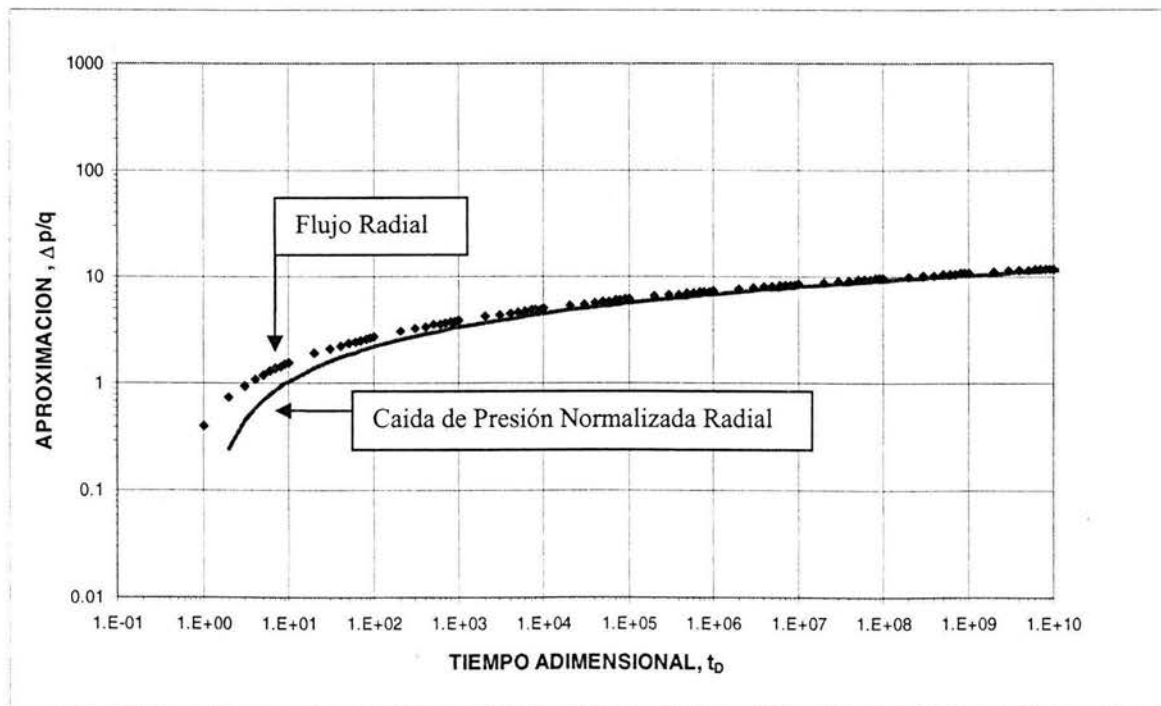


Figura IV.1 aproximación de la caída de presión normalizada para flujo radial y declinación lineal del gasto

La diferencia entre la relación de la caída de presión normalizada para una geometría de flujo lineal con una declinación del gasto lineal y la geometría de flujo lineal misma se observa en la siguiente gráfica de acuerdo a las diferencias analíticas:

$$\Delta p_D = \frac{2}{\pi} t_D^{\frac{1}{2}} \quad (38A)$$

$$\frac{\Delta p_D}{q_D(t)} = \frac{2}{\pi} t_D^{\frac{1}{2}} - \frac{2}{3\pi} t_D^{\frac{1}{2}} = \frac{2}{3} \frac{2}{\pi} t_D^{\frac{1}{2}} \quad (38)$$

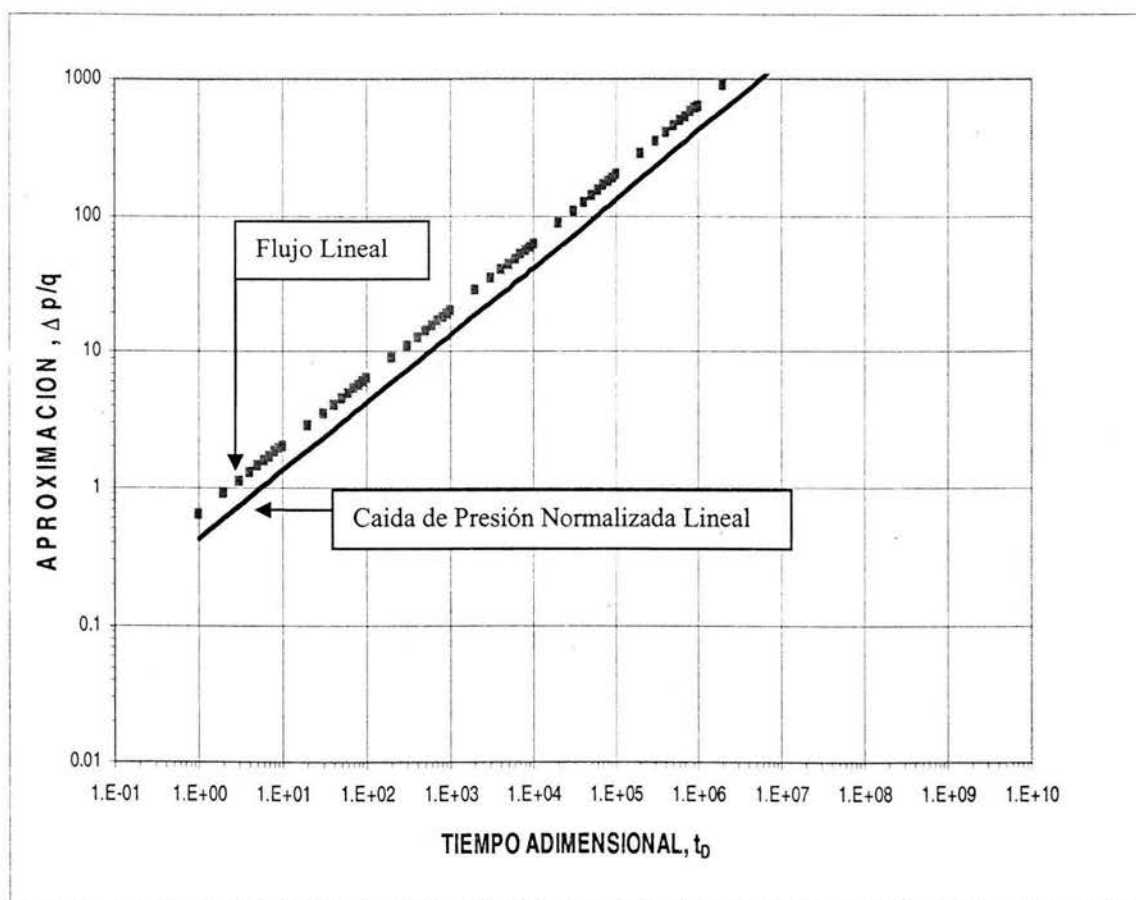


Figura IV.2 aproximación de la caída de presión normalizada para flujo lineal y declinación lineal del gasto

La diferencia entre la relación de la caída de presión normalizada para una geometría de flujo esférica con una declinación del gasto lineal y la geometría de flujo esférica misma se observa en la siguiente gráfica, de acuerdo a las diferencias analíticas:

$$\Delta p_D = 1 - \frac{1}{\sqrt{\pi}} t_D^{-1/2} \quad (39A)$$

$$\frac{\Delta p_D}{q_D(t)} = 1 - \frac{1}{\sqrt{\pi}} t_D^{-1/2} - \frac{1}{\sqrt{\pi}} t_D^{-1/2} = 1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} t_D^{-1/2} \quad (39)$$

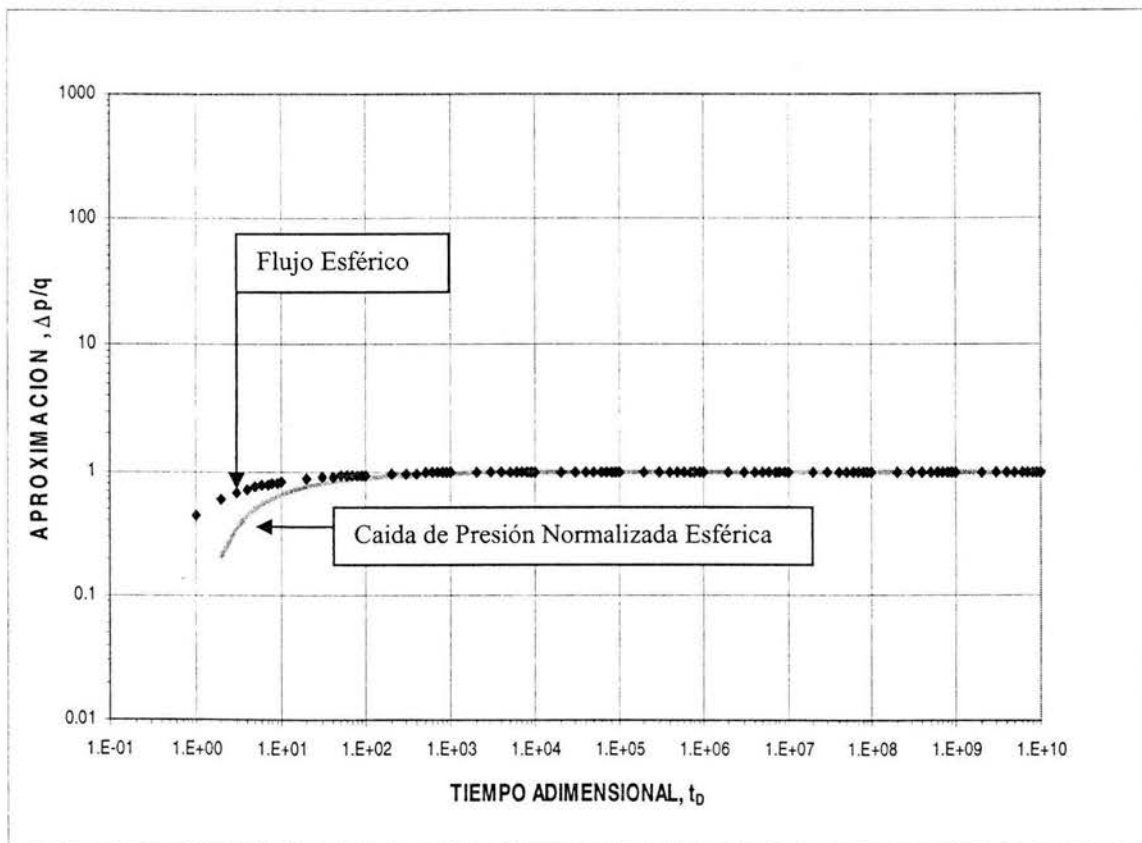


Figura IV.3 aproximación de la caída de presión normalizada para flujo esférico y declinación lineal del gasto

La diferencia entre la relación de la caída de presión normalizada para una geometría de flujo bilineal con una declinación del gasto lineal y la geometría de flujo bilineal misma se observa en la siguiente gráfica, de acuerdo a las diferencias analíticas:

$$\Delta p_D = \frac{2.54}{\sqrt{k_f b_f}} t_D^{\frac{1}{4}} \quad (41A)$$

$$\frac{\Delta p_D}{q_D(t)} = \frac{2.54}{\sqrt{k_f b_f}} t_D^{\frac{1}{4}} - \frac{1}{(5)} \frac{2.54}{\sqrt{k_f b_f}} t_D^{\frac{1}{4}} = \frac{4}{(5)} \frac{2.54}{\sqrt{k_f b_f}} t_D^{\frac{1}{4}} \quad (41)$$

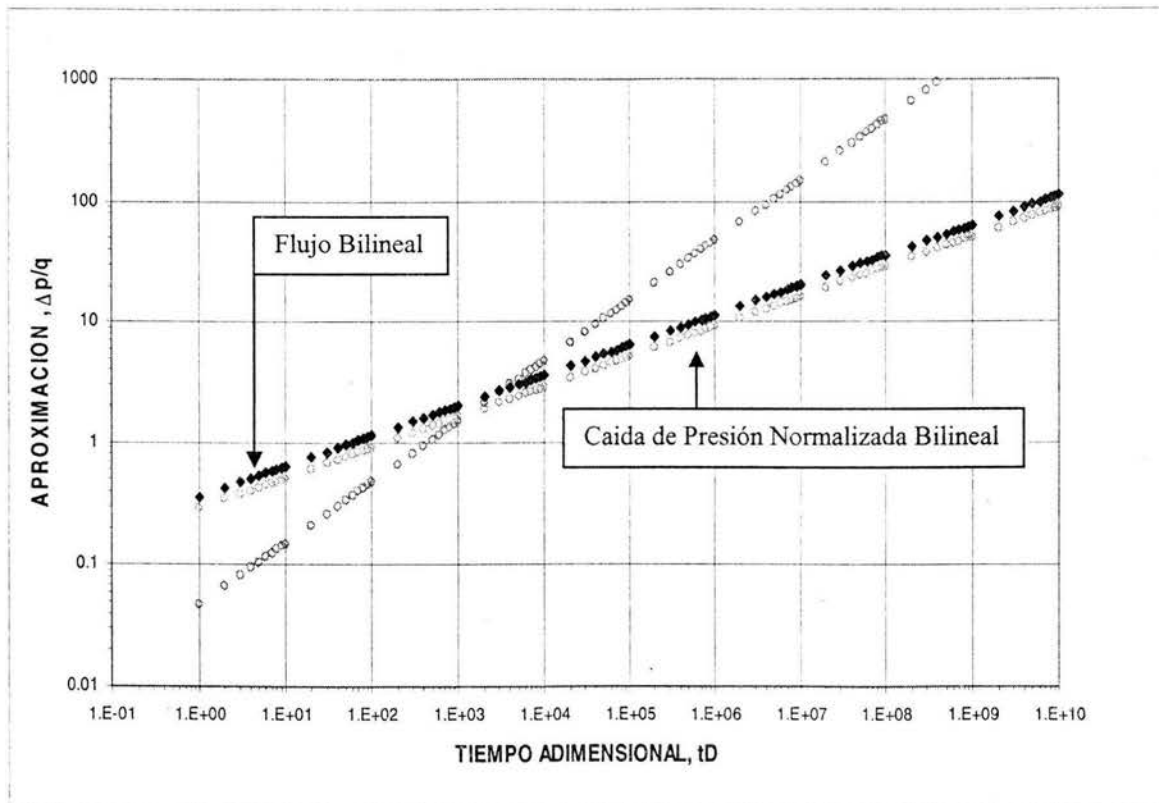


Figura IV.4 aproximación de la caída de presión normalizada para flujo bilineal y declinación lineal del gasto

IV.2. RESULTADOS DEL ANALISIS DE LOS DATOS DE CAMPO

Se utilizaron los datos de producción contra el tiempo de 75 pozos del campo San Ramón, 91 pozos del campo Cinco Presidentes de la Región Sur y 55 pozos del campo Abkatun de la Región Marina como se muestra en las figuras III.6.1 y IV.2.1.

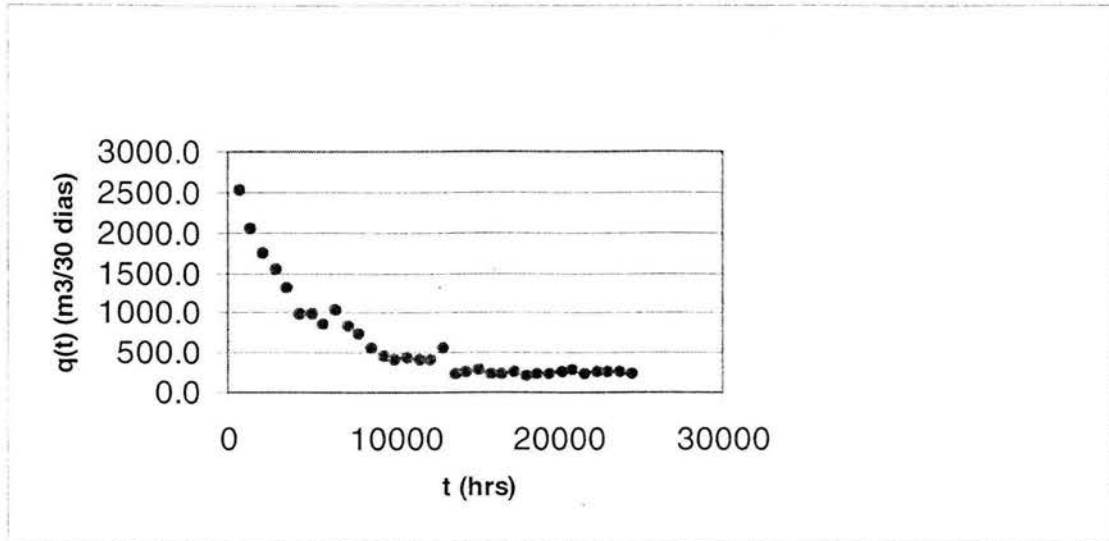


Figura III.6.1 gráfica de gasto contra tiempo típica del campo San Ramón (San Ramón 1 A)

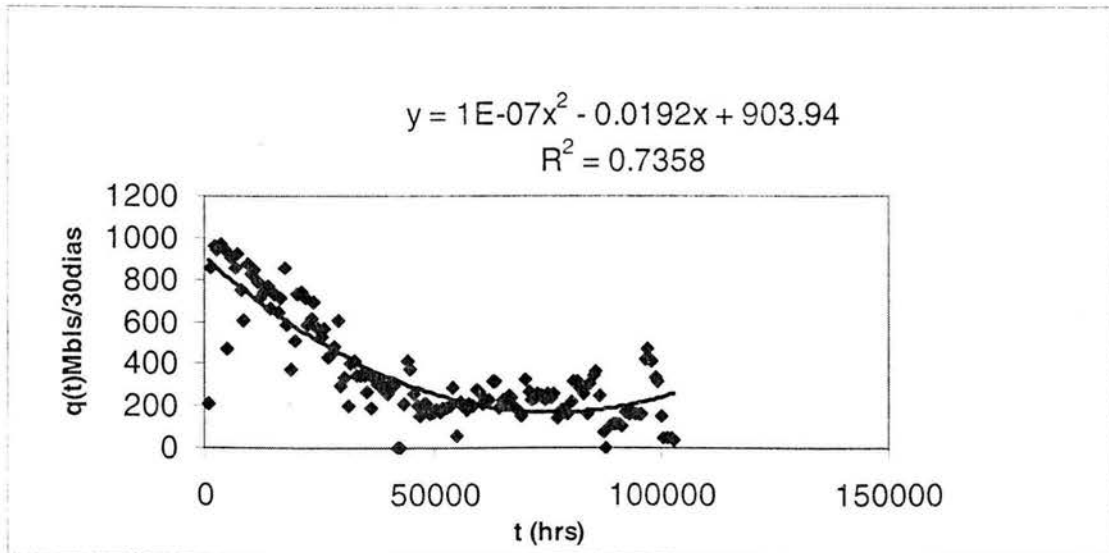


Figura IV.2.1 gráfica de gasto contra tiempo típica del campo Abkatun (Abkatun 5)

El ajuste de los datos de producción contra tiempo del campo San Ramón muestran que el 66% de los pozos al considerar un ajuste cuadrático $q_D(t) = at^2 + bt + c$ el signo del coeficiente b , es negativo, el campo Abkatun muestra que en el 46% de los pozos el signo del coeficiente b , es negativo y el

campo Cinco Presidentes muestra que en el 72.5% de los pozos el signo del coeficiente b, es negativo. Las figuras IV.2.2, IV.2.3 y IV.2.4 ilustran esto:

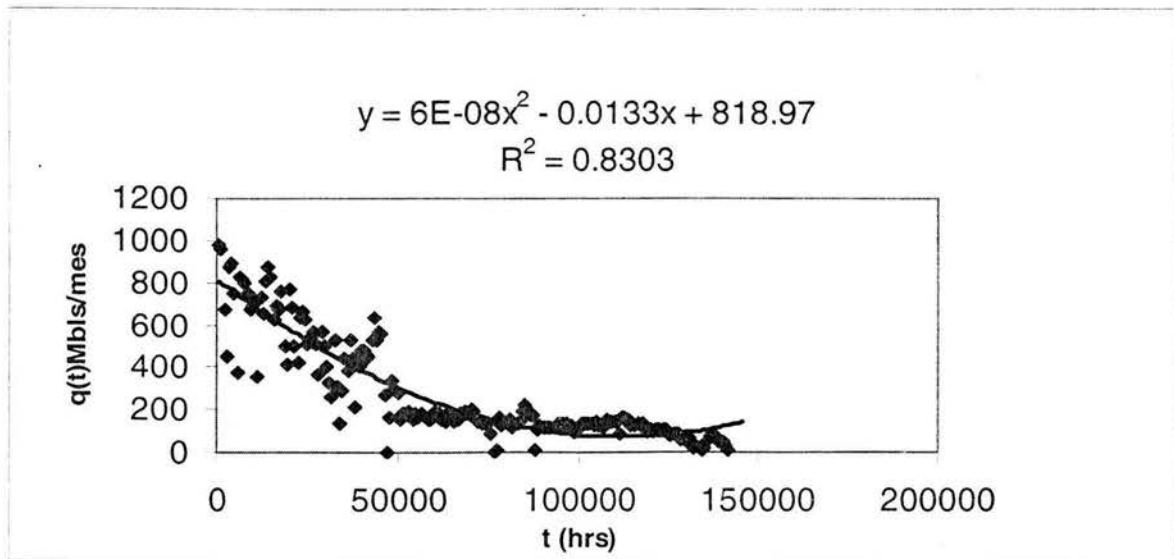


Figura IV.2.2 ajuste de gasto contra tiempo del pozo abkatun72

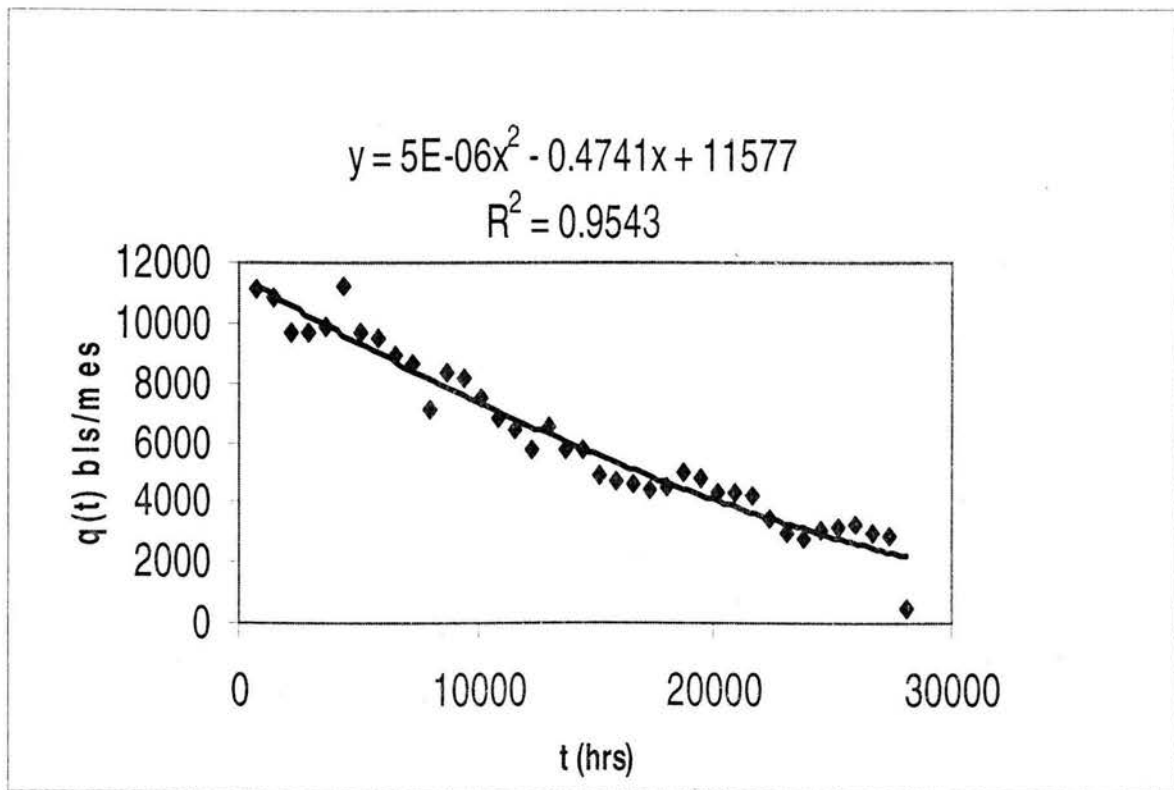


Figura IV.2.3 ajuste de gasto contra tiempo del pozo cinco presidentes 215

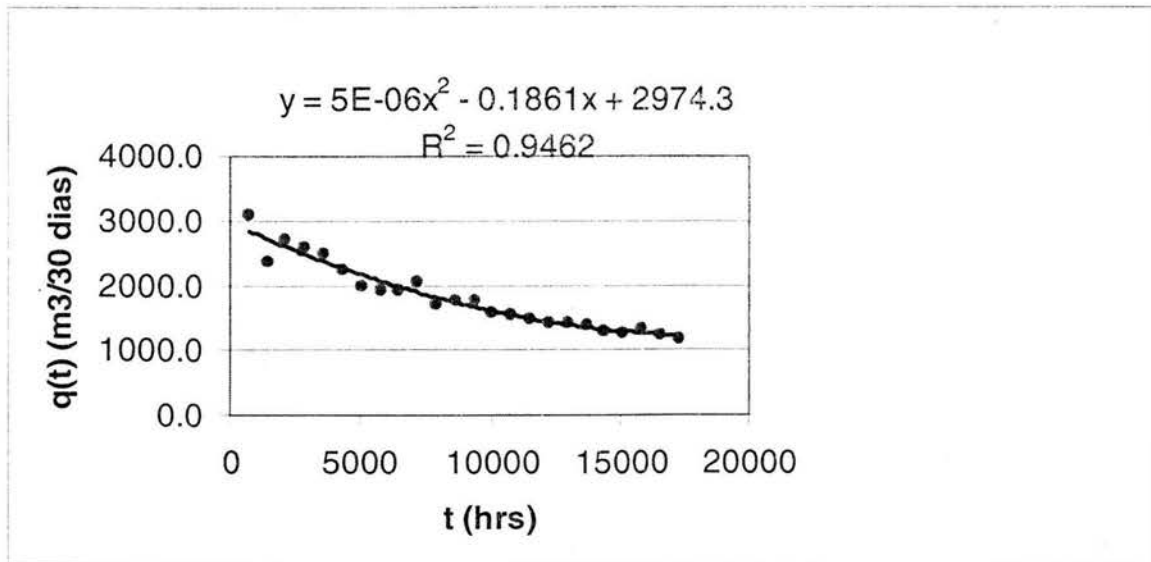


Figura IV.2.4 ajuste de gasto contra tiempo del pozo san ramon 38

La tabla IV.2.1 muestra la estadística de los signos de los coeficientes de la supuesta declinación cuadrática del gasto $q_D(t)=at^2+bt+c$

CAMPO	-b	-a	+c
CINCO PRESIDENTES	72.5%	27.5%	100%
ABKATUN	46%	54%	100%
SAN RAMON	66%	34%	100%

Tabla IV.2.1 estadística de los coeficientes ,a,b,c.

De la tabla IV.2.1 se concluye que la declinación cuadrática del gasto debe considerar al coeficiente b negativo y al coeficiente a positivo, es decir $q_D(t)=at^2-bt+c$.

Simultáneamente, en todos los pozos (221 pozos) se realizaron aparte del ajuste cuadrático los ajustes exponencial, potencial, logarítmico, lineal y cúbico.

La prueba de Pearson al cuadrado, R^2 fue crucial para determinar que la declinación natural corresponde a la declinación cuadrática de la forma $q_D(t)=at^2-bt+c$.

El caso en el que el coeficiente, a es negativo corresponde a una declinación cuadrática $q_D(t)= - at^2+bt+c$, que contiene las intervenciones realizadas al pozo, como puede ser observado en los datos (ver apéndice F).

Una prueba adicional se realizó ordenando los datos de producción de cualquier pozo (por ejemplo el pozo Cinco Presidentes 28d). Como se observa en la figura IV.2.5 los picos representan los máximos inmediatos a las reparaciones o intervenciones al pozo en distintos tiempos.

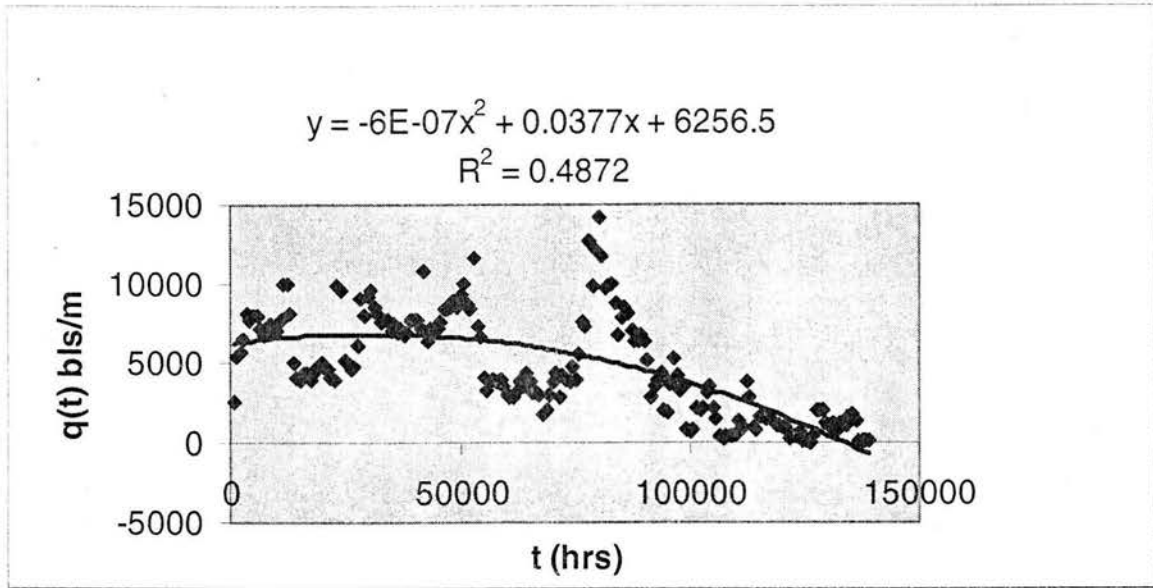


Figura IV.2.5 ajuste de gasto contra tiempo del pozo cinco presidentes. 28d

Ordenando los datos de manera descendente, obtenemos la producción total pero ignoramos la distribución en el tiempo de las intervenciones al pozo como se observa en la figura IV.2.6

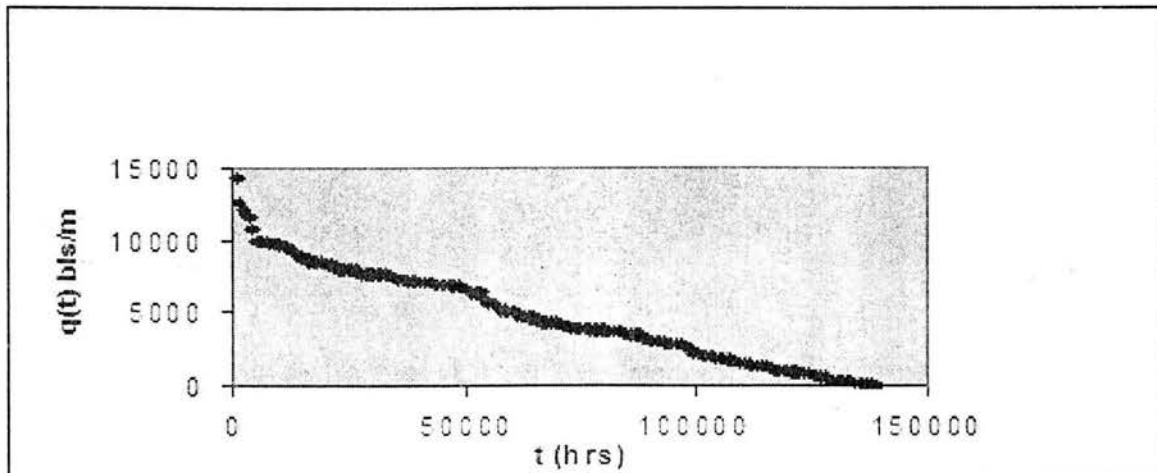


Figura IV.2.6 datos ordenados descendentes del pozo cinco presidentes. 28d

Ahora repetimos los ajustes para observar uno distinto al ajuste cuadrático encontrado por la prueba R^2 , así:

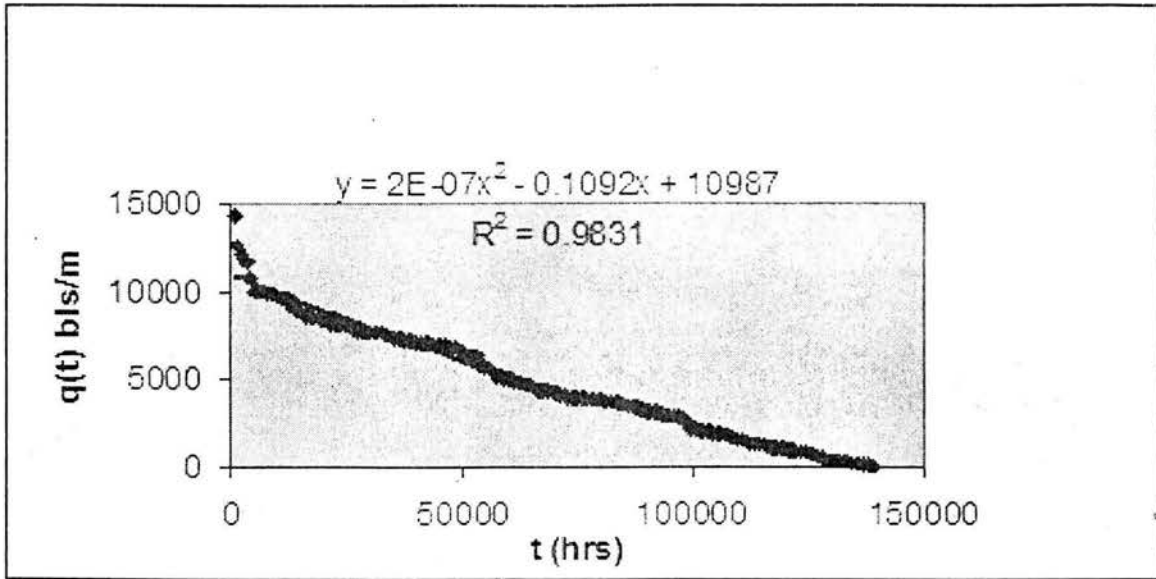


Figura IV.2.7.ajuste cuadrático del pozo cinco presidentes. 28d

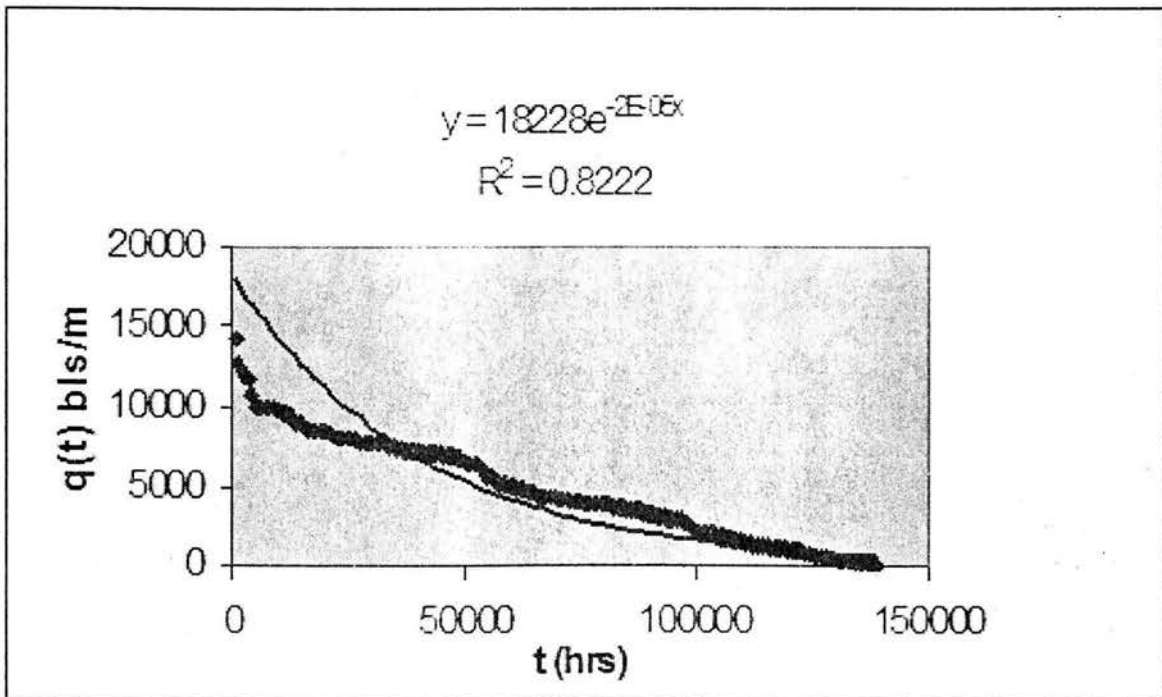


Figura IV.2.8.ajuste exponencial del pozo cinco pres. 28d

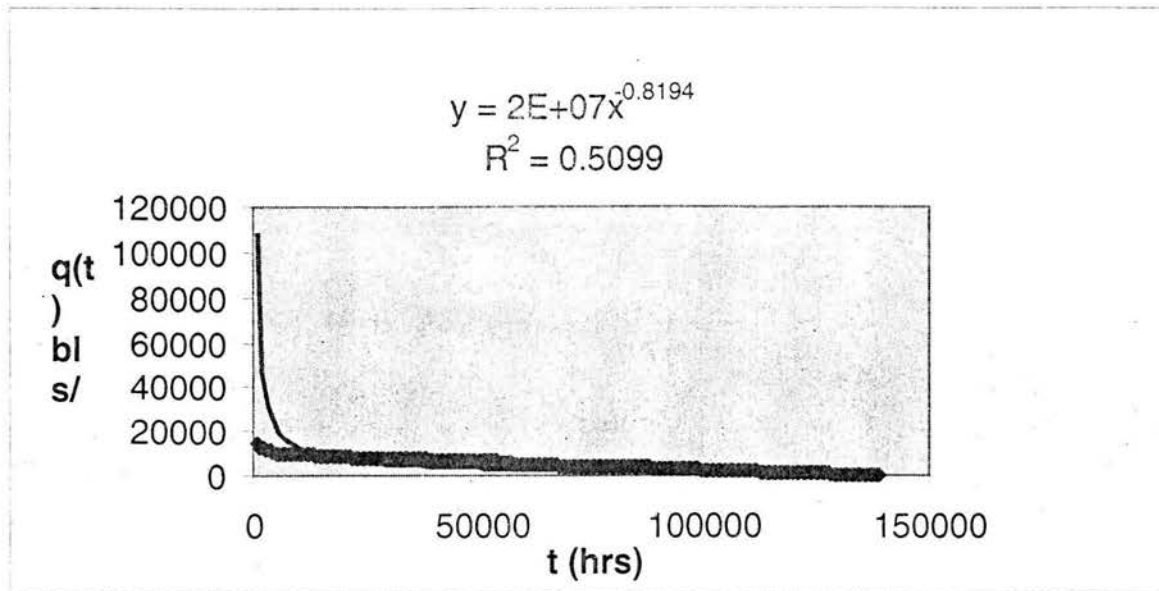


Figura IV.2.9.ajuste potencial del pozo cinco presidentes. 28d

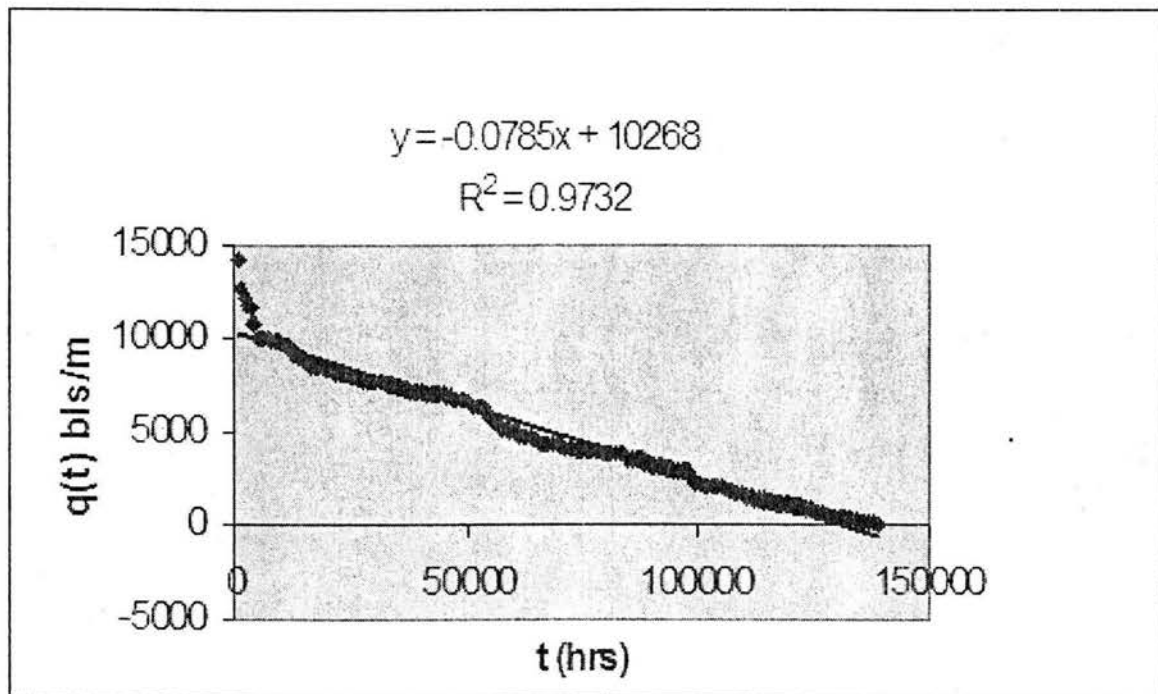


Figura IV.2.10.ajuste lineal del pozo cinco presidentes. 28d

Las gráficas muestran que el ajuste cuadrático discrepa menos de los datos de producción, conservando que la declinación natural corresponde a una declinación de la forma $q_D(t) = at^2 - bt + c$.

La relación de la caída de presión normalizada con una declinación cuadrática del gasto es la ecuación (46)

$$\frac{\Delta p_D}{q_D(t)} = \Delta p_{D1}(t_D) - \frac{1}{at_D^2 - bt_D + c} \left((2at_D - b) \int_0^{t_D} \tau \Delta p'_{D1}(\tau) d\tau - a \int_0^{t_D} \tau^2 \Delta p'_{D1}(\tau) d\tau \right) \quad (46)$$

Esta requiere su evaluación considerando los valores de los coeficiente a,b,c, promedios de los tres distintos campos de acuerdo a la siguiente tabla IV.2.2

Campo	a	b	C
Cinco Presidentes	4.7E-5	0.872595	9844.52
Abkatun	7.7E-8	0.008788	455E03
San Ramón	3E-3	0.5907	

Tabla IV.2.2 promedio de los coeficientes ,a,b,c.

Estos valores fueron sustituidos en la relación de coeficientes de la ecuación (46A)

$$\frac{(2at_D - b)}{at_D^2 - bt_D + c} \quad (46A)$$

Así al variar el tiempo adimensional, t_D se obtuvo la siguiente lista IV.2.1 parcial (ver lista completa en el Apéndice F)

VALORES	TD	VALORES	TD
-1.92863E-05	1	2.5E-24	8E+23
-1.92863E-05	2	2.22222E-24	9E+23
-1.92864E-05	3	2E-24	1E+24
-1.92864E-05	4	1E-24	2E+24
-1.92864E-05	5	6.66667E-25	3E+24
-1.92865E-05	6	5E-25	4E+24
-1.92865E-05	7	4E-25	5E+24
-1.92865E-05	8	3.33333E-25	6E+24
-1.92866E-05	9	2.85714E-25	7E+24
-1.92866E-05	10	2.5E-25	8E+24

Lista IV.2.1 valores de (46 a) variando t_d

Como se observa en la lista los valores de la ecuación (46 A) descienden a valores pequeños cuando t_D varía a valores grandes.

IV.3. RESULTADOS DE $\Delta p/q$ CON DECLINACIÓN CUADRÁTICA DEL GASTO

La discrepancia entre la relación de la caída de presión normalizada para una geometría de flujo radial con una declinación cuadrática del gasto y la geometría de flujo radial misma se observa en la siguiente gráfica de acuerdo a las expresiones analíticas:

$$\Delta p_D = \frac{1}{2} [\ln t_D + 0.80907] \tag{37A}$$

$$\frac{\Delta p_D}{q_D(t)} = \frac{1}{2} [\ln t_D + 0.80907] - \left[\frac{1}{4} \frac{(3at^2 - 2bt)}{at^2 - bt + c} \right] \tag{47}$$

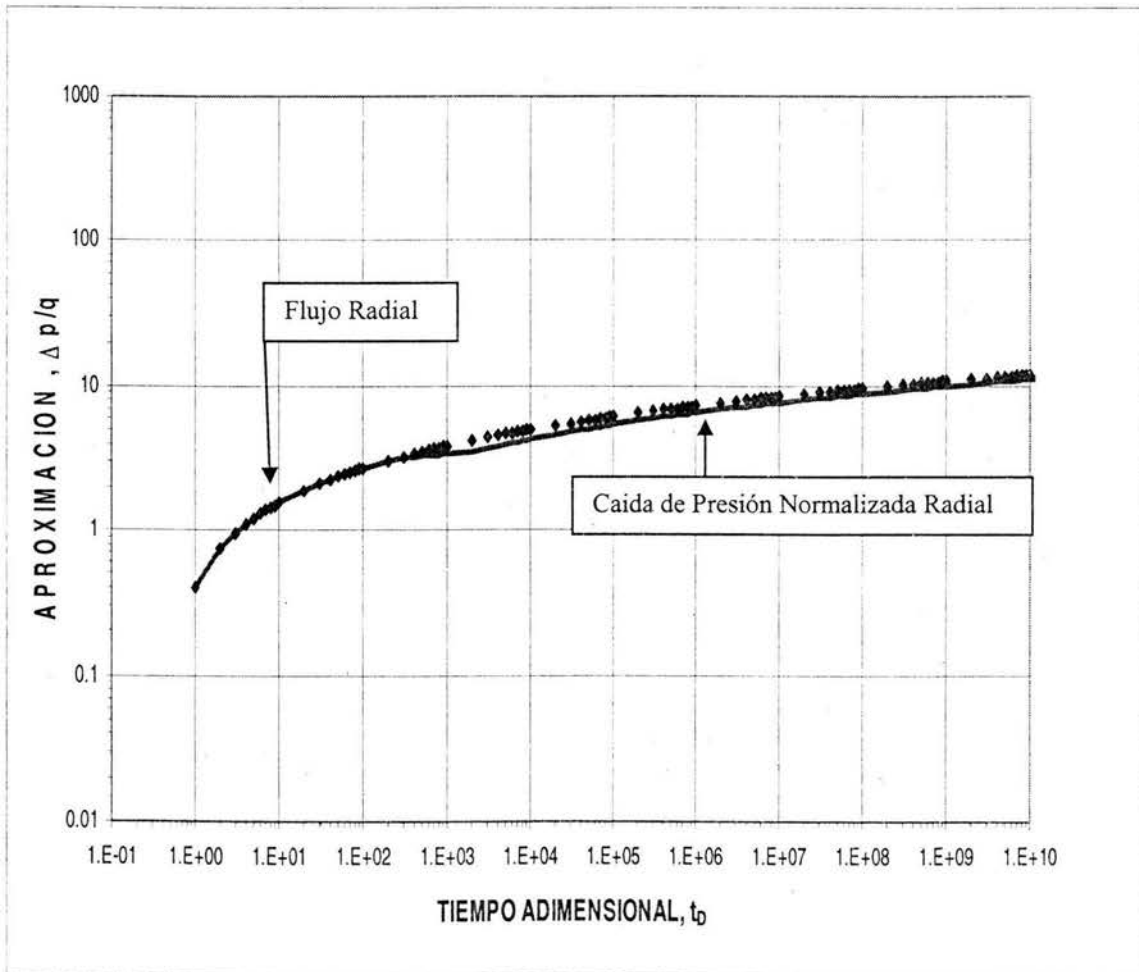


Figura IV.3.1 aproximación de la caída de presión normalizada para flujo radial y declinación cuadrática del gasto

La discrepancia entre la relación de la caída de presión normalizada para una geometría de flujo lineal con una declinación cuadrática del gasto y la geometría de flujo lineal misma se observa en la siguiente gráfica de acuerdo a las expresiones analíticas:

$$\Delta p_D = \frac{2}{\pi} t_D^{\frac{1}{2}} \quad (38A)$$

$$\frac{\Delta p_D}{q_D(t)} = \frac{2}{\pi} t_D^{\frac{1}{2}} - \left[\frac{1}{3} \frac{(2at^2 - bt)}{at^2 - bt + c} - \frac{1}{5} \frac{at^2}{at^2 - bt + c} \right] \frac{2}{\pi} t_D^{\frac{1}{2}} \quad (48)$$

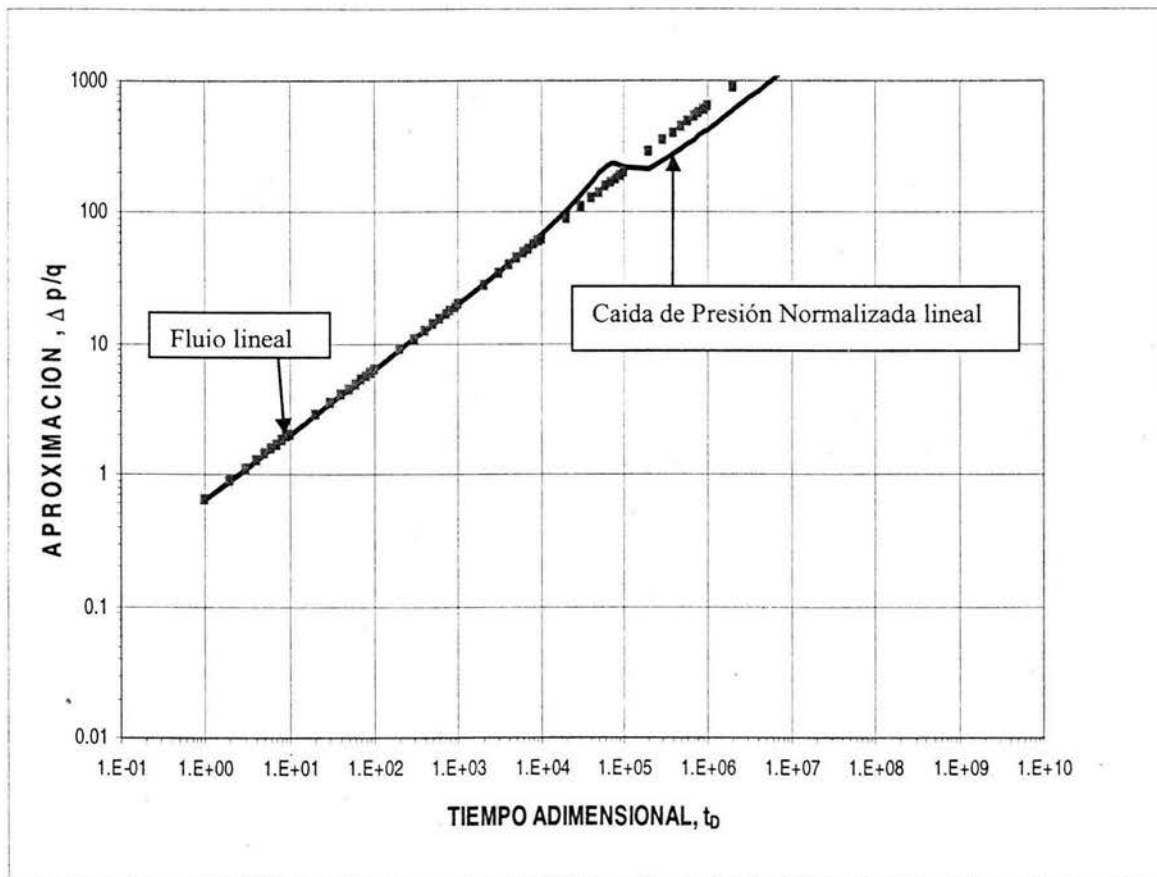


Figura IV.3.2 aproximación de la caída de presión normalizada para flujo lineal y declinación cuadrática del gasto

La discrepancia entre la relación de la caída de presión normalizada para una geometría de flujo esférico con una declinación cuadrática del gasto y la geometría de flujo esférica misma se observa en la siguiente gráfica de acuerdo a las expresiones analíticas:

$$\Delta p_D = 1 - \frac{1}{\sqrt{\pi}} t_D^{-\frac{1}{2}} \quad (39A)$$

$$\frac{\Delta p_D}{q_D(t)} = 1 - \frac{1}{\sqrt{\pi}} t_D^{-\frac{1}{2}} - \frac{1}{\sqrt{\pi}} \frac{(2at-b)}{at^2-bt+c} t_D^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{\sqrt{\pi}} \frac{1}{3} \frac{a}{at^2-bt+c} t_D^{\frac{1}{2}} \quad (50)$$

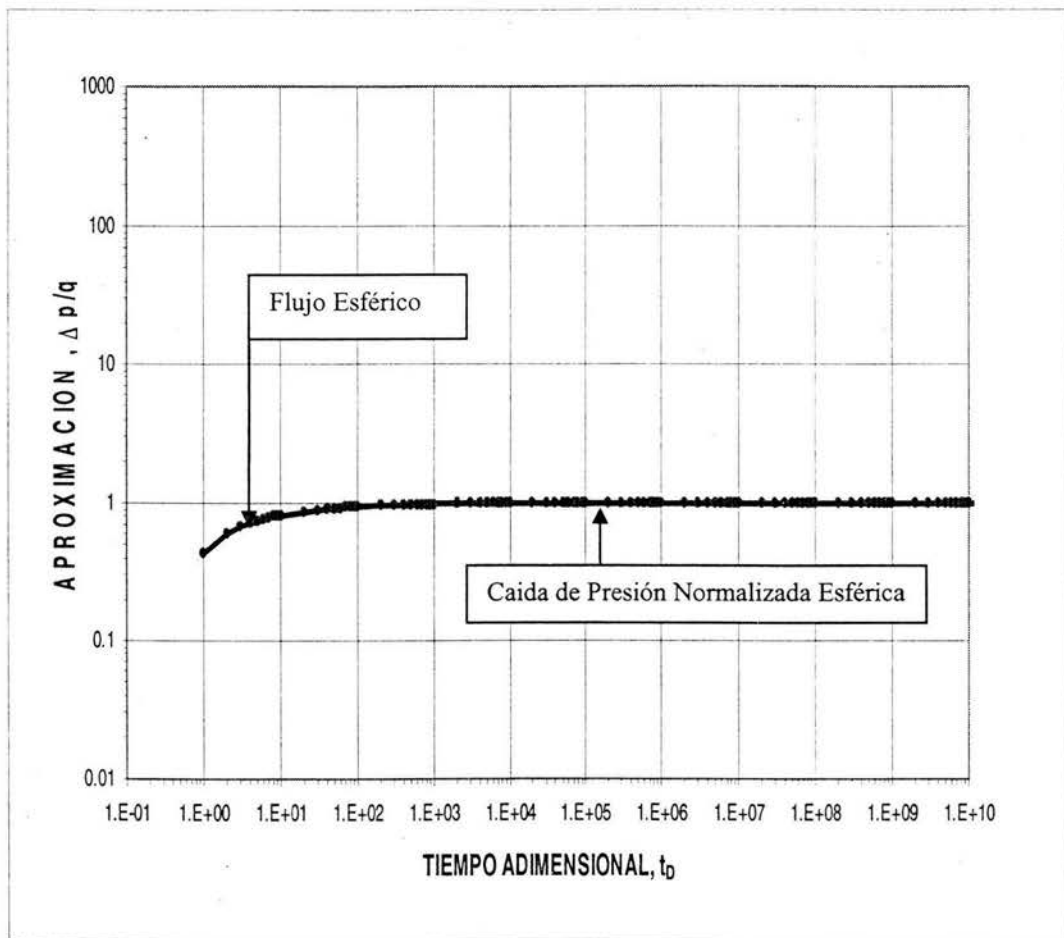


Figura IV.3.3 aproximación de la caída de presión normalizada para flujo esférico y declinación cuadrática del gasto

La discrepancia entre la relación de la caída de presión normalizada para una geometría de flujo bilineal con una declinación cuadrática del gasto y la geometría de flujo bilineal misma se observa en la siguiente gráfica de acuerdo a las expresiones analíticas:

$$\Delta p_D = \frac{2.54}{\sqrt{k_f b_f}} t_D^{\frac{1}{4}} \quad (41A)$$

$$\frac{\Delta p_D}{q_D(t)} = \frac{2.54}{\sqrt{k_f b_f}} t_D^{\frac{1}{4}} - \frac{1}{5} \frac{(2at-b)t}{at^2-bt+c} \frac{2.54}{\sqrt{k_f b_f}} t_D^{\frac{1}{4}} + \frac{1}{9} \frac{at^2}{at^2-bt+c} \frac{2.54}{\sqrt{k_f b_f}} t_D^{\frac{1}{4}} \quad (49)$$

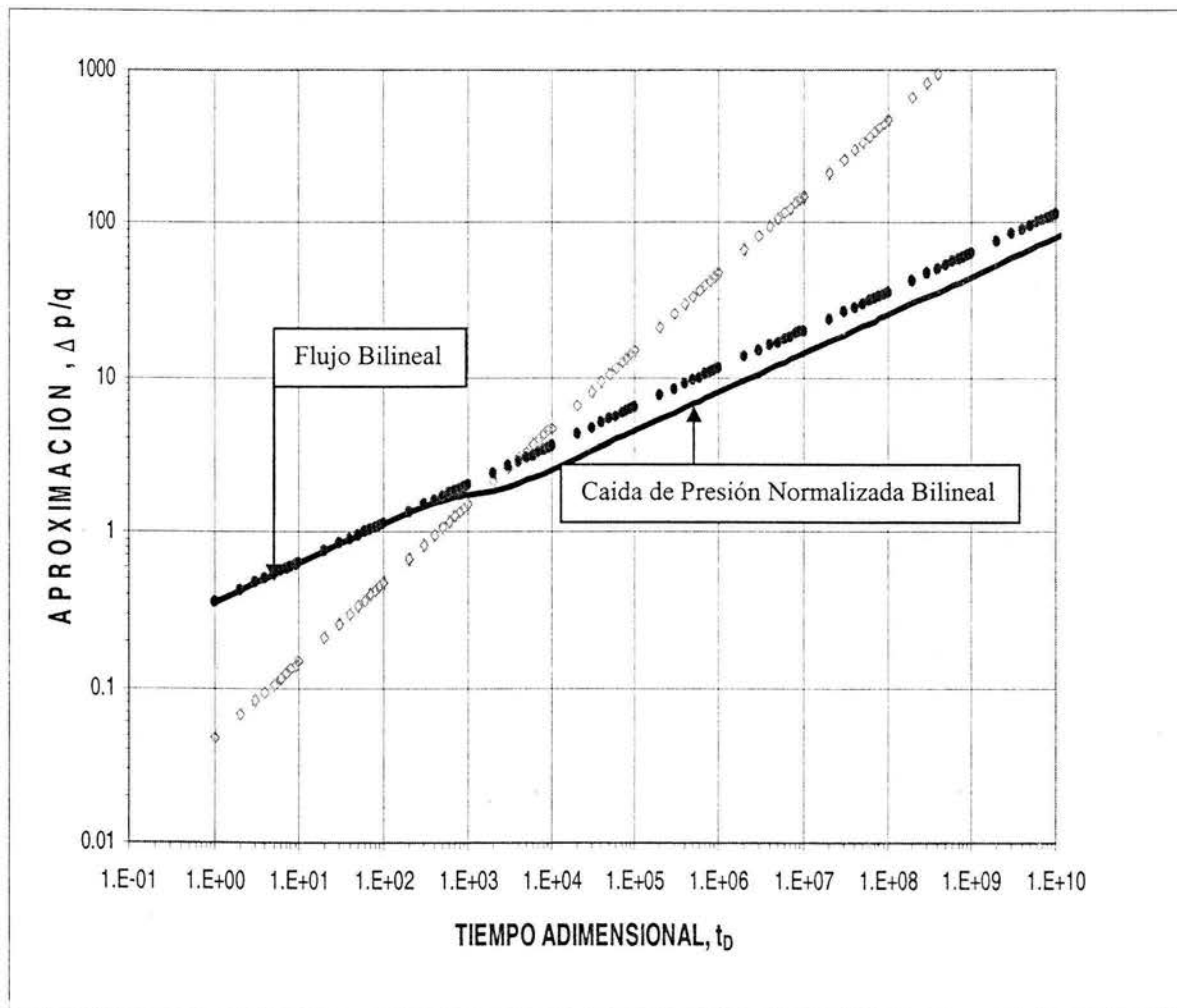


Figura IV.8 aproximación de la caída de presión normalizada para flujo bilineal y declinación cuadrática del gasto

La discrepancia de la relación de la caída de presión normalizada con cualquier geometría de flujo y con declinación cuadrática del gasto es menor que con declinación lineal del gasto como se observa en las siguientes tablas

TD	NORMALIZADA_Radial	Flujo radial
1	4.05E-01	4.05E-01
2	7.52E-01	7.51E-01
3	9.55E-01	9.54E-01
4	1.10E+00	1.10E+00
5	1.21E+00	1.21E+00
6	1.30E+00	1.30E+00
7	1.38E+00	1.38E+00
8	1.45E+00	1.44E+00
9	1.51E+00	1.50E+00
10	1.56E+00	1.56E+00

Tabla IV.3.1 de la caída de presión normalizada con declinación cuadrática del gasto

TD	Normalizada_Radial	Flujo Radial
1	-9.55E-02	4.05E-01
2	2.51E-01	7.51E-01
3	4.54E-01	9.54E-01
4	5.98E-01	1.10E+00
5	7.09E-01	1.21E+00
6	8.00E-01	1.30E+00
7	8.77E-01	1.38E+00
8	9.44E-01	1.44E+00
9	1.00E+00	1.50E+00
10	1.06E+00	1.56E+00

Tabla IV.3.2 de la caída de presión normalizada con declinación lineal del gasto

La tabla IV.3.1 muestra una discrepancia entre la aproximación de la caída de presión normalizada y la geometría radial misma de centésimas con una declinación cuadrática del gasto y la tabla IV.3.2 muestra una discrepancia mucho mayor de centésimas con una declinación lineal del gasto.

Analógamente para cualquier otra geometría, significando con esto que la aproximación de la caída de presión normalizada con una declinación cuadrática del gasto, estima adecuadamente la geometría de flujo misma que se trate. En síntesis se puede considerar la ecuación (46) un estimador de la respuesta de presión con gasto variable.

$$\frac{\Delta p_D}{q_D(t)} = \Delta p_{D1}(t_D) - \frac{1}{at_D^2 - bt_D + c} \left((2at_D - b) \int_0^t \tau \Delta p'_{D1}(\tau) d\tau - a \int_0^t \tau^2 \Delta p'_{D1}(\tau) d\tau \right) \quad (46)$$

IV.4. RESULTADOS DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS DE HISTORIAS DE PRODUCCION.

El considerar una declinación cuadrática del gasto en la ecuación de convolución (17) condujo a revisar 232 pozos de distintos campos. El análisis estadístico determinó que la declinación natural de los pozos productores es cuadrática de la forma:

$$q_D(t) = at^2 - bt + c$$

y la declinación de los pozos con intervenciones es de la forma:

$$q_D(t) = -at^2 + bt + c$$

Se confirmó esto con la prueba R^2 para todos los casos.

IV.5. RESULTADOS DEL MODELO DE LA CAÍDA DE PRESIÓN NORMALIZADA CON DECLINACIÓN CUADRÁTICA DEL GASTO EN VARIABLES REALES

La ecuación (46) que está en variables adimensionales es convertida para toda geometría de flujo en variables reales obteniéndose las siguientes expresiones analíticas.

$$\frac{\Delta p}{q(t)} + \left[\frac{1}{4} \frac{(3at^2 - 2bt)}{at^2 - bt + c} \right] = \frac{0162.6B\mu}{kh} \left[(0.4343)\ln t + (0.4343)\ln \frac{k}{\phi\mu c_i r_w^2} - 3.2275 \right] \quad (54)$$

$$\frac{\frac{\Delta p}{q(t)}}{\left[1 - \left[\frac{1}{3} \frac{(2at^2 - bt)}{at^2 - bt + c} - \frac{1}{5} \frac{at^2}{at^2 - bt + c} \right] \right]} = \frac{16.25 B\mu}{A(k\phi\mu c_i)^{\frac{1}{2}}} t^{\frac{1}{2}} \quad (55)$$

$$\frac{\Delta p}{q(t)} + \frac{\alpha q B\mu^2 (\phi c_i)^{\frac{1}{2}}}{\sqrt{\pi\beta}} \left[\frac{(2at-b)}{at^2 - bt + c} t^{\frac{1}{2}} - \frac{1}{3} \frac{a}{at^2 - bt + c} t^{\frac{3}{2}} \right] \equiv \frac{\alpha q B\mu}{k r_w} - \frac{\alpha q B\mu^2 (\phi c_i)^{\frac{1}{2}}}{\sqrt{\pi\beta} k^{\frac{3}{2}}} t^{-\frac{1}{2}} \quad (56)$$

Se reconocen del lado derecho de estas igualdades las geometrías de flujo mismas, por lo que se preguntó en el capítulo III.8, ¿ las gráficas del lado izquierdo de éstas ecuaciones contra alguna función del tiempo son líneas rectas ?.

Efectivamente las gráficas III.8.3,4,5 mostraron que para el caso real del campo Sen , las aproximaciones de la caída de presión normalizada de las geometrías graficadas contra alguna función del tiempo t, se comportan linealmente.

Esto permite afirmar que las aproximaciones con la caída de presión normalizada son gráficas especializadas.

Para comprobar esto se utilizaron gasto, caídas de presiones y tiempos del campo Sen, del pozo Jujo-5 y el pozo Jujo-9. Se graficaron cada conjunto de datos con las ecuaciones (58), (59) y (60).

Para el campo Sen, las gráficas III.8.6, III.8.7 y III.8.8 ilustran que los datos se distribuyen con tendencias lineales por lo que se cuestionó lo siguiente : ¿Cual de estas tendencias es la más lineal ?.

Esta pregunta fue resuelta estadísticamente por la prueba R^2 como se observa en la tabla III.8.2.

La caída de presión normalizada	R^2
LINEAL	0.8448
RADIAL	0.8514
ESFÉRICO	0.8374

Tabla IV.5.1 prueba r^2 para el campo sen.

Por lo que la geometría de Flujo de la caída de presión normalizada que domina en el rango de tiempo considerado (5053 hrs.) es la **RADIAL**.

Analogamente para los datos del Pozo Jujo-5

La caída de presión normalizada	R^2
LINEAL	0.815
RADIAL	0.12
ESFÉRICO	0.79

Tabla IV.5.2 prueba r^2 para el pozo jujo-5.

Por lo que la geometría de Flujo de la caída de presión normalizada que domina en el rango de tiempo considerado (7920 hrs.) es la **LINEAL**.

Un estudio realizado por Pemex Exploración y Producción , muestra a través del sistema Pansystem que la geometría de flujo que domina en el pozo Jujo-5 es la geometría lineal, la siguiente gráfica IV.9 muestra éste resultado

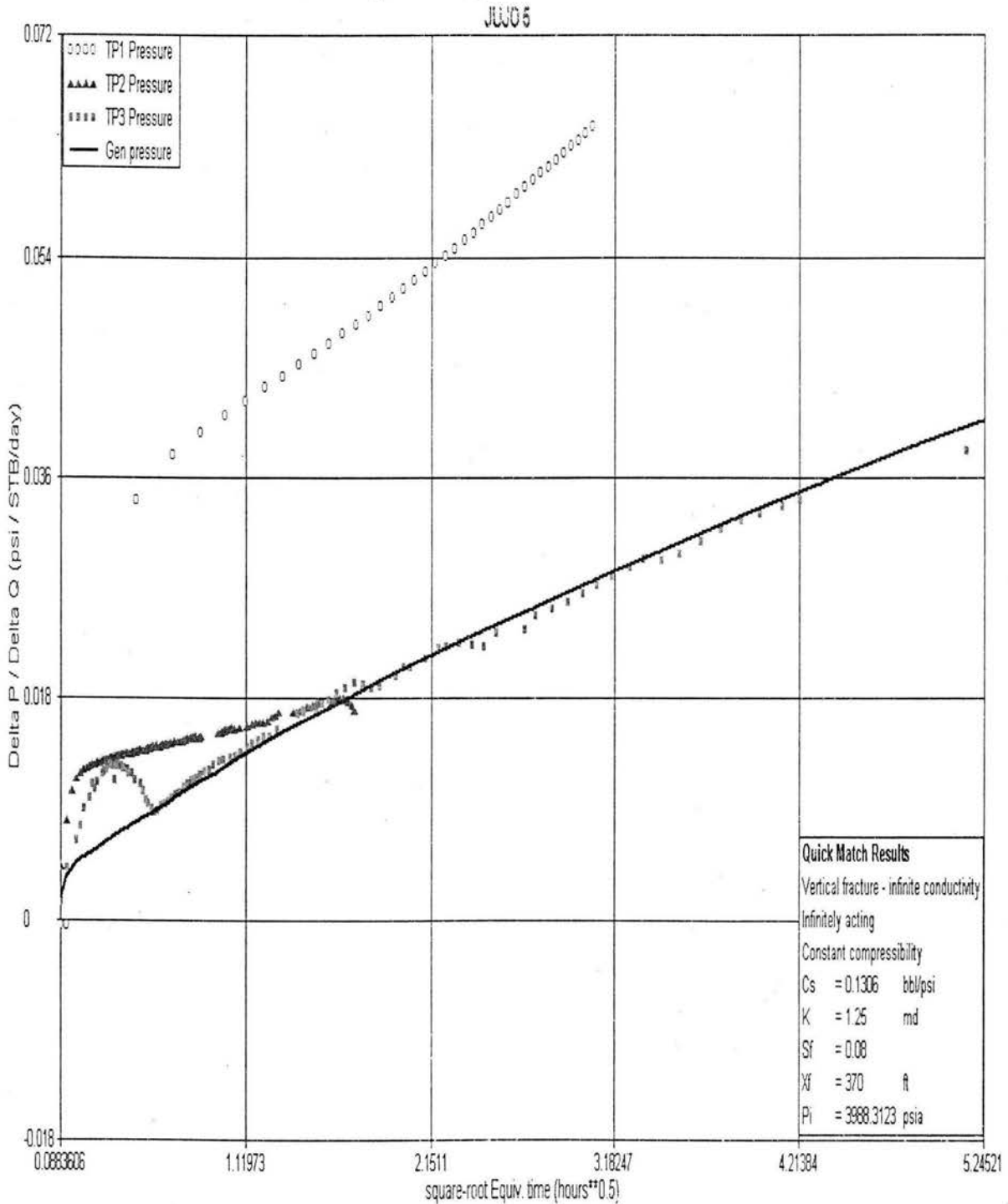


Figura IV.9 resultado de pemex en el pozo jujo-5 como flujo lineal

Analogamente para los datos del pozo Jujo-9.

La caída de presión normalizada	R ²
LINEAL	0.89
RADIAL	0.84
ESFÉRICO	0.72

Tabla IV.5.3 prueba r² para el pozo jujo-9.

Por lo que la geometría de Flujo de la caída de presión normalizada que domina en el rango de tiempo considerado (25704 horas) es la **LINEAL**.

Los resultados anteriores muestran la generalidad de la aplicación de la aproximación de la caída de presión normalizada, ya que el primer caso fue un campo completo en un rango de tiempos de 5053 horas. El segundo caso fue un solo pozo en un rango de tiempo de 7920 horas y finalmente el tercer caso fue un pozo en un intervalo de tiempo de 25704 horas.

Cabe mencionar para los tiempos grandes de producción de todo el campo productor Sen era de esperar una geometría de tipo radial no obstante que la presencia de un acuífero activo enmascara la geometría que domina al obtener linealidades en las geometrías muy cercanas. El pozo Jujo-5 fue fracturado por lo que en alguna etapa es predominantemente lineal.

En síntesis se puede establecer que la relación de la caída de presión normalizada es una metodología que puede ser utilizada para el diagnóstico. Y se recomienda continuar utilizando esta herramienta para establecer su error estándar de desviación como tal.

Finalmente utilizando los datos del campo Sen :

alfa(r)=	141.2
alfa(L)=	887.2
alfa(esf)=	70.6
beta=	2.64E-04
mu (cp)=	0.265
ct (1/psi)=	3.00E-05
Bo=	3.15
k (m d)=	1700
h (PIES)=	204.63
L (pies)=	3000
b (PIES)=	1500
rw (pies)=	0.416
porosidad=	0.05087253

Tabla IV.5.4 datos del campo sen.

Y puesto que la aproximación de la caída de presión normalizada _ Radial graficada contra el log de t, es lineal se puede determinar la pendiente m

$$m = 1.437$$

Sustituyendo esta pendiente m y los valores del yacimiento en la ecuación :

$$m = \frac{162.6qB\mu}{kh} \quad (61)$$

Se obtiene despejando la permeabilidad, k.

$$1568.1 = k = \frac{162.6 (3397)(3.15)(0.265)}{1.437 (204.63)} \quad (61A)$$

Es decir la permeabilidad obtenida de 1568.1 md, con la aproximación de la caída de presión normalizada _Radial es el 92.2 % de la permeabilidad promedio inicial de 1700 md.

Para el caso del pozo Jujo-5, se manejan los siguientes datos:

q	dp	t	t	NOR
486	2120.20	2304	151.78932	0.4331158
465	4025.68	2520	158.74507	0.8597738
405	5106.40	2736	165.40858	1.2519223
380	4281.64	2880	169.70562	1.1179265
331	5092.18	3024	173.89652	1.5280358
214	4978.42	3096	175.9545	2.3021990

Tabla IV.5.5 datos del pozo jujo-5.

Y con una gráfica y ajuste de regresión lineal de las dos últimas columnas se obtuvo el siguiente valor de pendiente m,

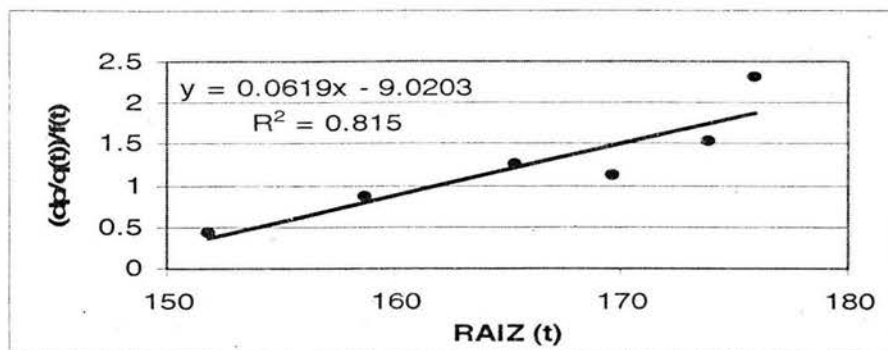


Figura IV.5.1 aproximación la caída de presión normalizada para flujo lineal del pozo jujo-5

Con la pendiente $m=0.0619$, se sustituyó en la siguiente fórmula

$$b = \frac{16.25qB\mu}{mh_r(\phi\mu c,k)} \quad (62)$$

Obteniendo un valor de $b= 303.4$ pies.

Como resultados de este estudio se tienen los siguientes:

- 1.- En variables adimensionales se resolvió la integral de la convolución considerando un gasto variable tanto lineal como cuadrático, encontrando que el gasto variable cuadrático es una aproximación más precisa a la respuesta de presión para cualquier geometría de flujo considerada.
- 2.- Se demostró que la declinación natural de la producción de los pozos productores de aceite se ajusta a una ecuación cuadrática en la que el coeficiente del término de primer grado es negativo.
- 3.- Se demostró que la declinación de la producción con intervenciones se ajusta a una ecuación cuadrática en la que el coeficiente del término de segundo grado es negativo.
- 4.- Se resolvió la integral de la convolución en variables reales con declinación cuadrática del gasto.
- 5.- Se demostró que la caída de presión normalizada de la geometría de flujo radial tiene una tendencia lineal cuando se gráfica en función del logaritmo del tiempo t .
- 6.- Se demostró que la caída de presión normalizada de la geometría de flujo lineal tiene una tendencia lineal cuando se gráfica en función de la raíz cuadrada del tiempo t .

7.- Se demostró que la caída de presión normalizada de la geometría de flujo esférica tiene una tendencia lineal cuando se gráfica en función de uno entre la raíz cuadrada del tiempo t .

8.- Se afirma que dado una triada de datos de presión, gastos y tiempos se pueden graficar las aproximaciones caída de presión normalizada de distintas geometrías tal que estadísticamente se determine por la prueba R^2 cual tiene mayor linealidad, esto permite determinar cual es la geometría de flujo que domina.

9.- Es posible estimar parámetros con las aproximaciones caída de presión normalizada de las geometrías de flujo.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

De éste estudio se concluye que el resolver la integral de la convolución considerando un gasto variable cuadrático, permite al no tener un gasto constante, establecer la caída de presión normalizada como una aproximación a la respuesta de presión para cualquier geometría de flujo considerada.

Ésta caída de presión normalizada de la geometría de flujo radial tiene una tendencia lineal cuando se gráfica en función del logaritmo del tiempo t .

Además la caída de presión normalizada de la geometría de flujo lineal tiene una tendencia lineal cuando se gráfica en función de la raíz cuadrada del tiempo t .

Y la caída de presión normalizada de la geometría de flujo esférica tiene una tendencia lineal cuando se gráfica en función de uno entre la raíz cuadrada del tiempo t .

Se afirma que dado una triada de datos de presión, gastos y tiempos se pueden graficar las caídas de presión normalizadas de distintas geometrías tal que estadísticamente se determine por la prueba R^2 cual tiene mayor linealidad, esto permite determinar cual es la geometría de flujo que domina. Y también por rangos de tiempos de una triada de datos determinar la geometría de flujo que domina en cada rango.

También es posible estimar parámetros del yacimiento con las caídas de presión normalizadas de las geometrías de flujo.

Finalmente se demostró que la declinación natural de la producción de los pozos productores de aceite se ajusta a una ecuación cuadrática en la que el coeficiente del término de primer grado es negativo. Y se demostró que la declinación de la producción con intervenciones se ajusta a una ecuación cuadrática en la que el coeficiente del término de segundo grado es negativo.

NOMENCLATURA

B_o	Factor de volumen
C	Almacenamiento en el pozo
C_D	Almacenamiento Adimensional en el pozo
c	Compresibilidad del fluido
c_t	Compresibilidad total
c_o	Compresibilidad del líquido fluyendo
c_w	Compresibilidad del agua congénita
h	Espesor de la formación o del yacimiento
k	Permeabilidad
p	Presión
p_i	Presión inicial del yacimiento
Δp	Cambio de presión
p_D	Presión Adimensional
p_{wD}	Respuesta de presión Adimensional en el pozo
q	Gasto
q_D	Gasto adimensional
r	Distancia al pozo productor
r_{eD}	Radio de drene adimensional
r_w	Radio del pozo
S	Factor de daño de van Everdingen y Hurst
s	Variable de la Transformada de Laplace
t	Tiempo
t_D	Tiempo adimensional
τ	Parámetro de integración de convolución
α, β	Factor de unidades de conversión
γ'	Constante de Euler (0.577216)

ρ	Densidad del fluido
μ	Viscosidad del fluido
ϕ	Porosidad
π	Constante numérica
∞	Infinito

Subíndice

w .	pozo
D	Adimensional
f	Fractura

Funciones

J_0	Función de Bessel Modificada, de segunda clase, orden cero.
K_0	Función de Bessel Modificada, de segunda clase, orden cero.
K_1	Función de Bessel Modificada, de segunda clase, orden uno.

REFERENCIAS

- (1) Gladfelter-Tracy-Wilsey.: "Verification of the Gladfelter-Tracy-Wilsey Concept For Wellbore Storage-Dominated Transient Pressure During Production.
- (2) Ramey, H.J., Jr.: "Verification of the Gladfelter-Tracy-Wilsey Concept For Wellbore Storage-Dominated Transient Pressure During Production.
- (3) Winestock, A.G., and Colpitts, G.P.: "Advances in Estimating Gas Well Deliverability", J. Can. Pet. Tech., (july-Sept. 1965).
- (4) Agarwal Ram G., and Al-Hussainy Rafi.: "An Investigation of Wellbore Storage and Skin Effect in Unsteady Liquid Flow: I. Analytical Treatment", SPE REPRINT SERIES NO. 14, Pressure Transient Testing Methods, 1980 Edition.
- (5) Aron, G., and Scott, V.H.: "Simplified Solutions for Decreasing Flow in Wells" Proc. Am. Soc. Civ. Eng., (1965).
- (6) Heber Cinco ley, comunicación personal.
- (7) Earlougher R.C., "Advances in Well Test Analysis", SPE Monograph 5 Series, 1977.
- (8) Matthews C.S. and Russell D.G., "Pressure buildup and Flow Test in Well", SPE Monograph 1 Series.
- (9) Heber Cinco ley, "Caracterización Dinámica de Yacimientos", notas del curso periodo 2002-2.
- (10) Stanislav J.F., "Pressure Transient Analysis" , páginas 28-40, 1990 , editorial Prentice-Hall, Inc.

APENDICE A

GEOMETRIA DE FLUJO RADIAL E INTEGRACIÓN DE $\Delta p/q$

La presión adimensional para la geometría de flujo radial está dada por la siguiente expresión

$$\Delta p_{D1} = \frac{1}{2} [\ln t_D + 0.80907] \quad (A19)$$

$$\Delta p'_{D1}(t) = \frac{1}{2} \frac{d}{dt} \ln t_D + \frac{d}{dt} 0.80907 = \frac{1}{2} \frac{1}{t_D} \quad (A20)$$

Cuya derivada respecto al tiempo es

Y de función integral

$$I(t \Delta p'_{D1}) = \frac{1}{t} \int_0^t \tau \Delta p'_{D1}(\tau) d\tau \quad (A36)$$

Para declinación lineal del gasto se obtiene:

$$I(t \Delta p'_{D1}) = \frac{1}{2t} \int_0^t \tau \tau^{-1} d\tau = \frac{1}{2t} \int_0^t d\tau = \frac{1}{2t} [\tau]_0^t = \frac{t}{2t} = \frac{1}{2} \quad (A36)$$

Para la declinación cuadrática del gasto se obtiene de:

$$\frac{\Delta p}{q(t)} = \Delta p_{D1}(t) - \frac{(2at-b)}{at^2-bt+c} \int_0^t \tau \Delta p'_{D1}(\tau) d\tau - \frac{a}{at^2-bt+c} \int_0^t \tau^2 \Delta p'_{D1}(\tau) d\tau \quad (A46)$$

$$\int_0^t \tau \Delta p'_{D1}(\tau) d\tau = \frac{1}{2} \int_0^t \tau \tau^{-1} d\tau = \frac{1}{2} \int_0^t d\tau = \frac{1}{2} [\tau]_0^t = \frac{t}{2} \quad (A36A)$$

Y

$$\int_0^t \tau^2 \Delta p'_{D1}(\tau) d\tau = \frac{1}{2} \int_0^t \tau^2 \tau^{-1} d\tau = \frac{1}{2} \int_0^t \tau d\tau = \frac{1}{2} \left[\frac{\tau^{1+1}}{1+1} \right]_0^t = \frac{1}{2} \frac{t^2}{2} = \frac{t^2}{4} \quad (A36B)$$

Sustituyendo (A36A) y (A36B) en (A46) obtenemos:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta p}{q(t)} &= \Delta p_{D1}(t) + \frac{1}{2} \frac{(-2at^2 + bt)}{at^2 - bt + c} - \frac{1}{4} \frac{at^2}{at^2 - bt + c} = \\ &= \Delta p_{D1}(t) + \left[\frac{-4at^2 + 2bt + at^2}{4(at^2 - bt + c)} \right] = \\ &= \Delta p_{D1}(t) - \left[\frac{3at^2 - 2bt}{4(at^2 - bt + c)} \right] \end{aligned} \quad (A46A)$$

Esta es la caída de presión normalizada radial.

APENDICE B

GEOMETRÍA DE FLUJO LINEAL E INTEGRACIÓN DE $\Delta p/q$

La geometría de flujo lineal está dada por la siguiente expresión

$$\Delta p_{D1}(t) = \frac{2}{\pi} t_D^{-1/2} \quad (B21)$$

Cuya derivada respecto al tiempo es

$$\Delta p'_{D1}(t) = \frac{1}{\pi} t_D^{-3/2} \quad (B22)$$

Y de función integral

$$I(t \Delta p'_{D1}) = \frac{1}{t} \int_0^t \tau \Delta p'_{D1}(\tau) d\tau \quad (B36)$$

Para declinación lineal del gasto se obtiene:

$$I(t \Delta p'_{D1}) = \frac{1}{2t} \int_0^t \tau \tau^{-1/2} d\tau = \frac{1}{2t} \int_0^t d\tau = \frac{1}{2t} [\tau]_0^t = \frac{t}{2t} = \frac{1}{2} \quad (B36)$$

Para la declinación cuadrática del gasto se obtiene de:

$$\frac{\Delta p}{q(t)} = \Delta p_{D1}(t) - \frac{(2at-b)}{at^2-bt+c} \int_0^t \tau \Delta p'_{D1}(\tau) d\tau - \frac{a}{at^2-bt+c} \int_0^t \tau \Delta p'_{D1}(\tau) d\tau \quad (B46)$$

$$\int_0^t \tau \Delta p'_{D1}(\tau) d\tau = \frac{1}{\pi} \int_0^t \tau \tau^{-\frac{1}{2}} d\tau = \frac{1}{\pi} \int_0^t \tau^{\frac{1}{2}} d\tau = \frac{2}{3\pi} \left[\tau^{\frac{3}{2}} \right]_0^t = \frac{2}{3\pi} t^{\frac{3}{2}} \quad (B36A)$$

$$\int_0^t \tau^2 \Delta p'_1(\tau) d\tau = \frac{1}{\pi} \int_0^t \tau^2 \tau^{-\frac{1}{2}} d\tau = \frac{1}{\pi} \int_0^t \tau^{\frac{3}{2}} d\tau = \frac{1}{\pi} \left[\frac{\tau^{\frac{3}{2}+1}}{\frac{3}{2}+1} \right]_0^t = \frac{1}{\pi} \frac{t^{\frac{5}{2}}}{\frac{5}{2}} = 2 \frac{t^{\frac{5}{2}}}{5\pi} \quad (B36B)$$

Y

Sustituyendo (B36A) y (B36B) en (BF46) obtenemos:

$$\frac{\Delta p}{q(t)} = \Delta p_{D1}(t) - \frac{2}{3\pi} \frac{(2at-b)}{(at^2-bt+c)} t^{\frac{3}{2}} + \frac{2}{5\pi} \frac{at^2}{(at^2-bt+c)} t^{\frac{5}{2}} \quad (F46A)$$

Esta es la caída de presión normalizada lineal

APENDICE C

GEOMETRÍA DE FLUJO ESFÉRICO E INTEGRACIÓN DE $\Delta p/q$

La geometría de flujo esférica está dada por la siguiente expresión

$$\Delta p_{D1}(t) = 1 - \frac{1}{\sqrt{\pi}} t_D^{-\frac{1}{2}} \quad (C23)$$

Cuya derivada respecto al tiempo es

$$\Delta p'_{1D}(t) = \frac{1}{2\sqrt{\pi}} t_D^{-\frac{3}{2}} \quad (C24)$$

Y de función integral

$$I(t \Delta p'_{D1}) = \frac{1}{t} \int_0^t \tau \Delta p'_{D1}(\tau) d\tau \quad (C36)$$

Para declinación lineal del gasto se obtiene:

$$\frac{\Delta p_D}{q_D(t)} = 1 - \frac{1}{\sqrt{\pi}} t_D^{-\frac{1}{2}} - \frac{1}{\sqrt{\pi}} t_D^{-\frac{1}{2}} = 1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} t_D^{-\frac{1}{2}} \quad (C39)$$

Para la declinación cuadrática del gasto se obtiene de:

$$\frac{\Delta p}{q(t)} = \Delta p_{D1}(t) - \frac{(2at-b)}{at^2-bt+c} \int_0^t \tau \Delta p'_{D1}(\tau) d\tau - \frac{a}{at^2-bt+c} \int_0^t \tau \Delta p'_{D1}(\tau) d\tau \quad (C46)$$

$$\int_0^t \tau \Delta p'_{D1}(\tau) d\tau = \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \int_0^t \tau \tau^{-\frac{3}{2}} d\tau = \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \int_0^t \tau^{-\frac{1}{2}} d\tau = \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \left[\frac{\tau^{\frac{1}{2}}}{\frac{1}{2}} \right]_0^t = \frac{2}{2\sqrt{\pi}} t^{\frac{1}{2}} \quad (C36A)$$

Y

$$\int_0^t \tau^2 \Delta p'_1(\tau) d\tau = \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \int_0^t \tau^2 \tau^{-\frac{3}{2}} d\tau = \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \int_0^t \tau^{\frac{1}{2}} d\tau = \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \left[\frac{\tau^{\frac{1}{2}+1}}{\frac{1}{2}+1} \right]_0^t = \frac{1}{3\sqrt{\pi}} t^{\frac{3}{2}} \quad (C36B)$$

Sustituyendo (C36A) y (C36B) en (C46A) obtenemos:

$$\frac{\Delta p}{q(t)} = \Delta p_{D1}(t) - \frac{1}{\sqrt{\pi}} \frac{(2at-b)}{at^2-bt+c} t^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{3\sqrt{\pi}} \frac{a}{at^2-bt+c} t^{\frac{3}{2}} \quad (C46A)$$

Esta es la caída de presión normalizada esférica.

APENDICE D

GEOMETRÍA DE FLUJO BILINEAL E INTEGRACIÓN DE $\Delta p/q$

La geometría de flujo bilineal está dada por la siguiente expresión

$$\Delta p_{D1}(t) = \frac{2.54}{\sqrt{k_f b_f}} t_D^{\frac{1}{4}} \quad (D27)$$

Cuya derivada respecto al tiempo es

$$\Delta p'_{D1} = \frac{1}{4} \frac{2.54}{\sqrt{k_f b_f}} t_D^{-\frac{3}{4}} \quad (D28)$$

Y de función integral

$$I(t \Delta p'_{D1}) = \frac{1}{t} \int_0^t \tau \Delta p'_{D1}(\tau) d\tau \quad (D36)$$

Para declinación lineal del gasto se obtiene:

$$I(t \Delta p'_{D1}) = \frac{2.54}{4\sqrt{k_f b_f}} \frac{1}{t} \int_0^t \tau \tau^{-\frac{3}{4}} d\tau = \frac{2.54}{4\sqrt{k_f b_f}} \frac{1}{t} \int_0^t \tau^{\frac{1}{4}} d\tau = \frac{2.54}{4\sqrt{k_f b_f}} \frac{1}{t} \left[\frac{5}{4} \tau^{\frac{5}{4}} \right]_0^t = \frac{2.54}{5\sqrt{k_f b_f}} t^{\frac{1}{4}} \quad (C36)$$

Para la declinación cuadrática del gasto se obtiene de:

$$\frac{\Delta p}{q(t)} = \Delta p_{D1}(t) - \frac{(2at - b)}{at^2 - bt + c} \int_0^t \tau \Delta p'_{D1}(\tau) d\tau - \frac{a}{at^2 - bt + c} \int_0^t \tau \Delta p'_{D1}(\tau) d\tau \quad (D46)$$

$$\int_0^t \tau \Delta p'_{D1}(\tau) d\tau = \frac{2.54}{4\sqrt{k_f b_f}} \int_0^t \tau \tau^{-\frac{3}{4}} d\tau = \frac{2.54}{4\sqrt{k_f b_f}} \int_0^t \tau^{\frac{1}{4}} d\tau = \frac{2.54}{5\sqrt{k_f b_f}} t^{\frac{5}{4}} \quad (D36A)$$

Y

$$\int_0^t \tau^2 \Delta p'_1(\tau) d\tau = \frac{2.54}{4\sqrt{k_f b_f}} \int_0^t \tau^2 \tau^{-\frac{3}{4}} d\tau = \frac{2.54}{4\sqrt{k_f b_f}} \int_0^t \tau^{\frac{5}{4}} d\tau = \frac{2.54}{4\sqrt{k_f b_f}} \left[\frac{4}{9} t^{\frac{9}{4}} \right] \quad (D36B)$$

Sustituyendo (D36A) y (D36B) en (D46) obtenemos:

$$\frac{\Delta p}{q(t)} = \Delta p_{D1}(t) - \frac{2.54}{5\sqrt{k_f b_f}} \frac{(2at+b)}{at^2-bt+c} t^{\frac{5}{4}} - \frac{2.54}{9\sqrt{k_f b_f}} \frac{a}{at^2-bt+c} t^{\frac{9}{4}} \quad (D46A)$$

Esta es la caída de presión normalizada bilineal

APENDICE E

GEOMETRÍA DE FLUJO PSEUDOESTACIONARIO E INTEGRACIÓN DE $\Delta p/q$

La geometría de flujo pseudoestacionaria está dada por la siguiente expresión

$$\Delta p_D = \frac{2t_D}{r_{eD}^2} + \ln r_{eD} - \frac{3}{4} \quad (E29)$$

Cuya derivada respecto al tiempo es

$$\Delta p'_D = \frac{2}{r_{eD}^2} \quad (E30)$$

Y de función integral

$$I(t \Delta p'_{D1}) = \frac{1}{t} \int_0^t \tau \Delta p'_{D1}(\tau) d\tau \quad (E36)$$

Para declinación lineal del gasto se obtiene:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta p_D}{q_D(t_D)} &= \frac{2t}{r_{eD}^2} + \ln r_{eD} - \frac{3}{4} - \frac{t}{r_{eD}^2} = \quad (E42) \\ &= \frac{t}{r_{eD}^2} + \ln r_{eD} - \frac{3}{4} \end{aligned}$$

Para la declinación cuadrática del gasto se obtiene de:

$$\frac{\Delta p}{q(t)} = \Delta p_{D1}(t) - \frac{(2at-b)}{at^2-bt+c} \int_0^t \tau \Delta p'_{D1}(\tau) d\tau - \frac{a}{at^2-bt+c} \int_0^t \tau \Delta p'_{D1}(\tau) d\tau \quad (E46)$$

$$\int_0^t \tau \Delta p'_{D1}(\tau) d\tau = \frac{2}{r_{eD}^2} \int_0^t \tau d\tau = \frac{1}{r_{eD}^2} t^2 \quad (E36A)$$

Y

$$\int_0^t \tau^2 \Delta p'_1(\tau) d\tau = \frac{2}{r_{eD}^2} \int_0^t \tau^2 d\tau = \frac{2}{r_{eD}^2} \left[\frac{1}{3} t^3 \right] = \frac{2}{3r_{eD}^2} t^3 \quad (E36B)$$

Sustituyendo (E36A) y (E36B) en (E46) obtenemos:

$$\frac{\Delta p}{q(t)} = \Delta p_{D1}(t) + \frac{1}{r_{eD}^2} \frac{b}{at^2 - bt + c} t^2 + \left(\frac{1}{3} - 1 \right) \frac{2}{r_{eD}^2} \frac{a}{at^2 - bt + c} t^3 \quad (E46A)$$

Esta es la caída de presión normalizada pseudoestacionaria.

APENDICE F

DATOS

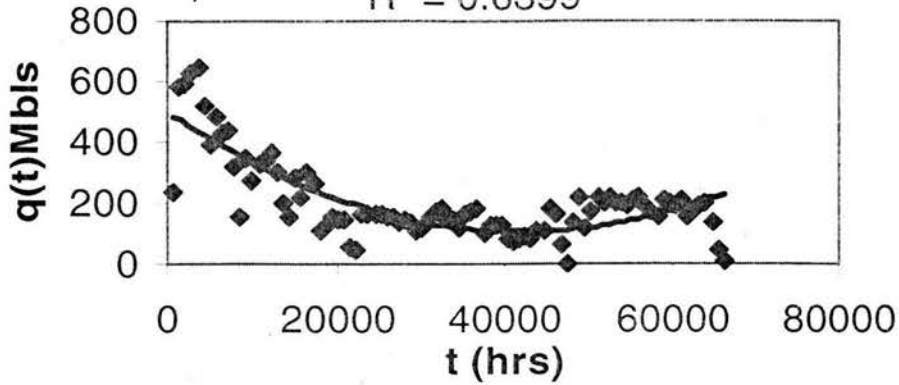
A continuación se presentan los datos de producción de los pozos de los campos San Ramón y Cinco Presidentes de la cuenca Salina del Istmo, Abkatún de las brechas del Paleoceno de la región Márina.

Así como también el ajuste correspondiente a esos datos.

ABKATUN 11A--CUADRATICA

$$y = 2E-07x^2 - 0.0185x + 497.42$$

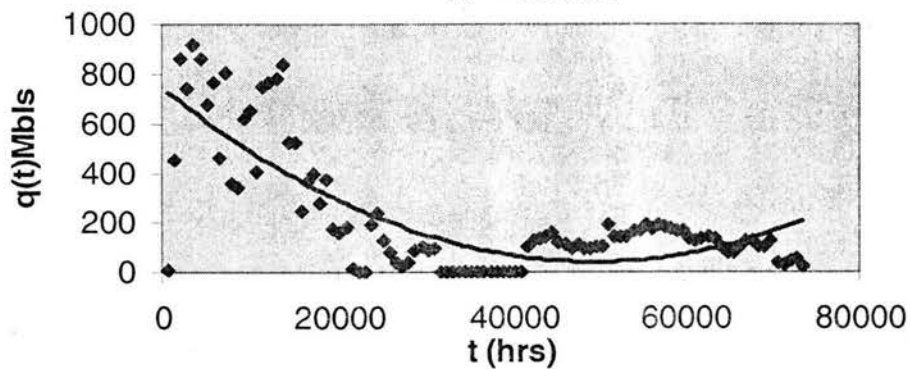
$$R^2 = 0.6399$$



ABKATUN 12--CUADRATICA

$$y = 3E-07x^2 - 0.0287x + 750.45$$

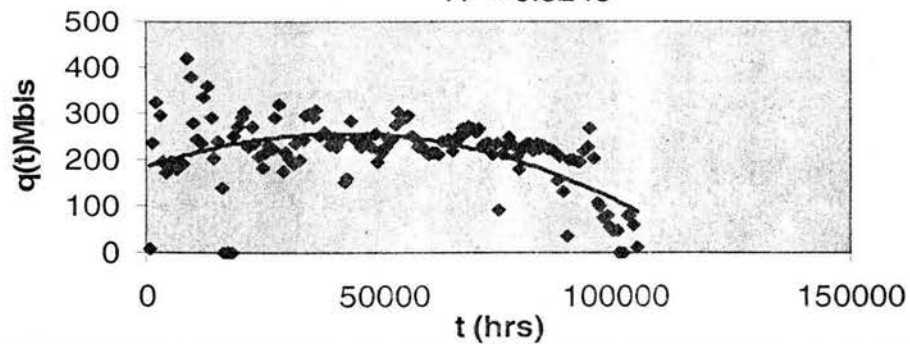
$$R^2 = 0.6108$$



ABKATUN 13--CUADRATICA

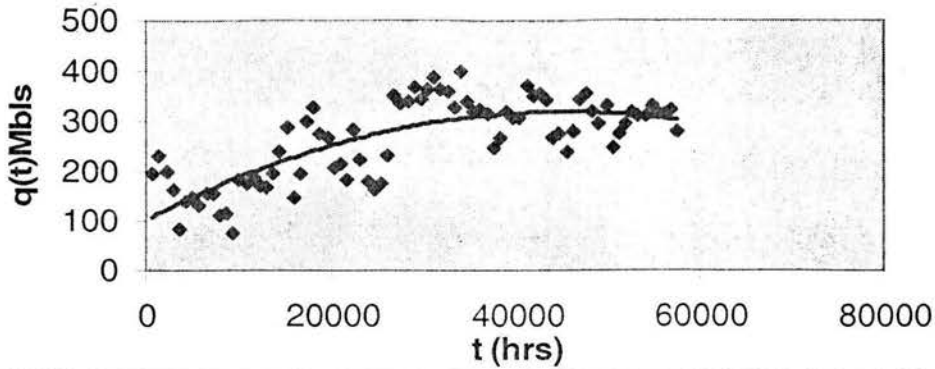
$$y = -4E-08x^2 + 0.0035x + 184.77$$

$$R^2 = 0.3248$$



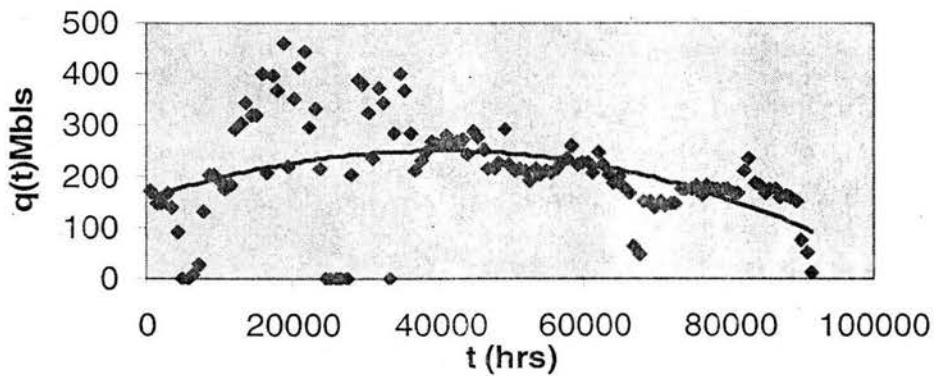
ABKATUN 14--CUADRATICA

$$y = -1E-07x^2 + 0.0096x + 103.06$$
$$R^2 = 0.5976$$



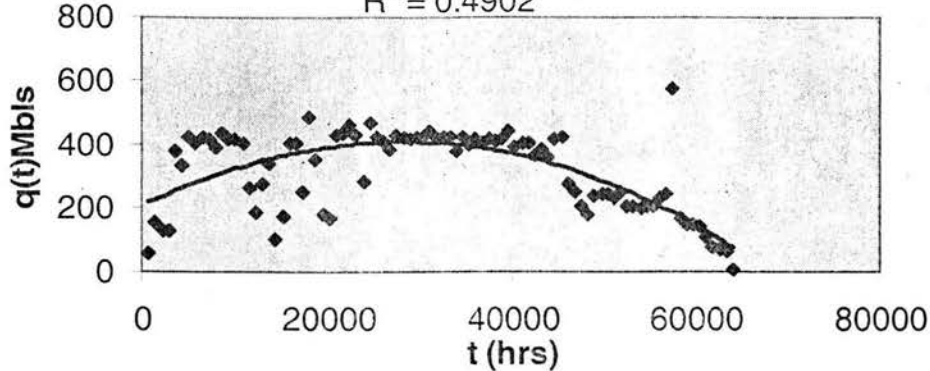
ABKATUN 15A--CUADRATICA

$$y = -6E-08x^2 + 0.0047x + 157.28$$
$$R^2 = 0.1746$$



ABKATUN 17--CUADRATICA

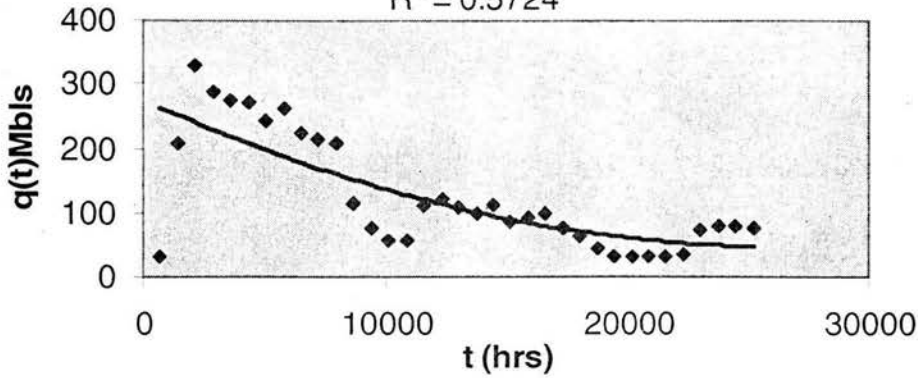
$$y = -3E-07x^2 + 0.0144x + 204.2$$
$$R^2 = 0.4902$$



ABKATUN 19--CUADRATICA

$$y = 3E-07x^2 - 0.0172x + 275.97$$

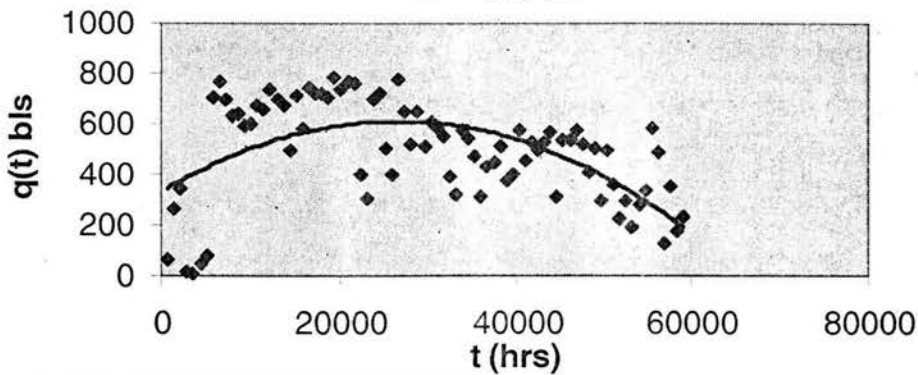
$$R^2 = 0.5724$$



ABKATUN 1A--CUADRATICA

$$y = -4E-07x^2 + 0.0212x + 330.55$$

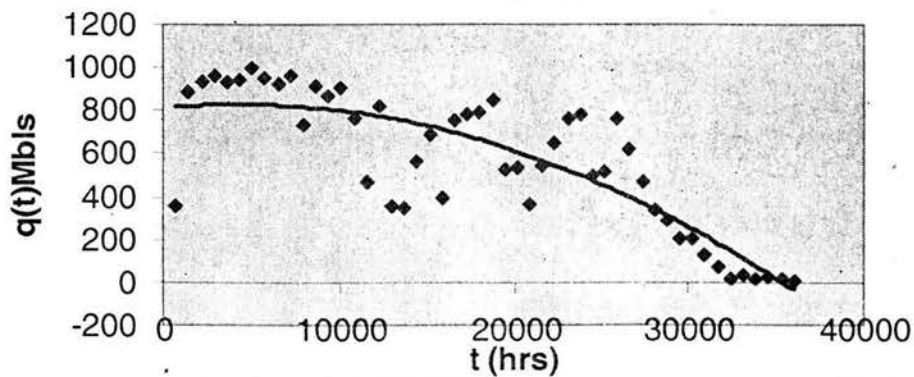
$$R^2 = 0.3293$$



ABKATUN 20--CUADRATICA

$$y = -9E-07x^2 + 0.0072x + 815.26$$

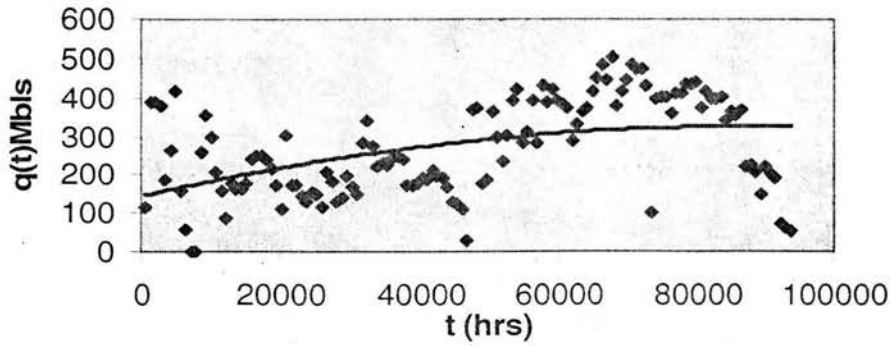
$$R^2 = 0.7039$$



ABKATUN 21--CUADRATICA

$$y = -2E-08x^2 + 0.0042x + 144.2$$

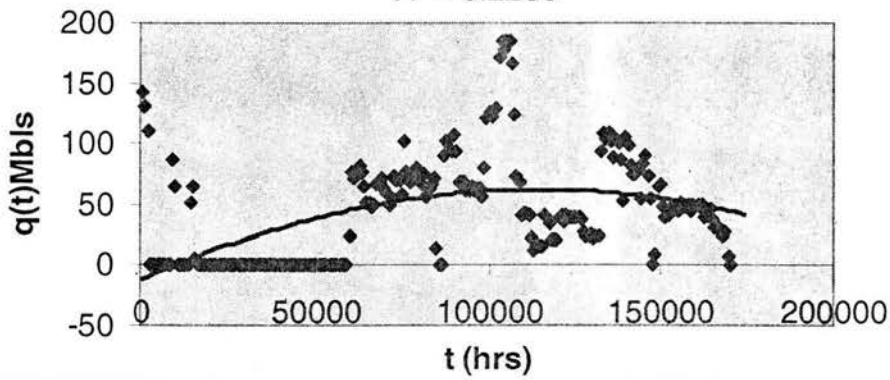
$$R^2 = 0.1952$$



ABKATUN211-CUADRATICA

$$y = -6E-09x^2 + 0.0013x - 11.866$$

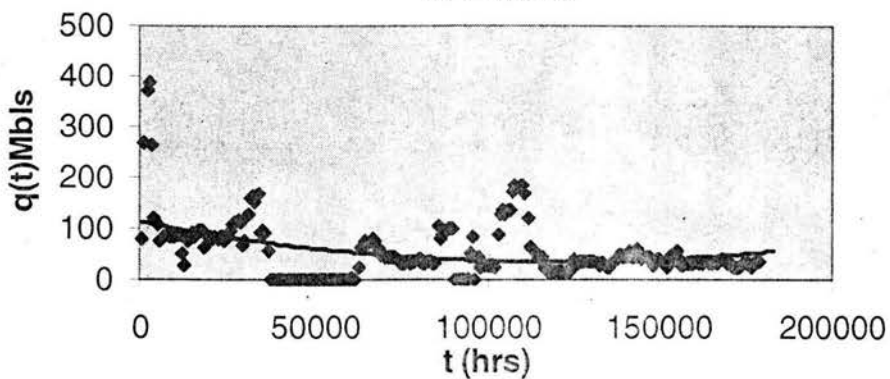
$$R^2 = 0.2238$$



ABKATUN212A-CUADRATICA

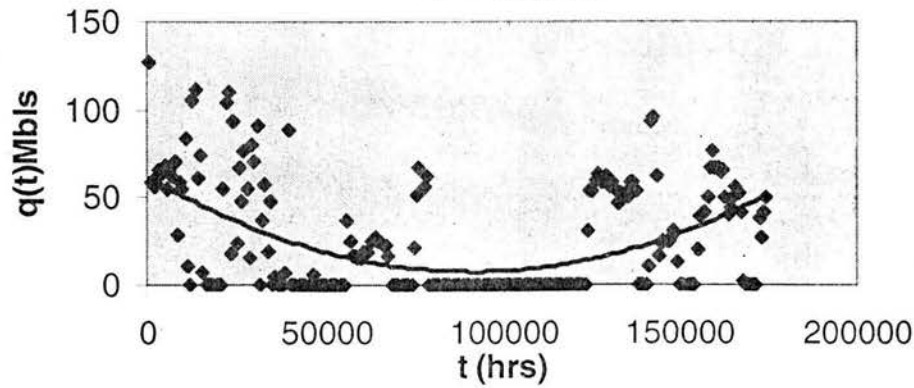
$$y = 5E-09x^2 - 0.0013x + 113.59$$

$$R^2 = 0.159$$



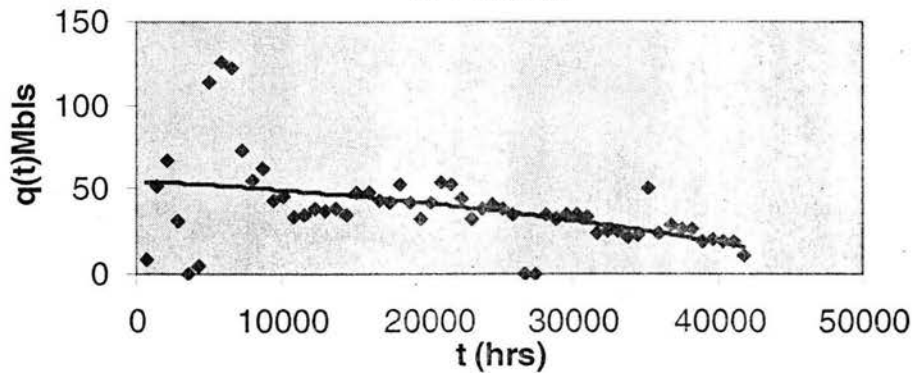
ABKATUN216-CUADRATICA

$$y = 6E-09x^2 - 0.0012x + 62.413$$
$$R^2 = 0.2436$$



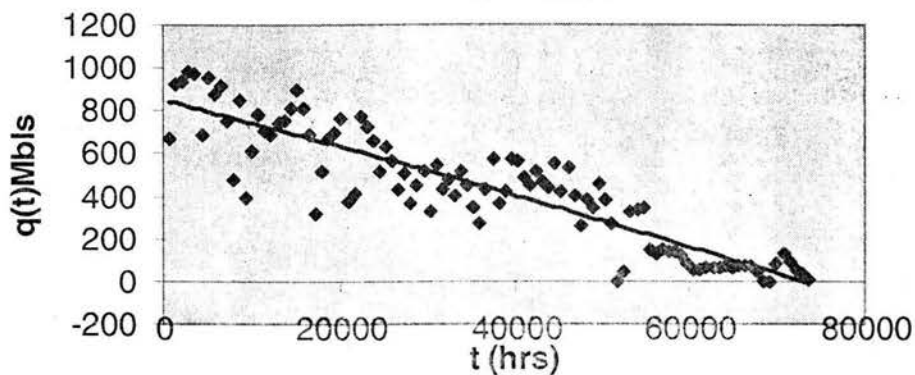
ABKATUN221-CUADRATICA

$$y = -1E-08x^2 - 0.0004x + 54.793$$
$$R^2 = 0.213$$



ABKATUN225-CUADRATICA

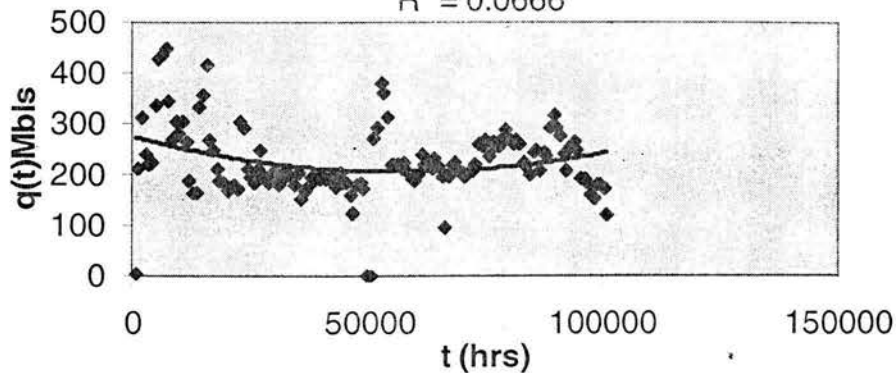
$$y = -2E-08x^2 - 0.0104x + 850.85$$
$$R^2 = 0.813$$



ABKATUN241-CUADRATICA

$$y = 2E-08x^2 - 0.0024x + 274.75$$

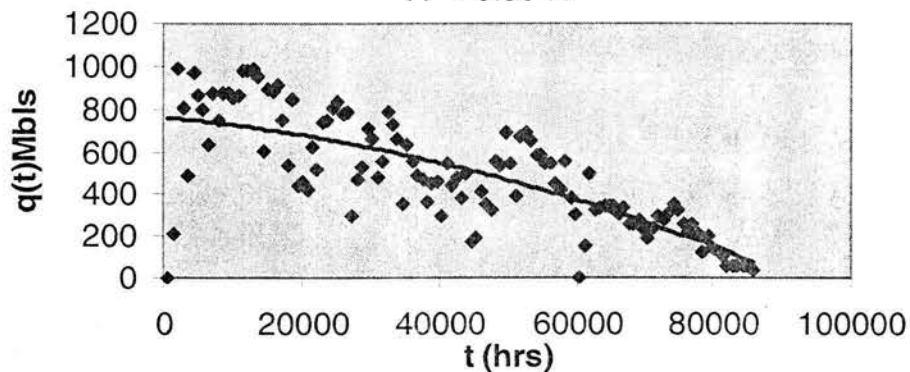
$$R^2 = 0.0666$$



ABKATUN245A-CUADRATICA

$$y = -6E-08x^2 - 0.003x + 763.31$$

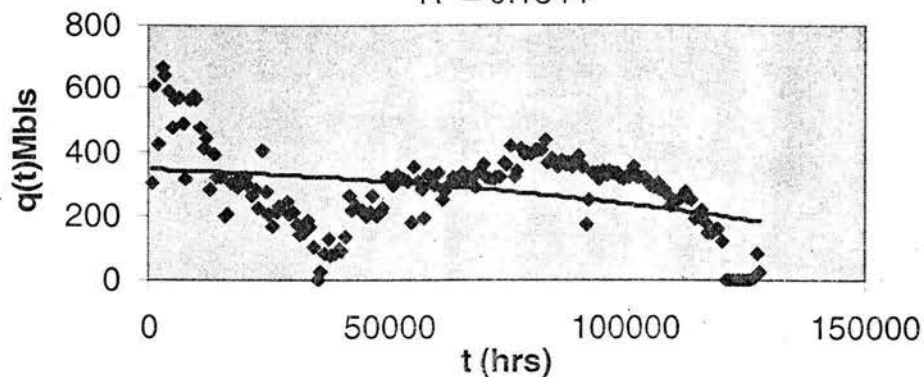
$$R^2 = 0.5941$$



ABKATUN261-CUADRATICA

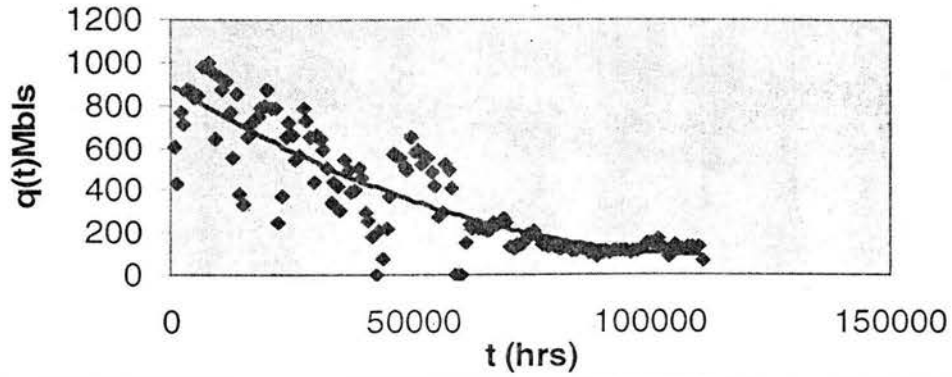
$$y = -6E-09x^2 - 0.0004x + 344.19$$

$$R^2 = 0.1344$$



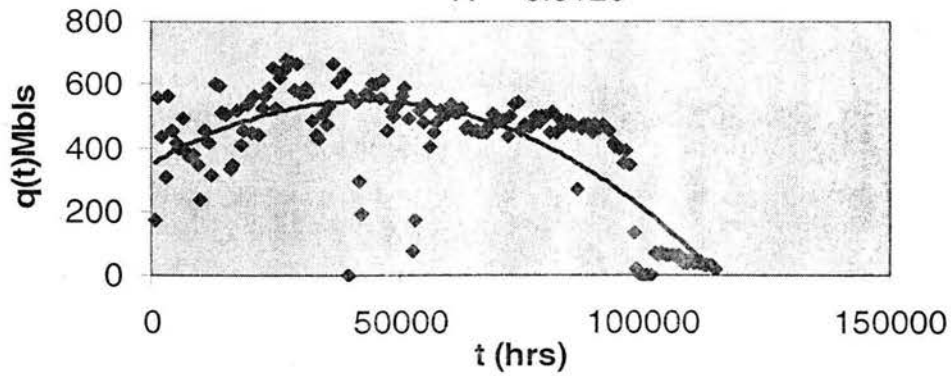
ABKATUN265-CUADRATICA

$$y = 6E-08x^2 - 0.0137x + 895.09$$
$$R^2 = 0.7515$$



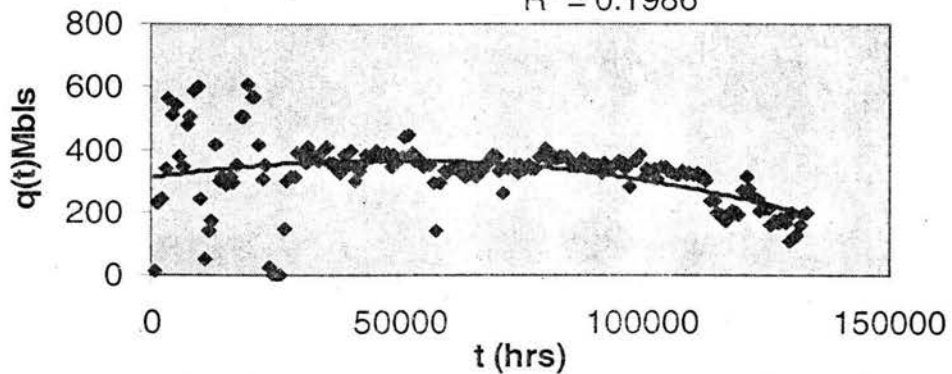
ABKATUN267-CUADRATICA

$$y = -1E-07x^2 + 0.0093x + 347.96$$
$$R^2 = 0.6126$$



ABKATUN281-CUADRATICA

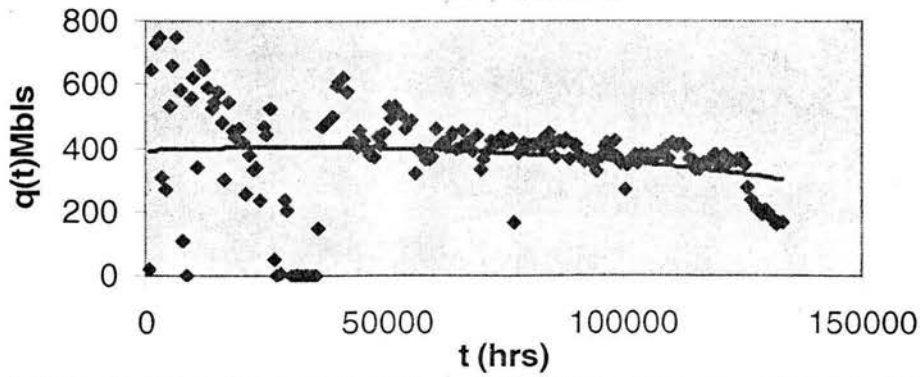
$$y = -2E-08x^2 + 0.0024x + 310.27$$
$$R^2 = 0.1986$$



ABKATUN283-CUADRATICA

$$y = -1E-08x^2 + 0.0007x + 391.76$$

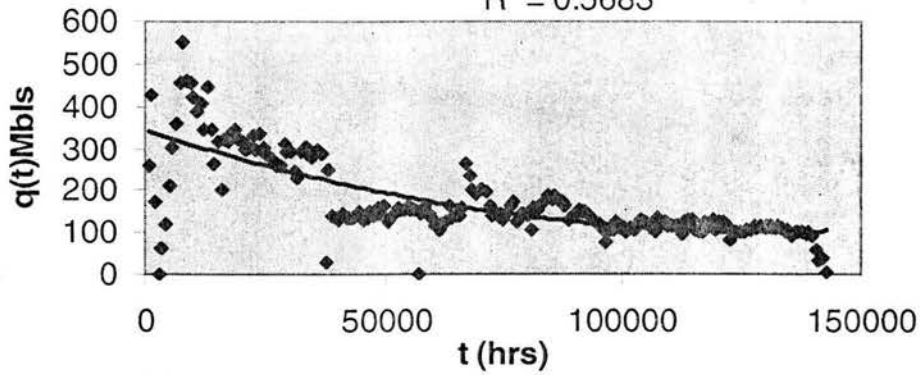
$$R^2 = 0.0406$$



ABKATUN285-CUADRATICA

$$y = 1E-08x^2 - 0.0037x + 344.19$$

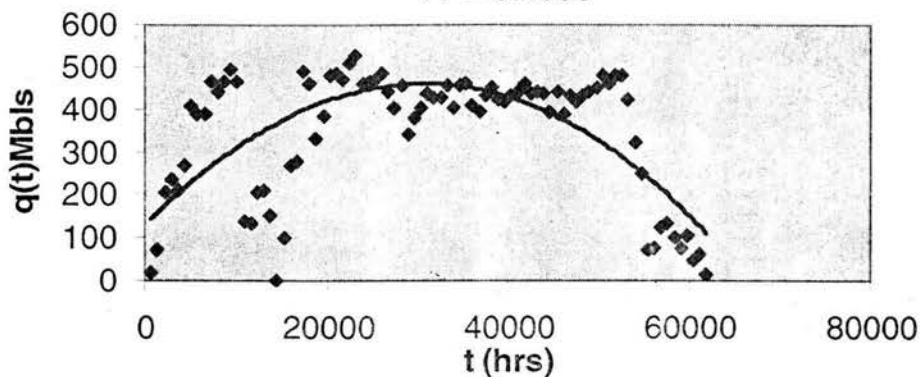
$$R^2 = 0.5683$$



ABKATUN 31--CUADRATICA

$$y = -4E-07x^2 + 0.0216x + 130.29$$

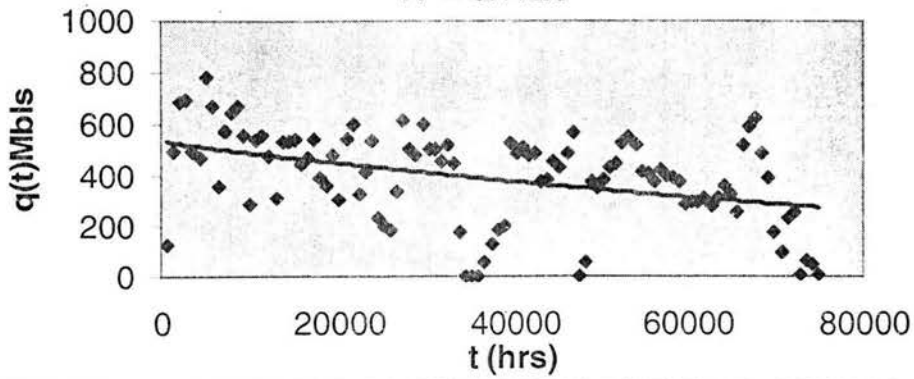
$$R^2 = 0.4658$$



ABKATUN 34A--CUADRATICA

$$y = 1E-08x^2 - 0.0045x + 535.27$$

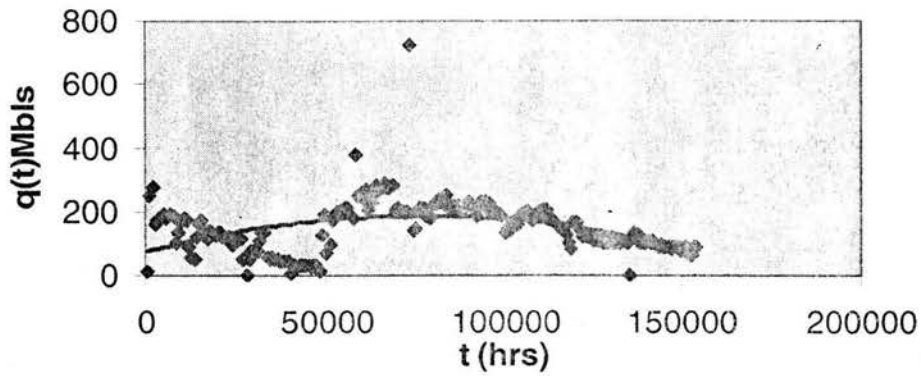
$$R^2 = 0.1728$$



ABKATUN 35--CUADRATICA

$$y = -2E-08x^2 + 0.0029x + 74.703$$

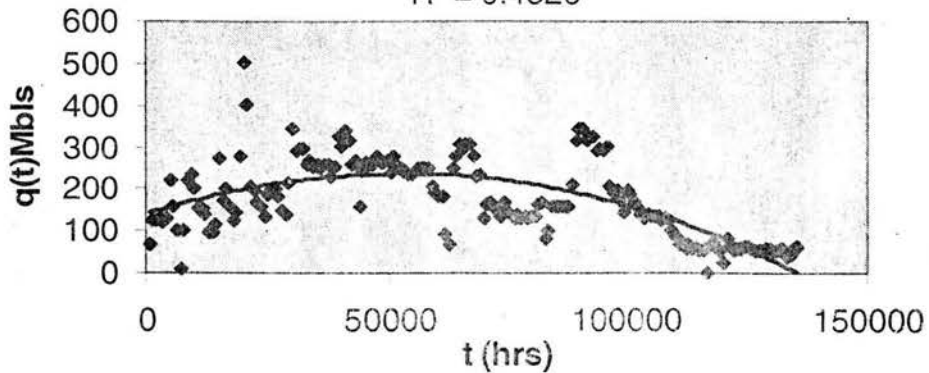
$$R^2 = 0.1848$$



ABKATUN 37--CUADRATICA

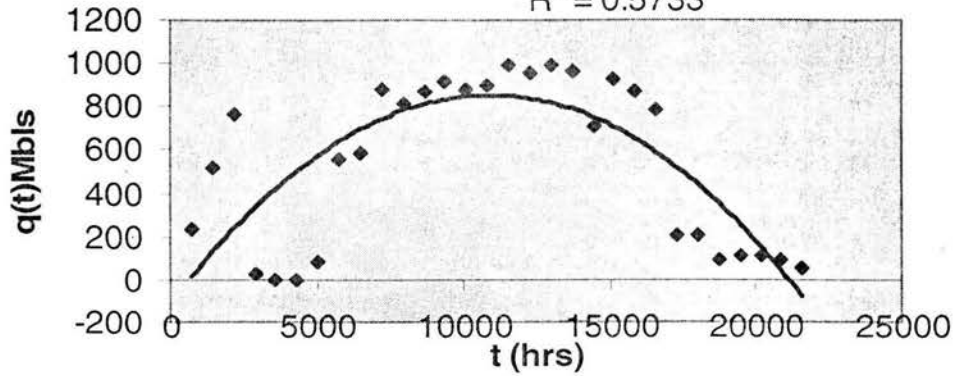
$$y = -3E-08x^2 + 0.0037x + 139.29$$

$$R^2 = 0.4826$$



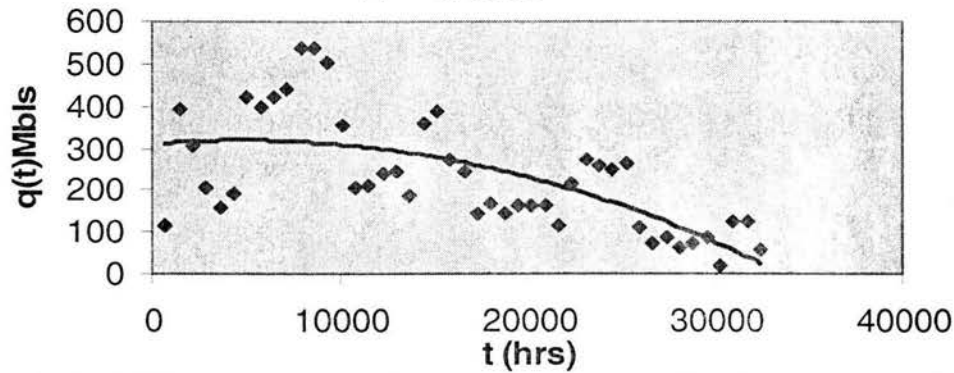
ABKATUN 4--CUADRATICA

$$y = -8E-06x^2 + 0.1767x - 108.42$$
$$R^2 = 0.5733$$



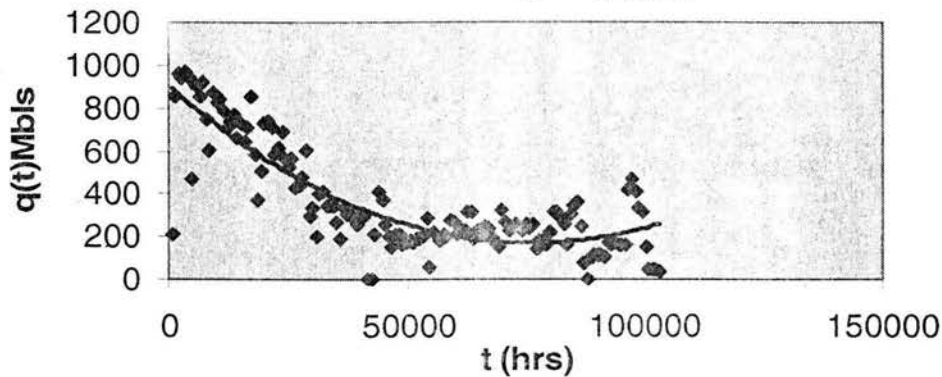
ABKATUN 43--CUADRATICA

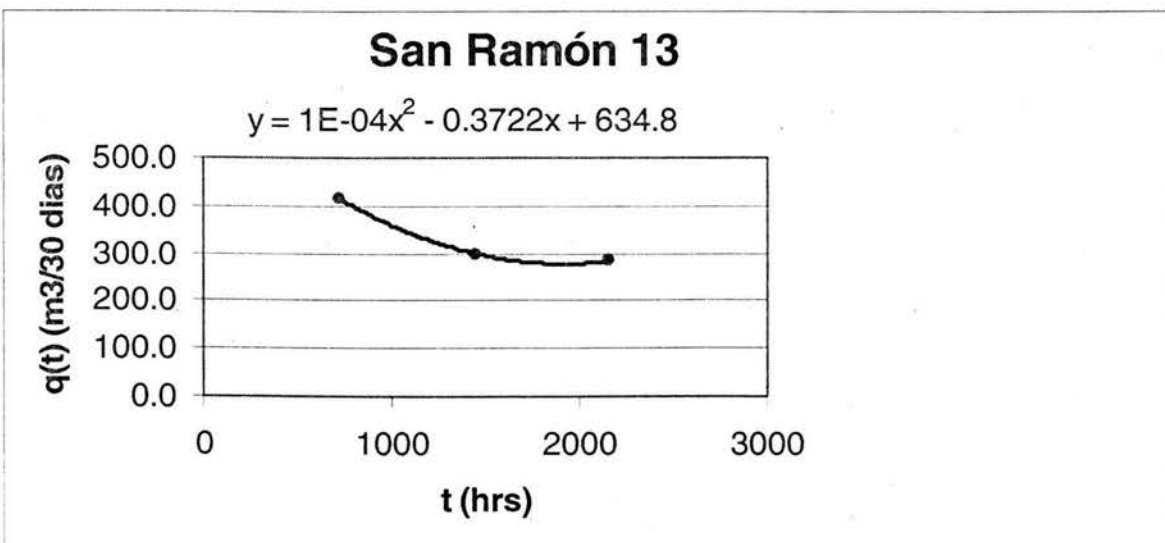
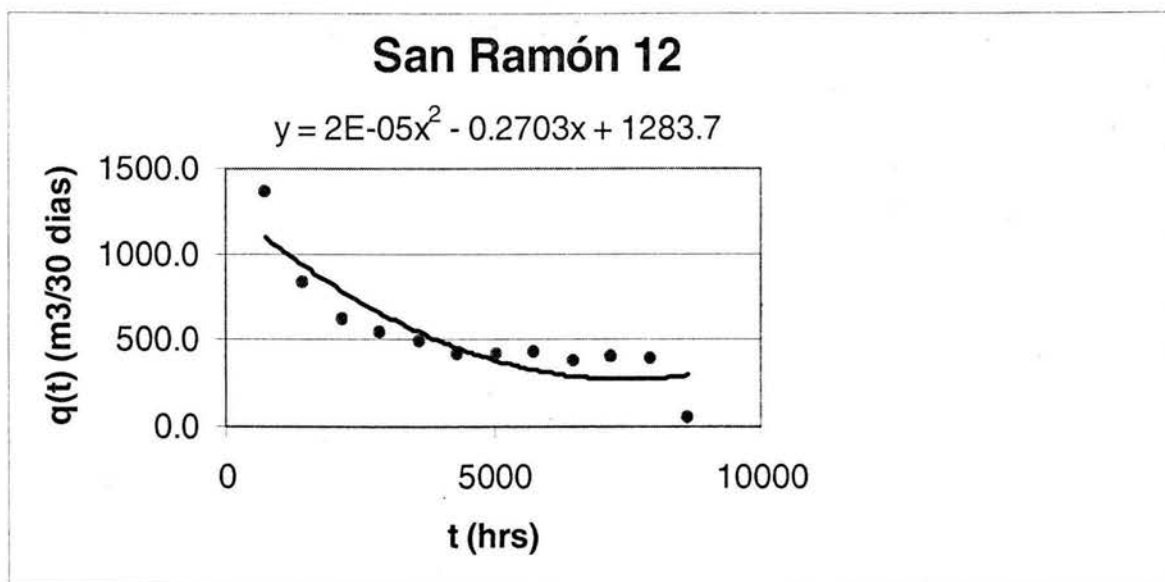
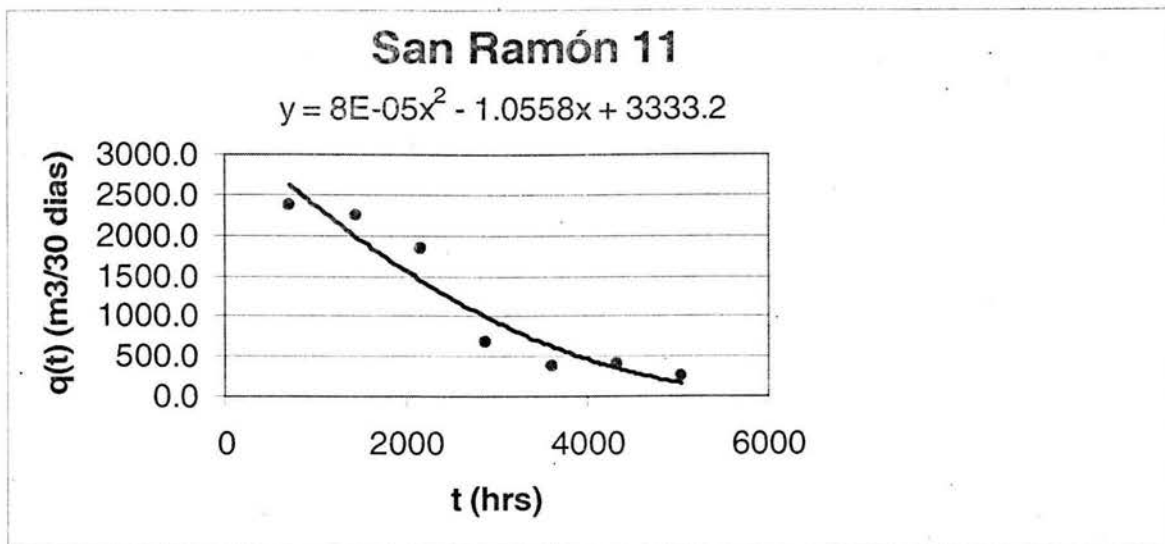
$$y = -4E-07x^2 + 0.0037x + 310.98$$
$$R^2 = 0.4518$$



ABKATUN 5--CUBICA

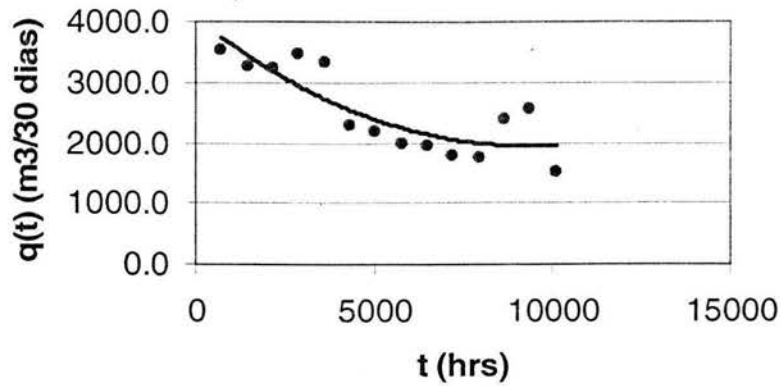
$$y = 1E-07x^2 - 0.0192x + 903.94$$
$$R^2 = 0.7358$$





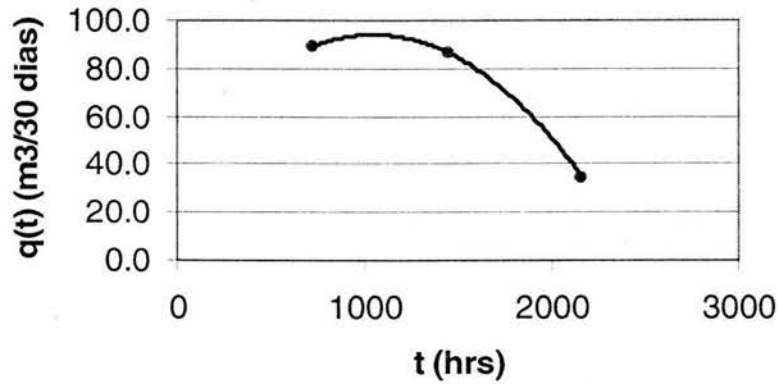
San Ramón 13D

$$y = 2E-05x^2 - 0.4563x + 4050.8$$



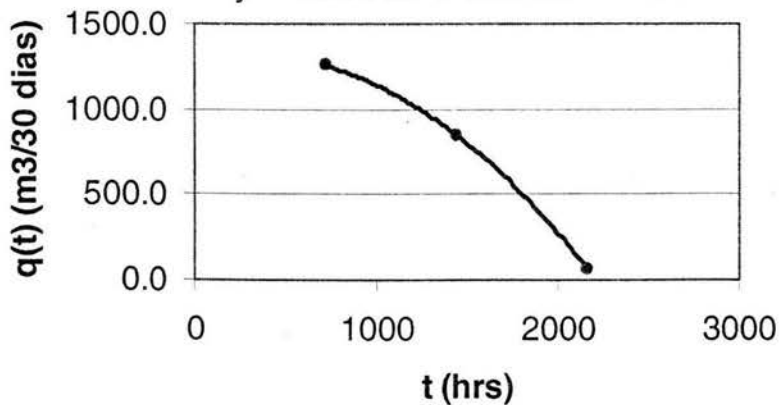
San Ramón 14

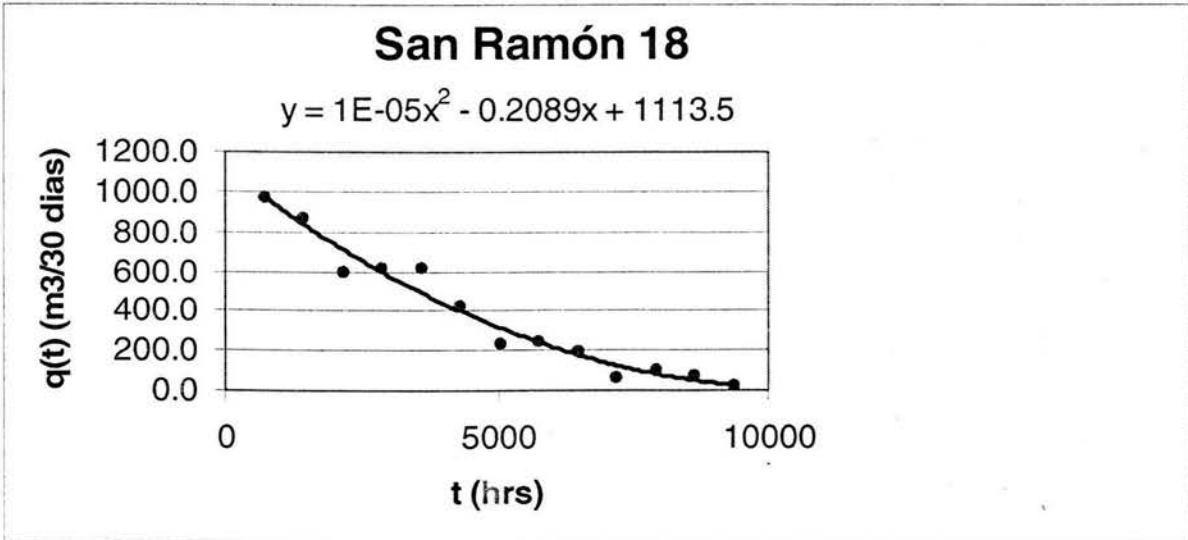
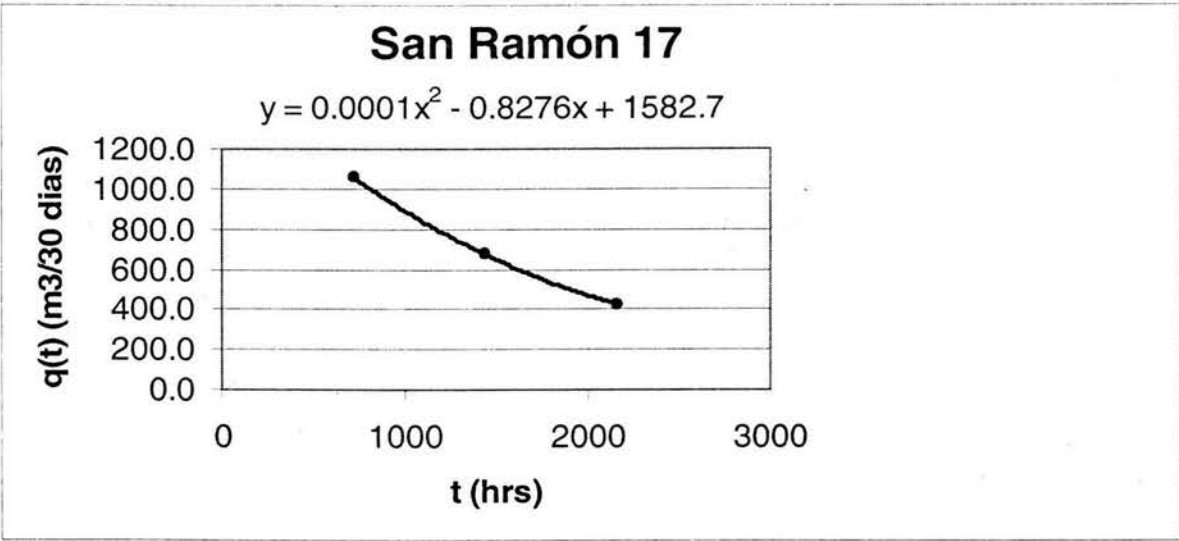
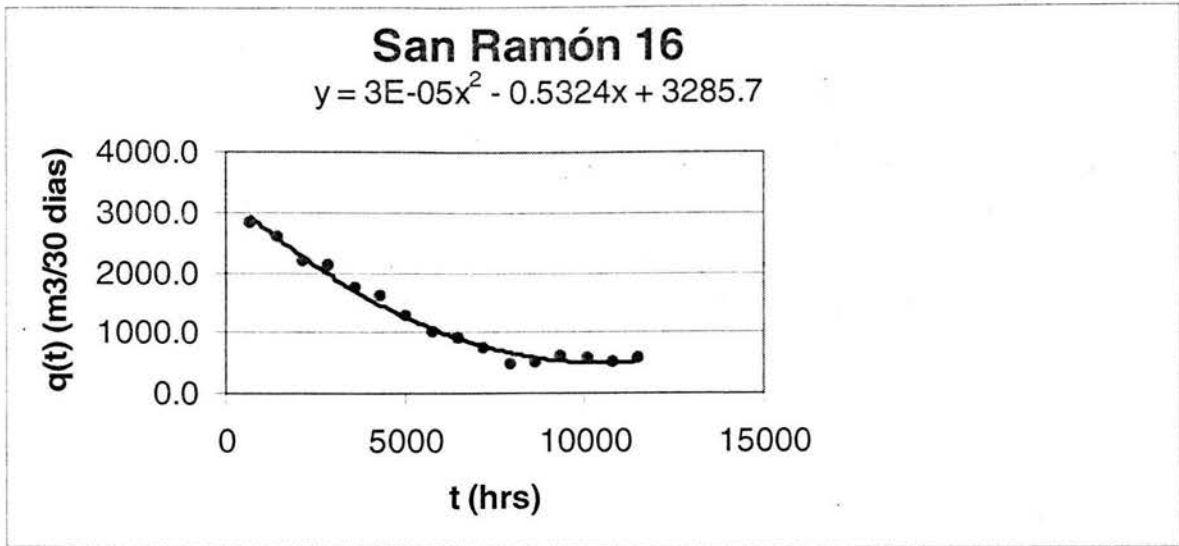
$$y = -5E-05x^2 + 0.0994x + 42.3$$



San Ramón 15

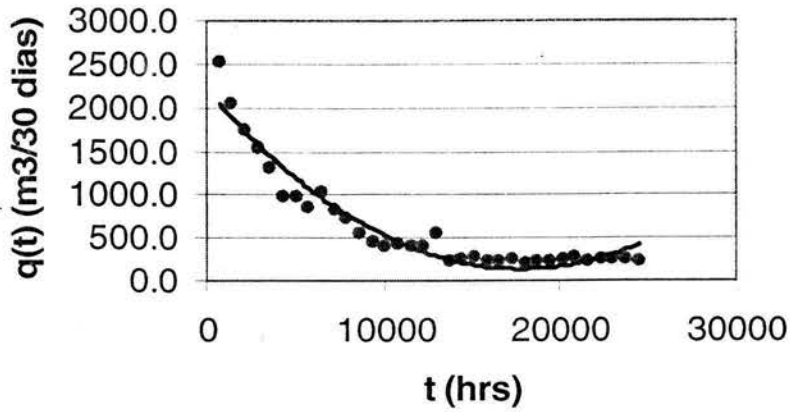
$$y = -0.0004x^2 + 0.1993x + 1295.4$$





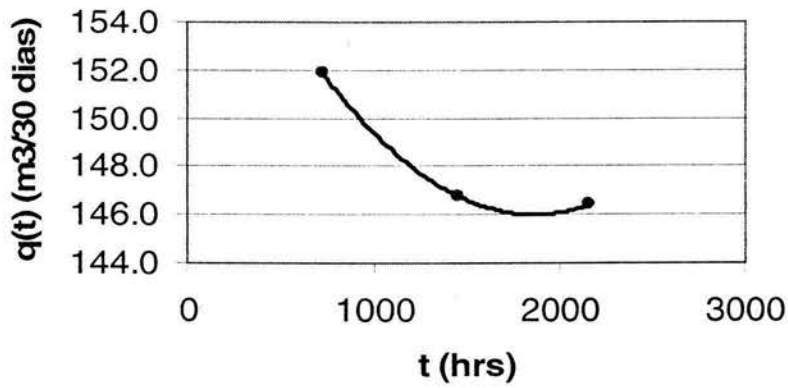
San Ramón 1A

$$y = 6E-06x^2 - 0.2312x + 2194.4$$



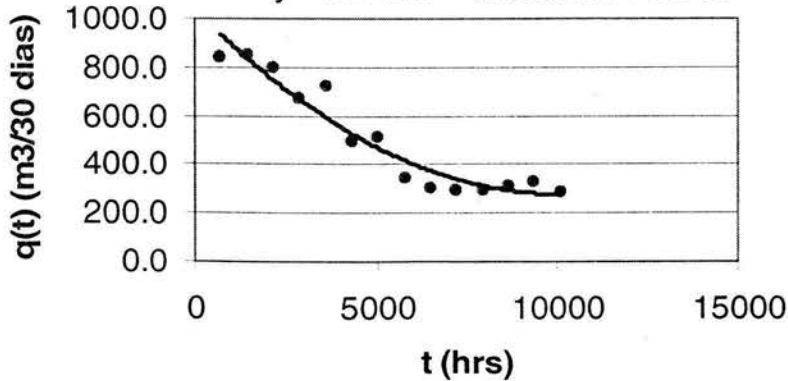
San Ramón 2

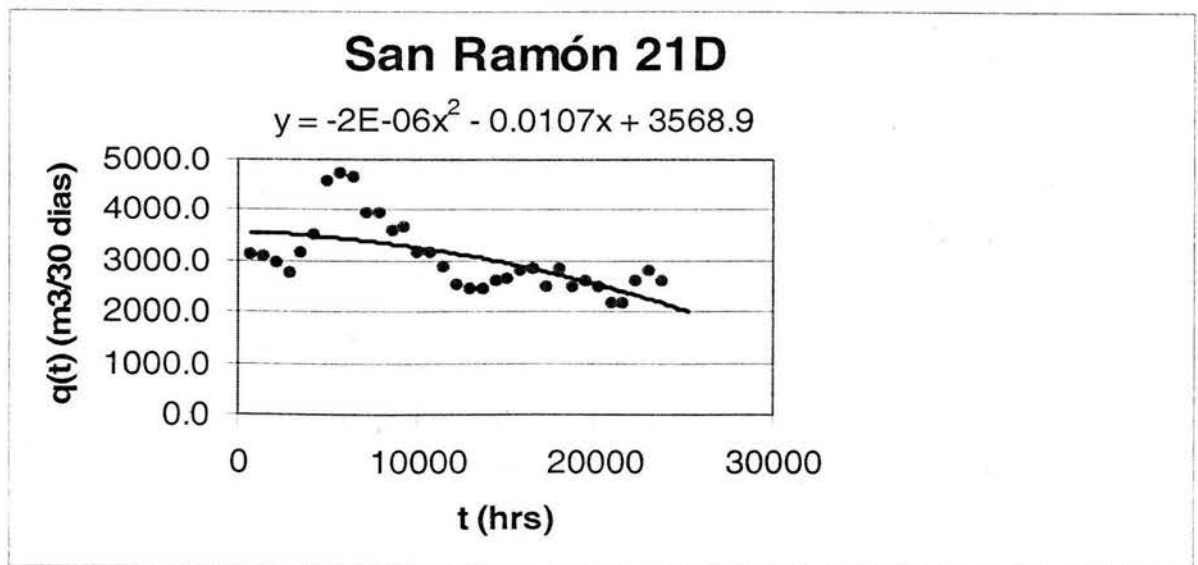
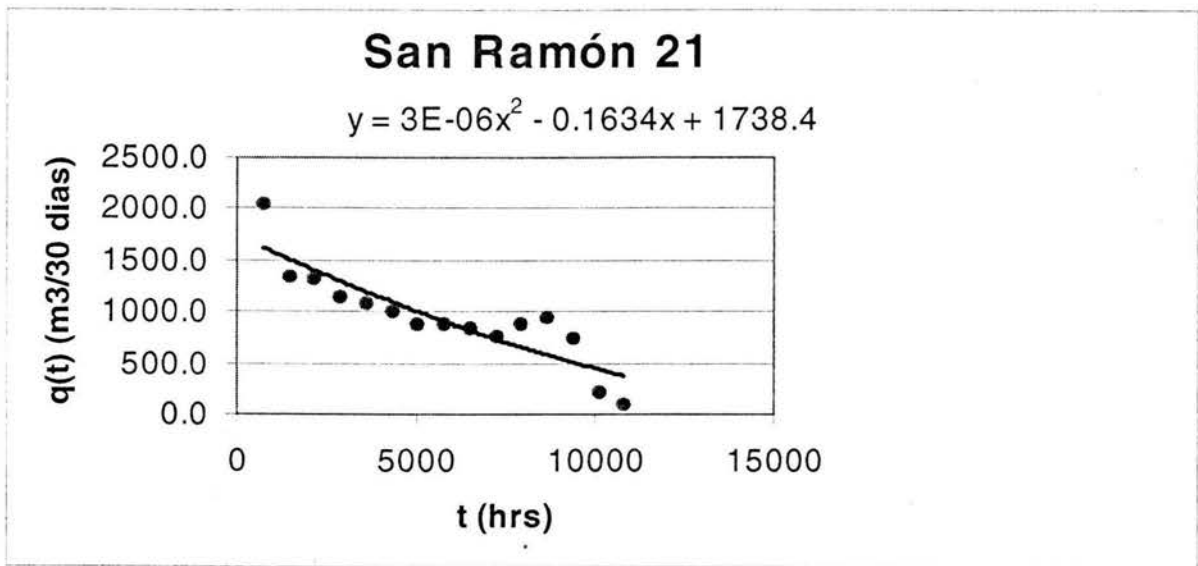
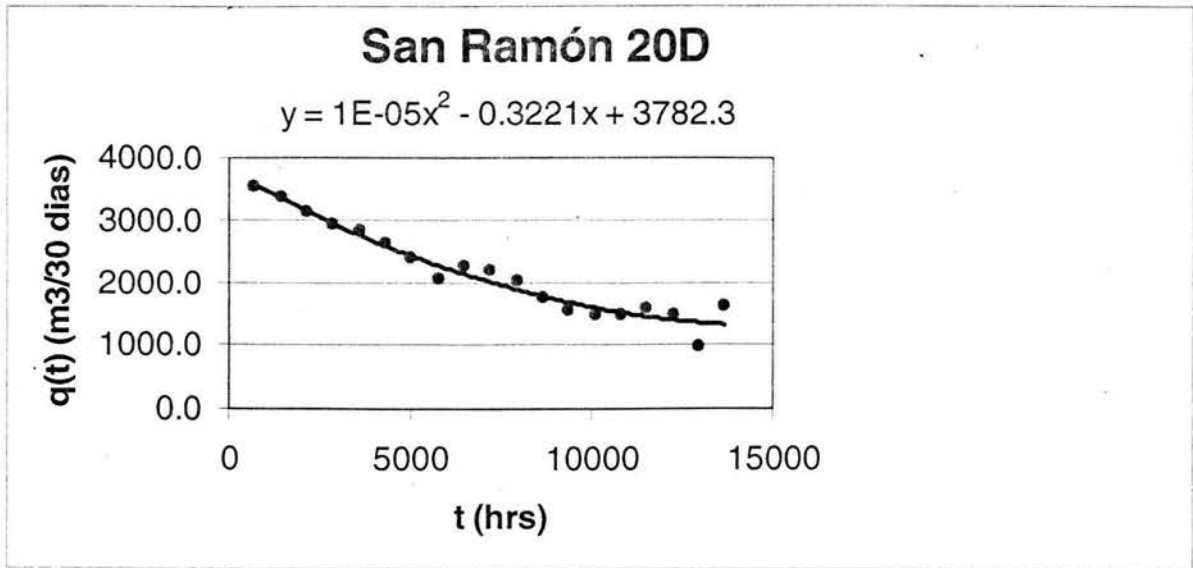
$$y = 5E-06x^2 - 0.0169x + 161.7$$



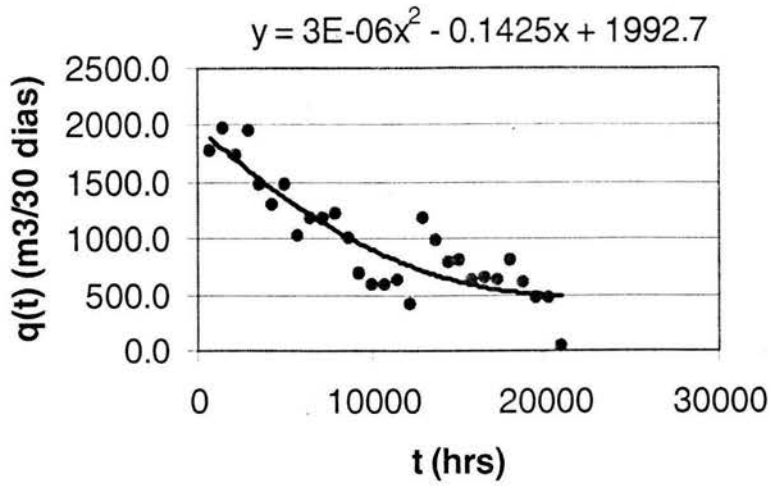
San Ramón 20

$$y = 7E-06x^2 - 0.1505x + 1037.3$$

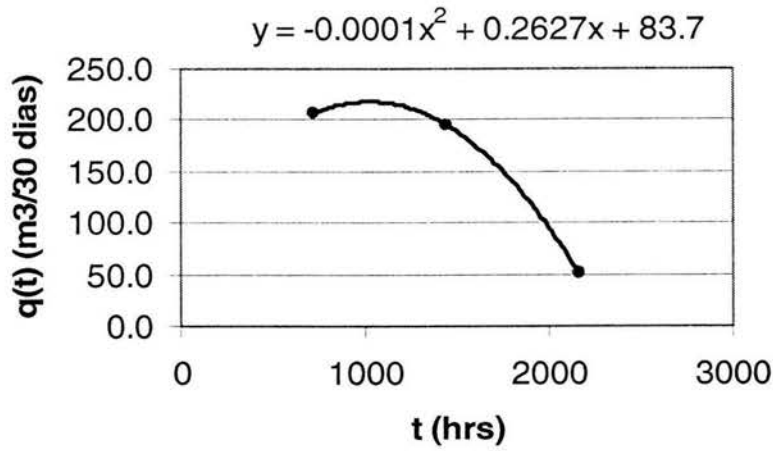




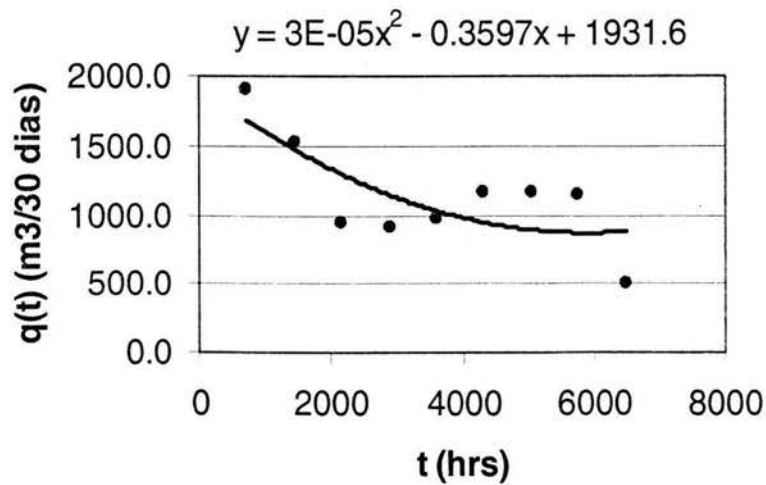
San Ramón 22



San Ramón 23

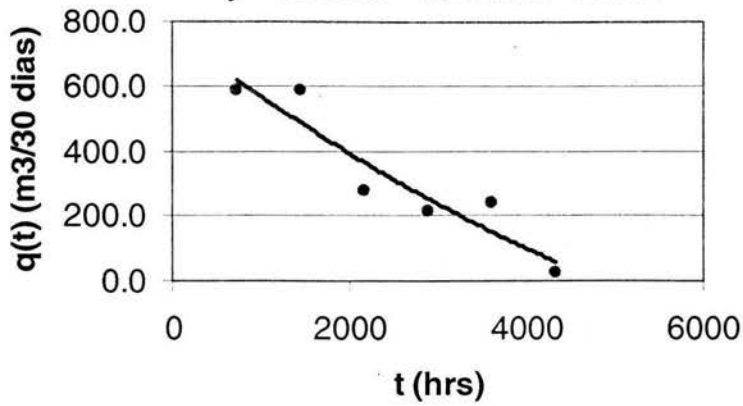


San Ramón 24



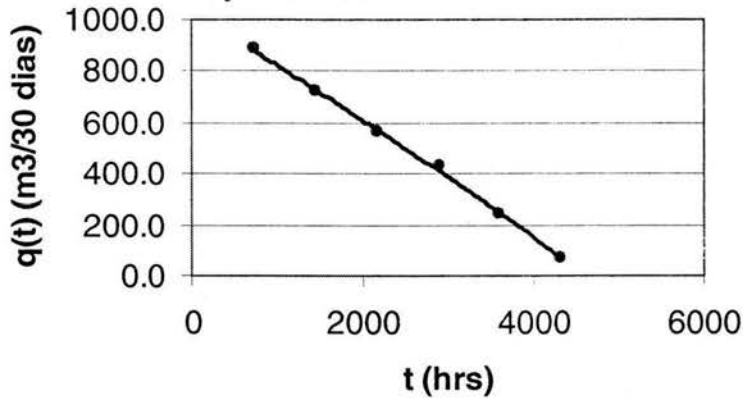
San Ramón 25

$$y = 9E-06x^2 - 0.2035x + 760.11$$



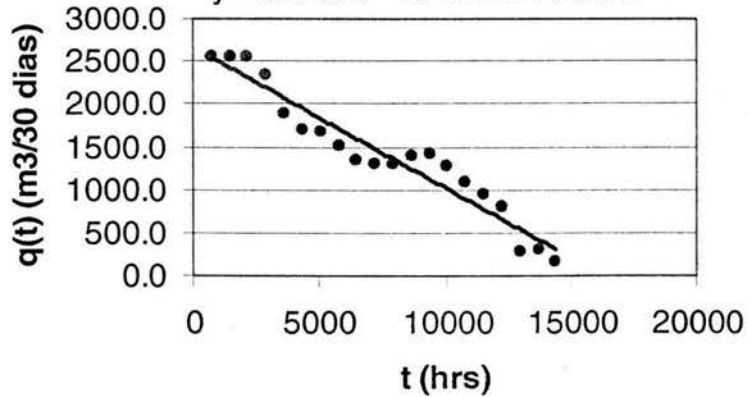
San Ramón 26

$$y = -6E-06x^2 - 0.1956x + 1023.5$$



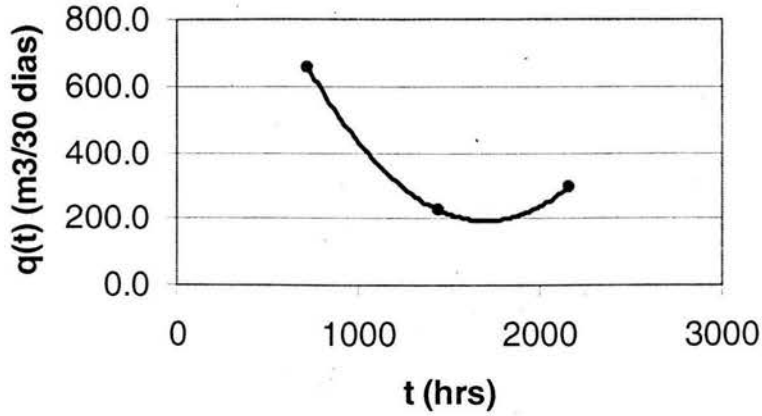
San Ramón 27

$$y = 3E-07x^2 - 0.1684x + 2670.7$$



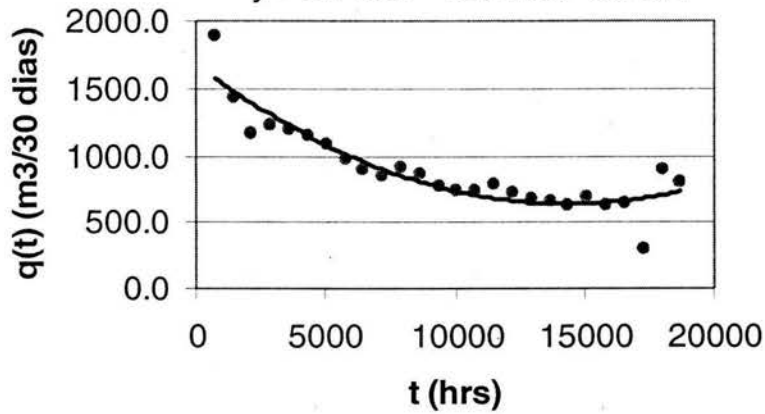
San Ramón 28

$$y = 0.0005x^2 - 1.6361x + 1585.9$$



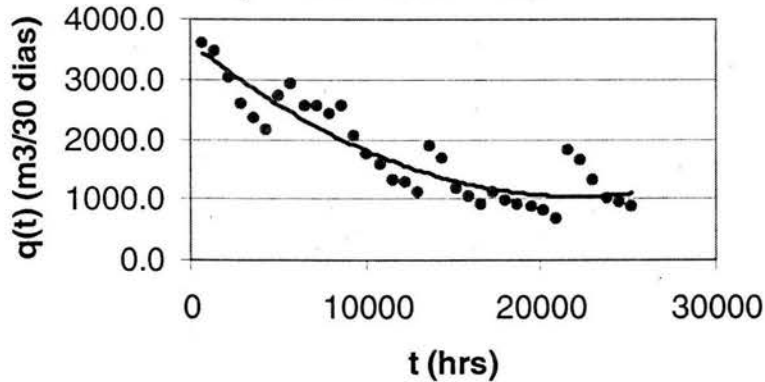
San Ramón 29

$$y = 5E-06x^2 - 0.144x + 1678.2$$



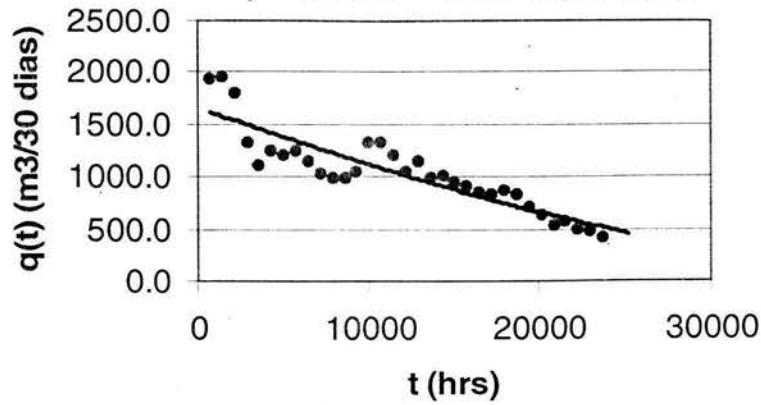
San Ramón 3

$$y = 5E-06x^2 - 0.2322x + 3609.2$$



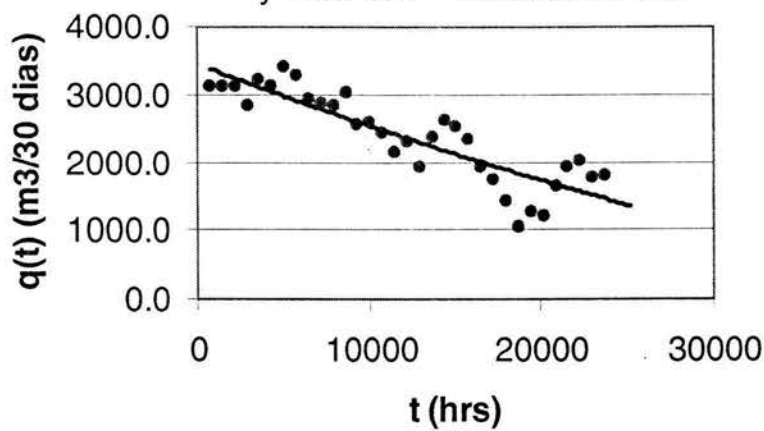
San Ramón 30

$$y = 4E-07x^2 - 0.0579x + 1658.1$$



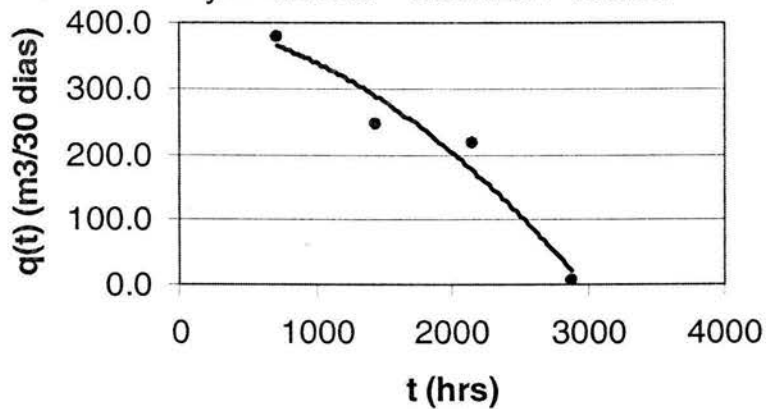
San Ramón 31

$$y = 5E-07x^2 - 0.0958x + 3445$$



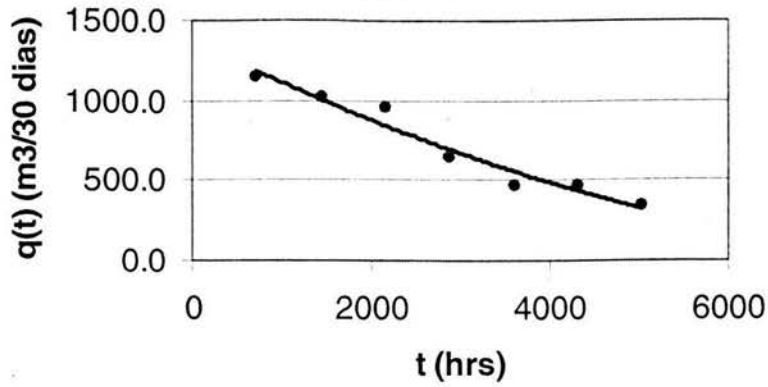
San Ramón 32

$$y = -4E-05x^2 - 0.0242x + 400.88$$



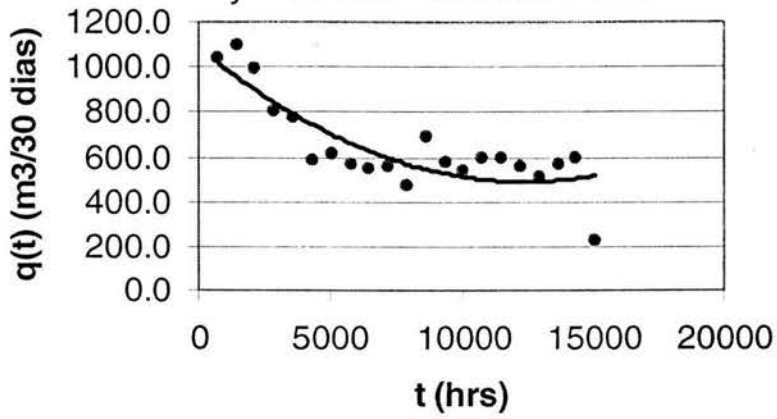
San Ramón 4

$$y = 1E-05x^2 - 0.2729x + 1371.7$$



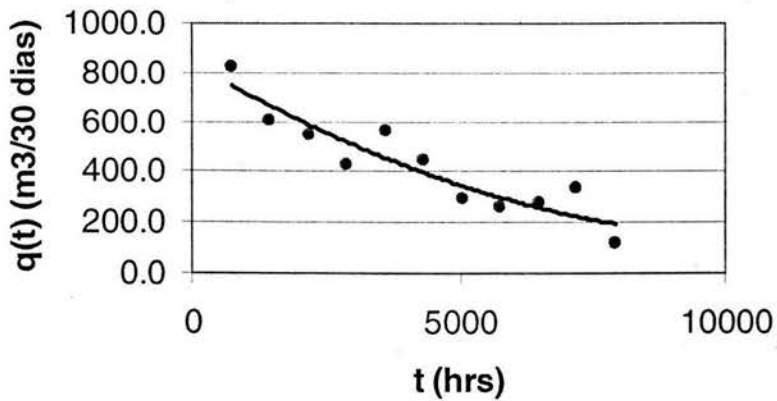
San Ramón 44D

$$y = 4E-06x^2 - 0.0958x + 1085.8$$



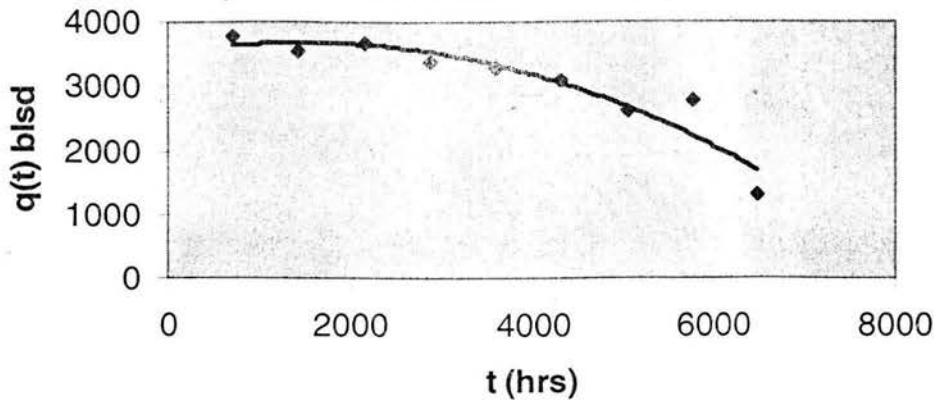
San Ramón 5

$$y = 6E-06x^2 - 0.1255x + 833.56$$



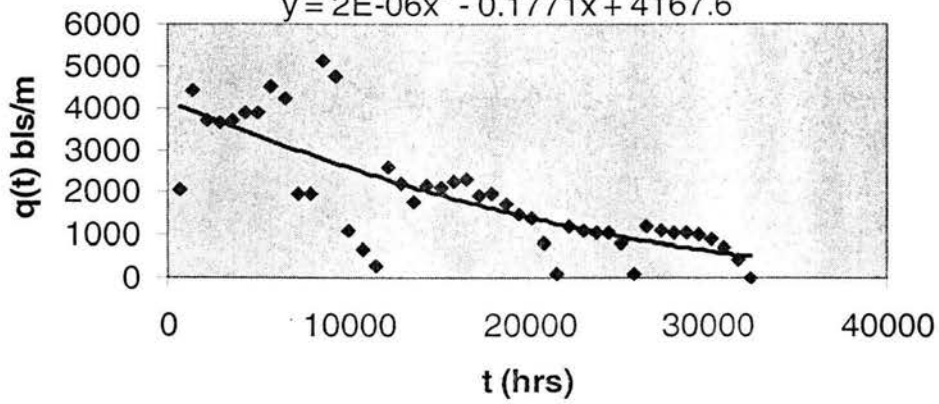
CINCO PRESIDENTES 109

$$y = -8E-05x^2 + 0.2534x + 3492.4$$



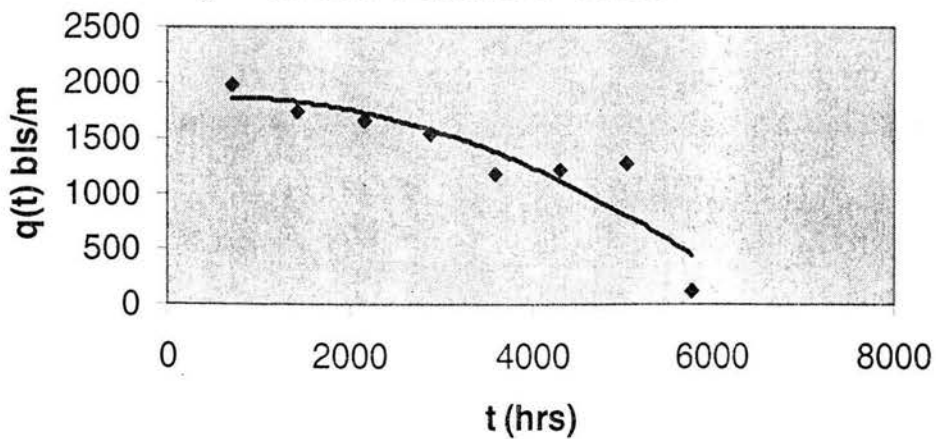
CINCO PRESIDENTES 113A

$$y = 2E-06x^2 - 0.1771x + 4167.6$$



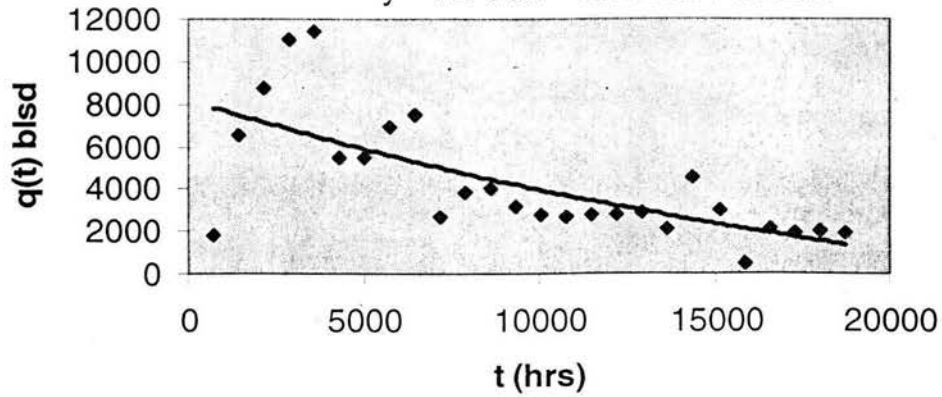
CINCO PRESIDENTES 115

$$y = -5E-05x^2 + 0.0508x + 1859.5$$



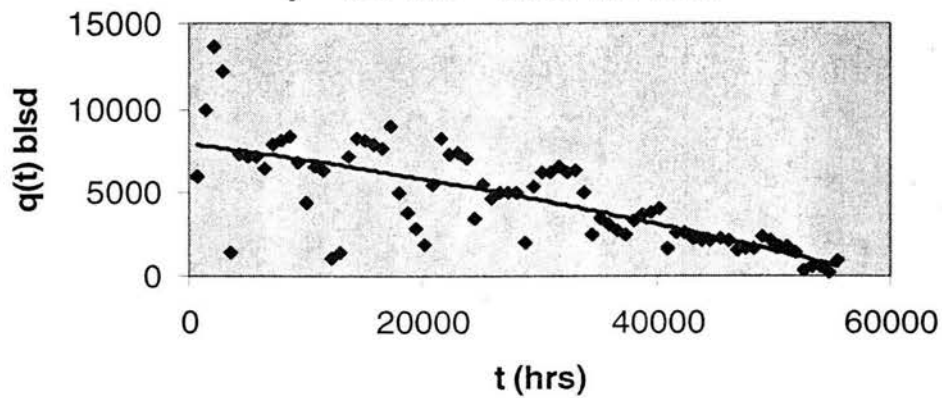
CINCO PRESIDENTES 122

$$y = 7E-06x^2 - 0.4849x + 8156.2$$



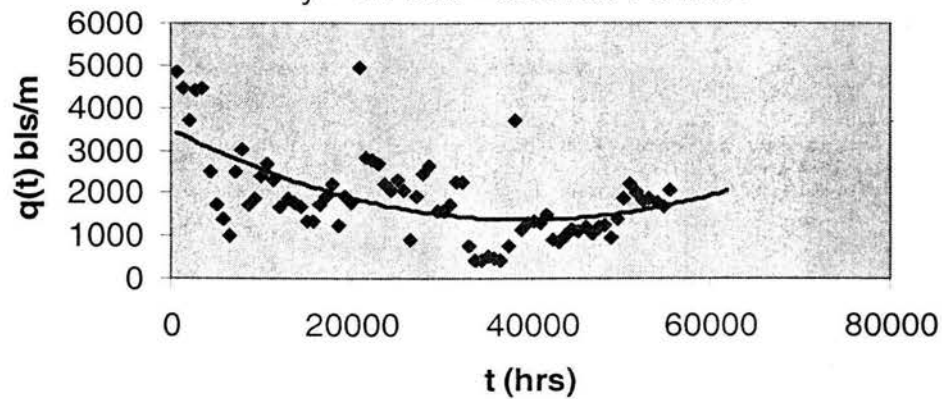
CINCO PRESIDENTES 128

$$y = -8E-07x^2 - 0.0894x + 7967$$



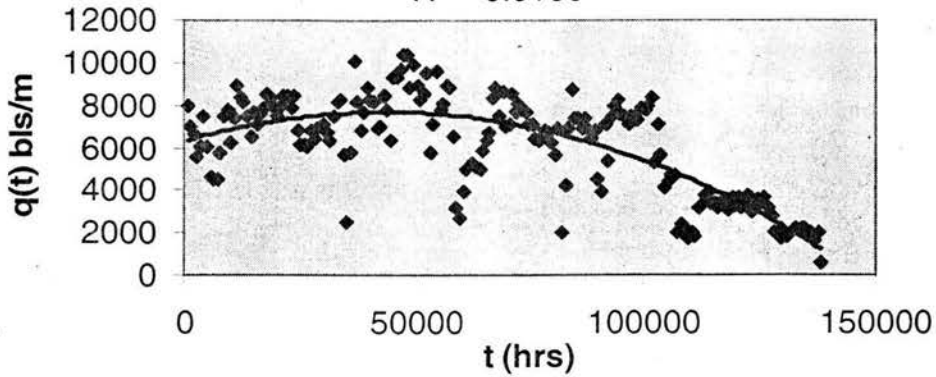
CINCO PRESIDENTES 129

$$y = 1E-06x^2 - 0.1073x + 3496.1$$



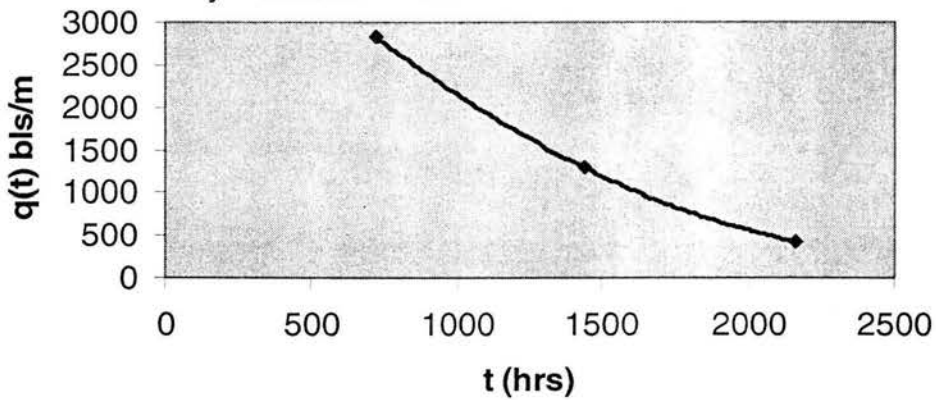
CINCO PRESIDENTES 13-arena 27-

$$y = -7E-07x^2 + 0.0631x + 6305$$
$$R^2 = 0.6109$$



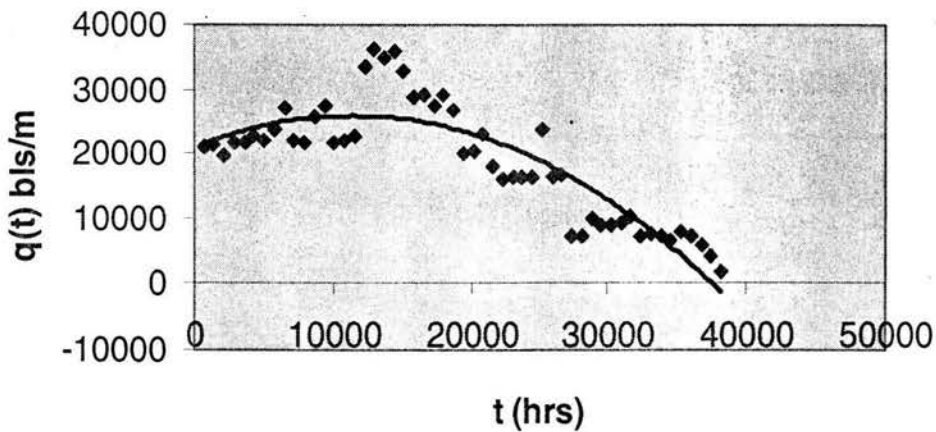
CINCO PRESIDENTES 138

$$y = 0.0007x^2 - 3.5687x + 5057.2$$



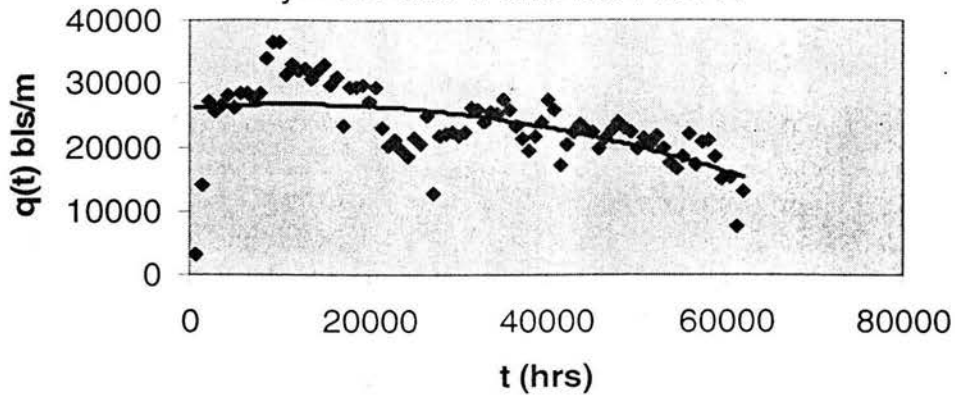
CINCO PRESIDENTES 139D

$$y = -4E-05x^2 + 0.8698x + 21017$$



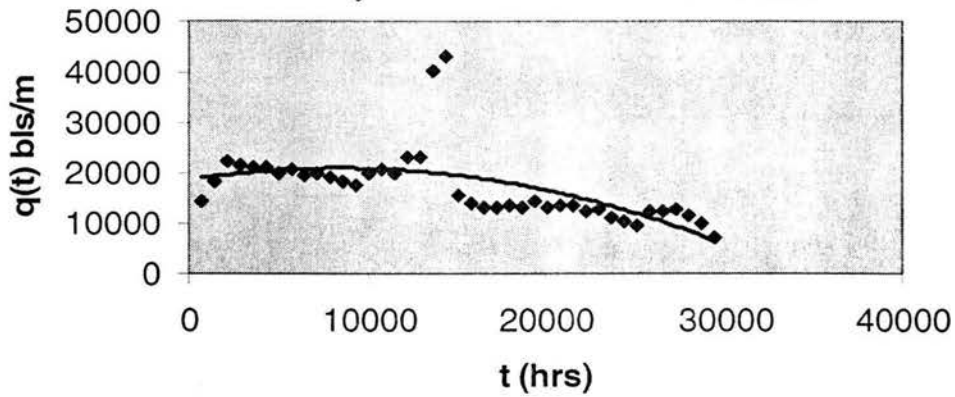
CINCO PRESIDENTES 140

$$y = -5E-06x^2 + 0.1046x + 26177$$



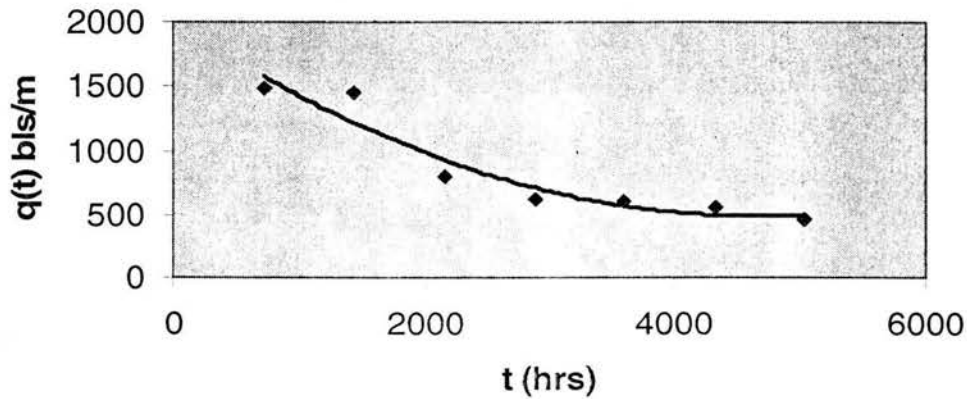
CINCO PRESIDENTES 141

$$y = -3E-05x^2 + 0.5515x + 18695$$



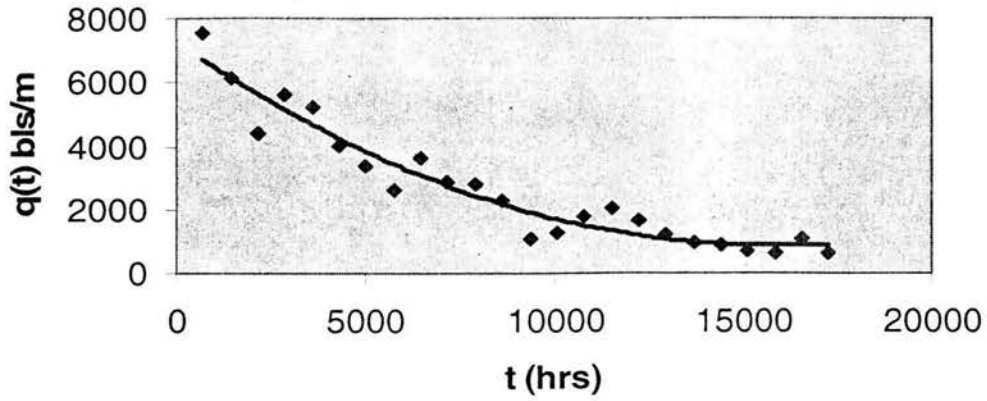
CINCO PRESIDENTES 15a

$$y = 7E-05x^2 - 0.654x + 2013.7$$



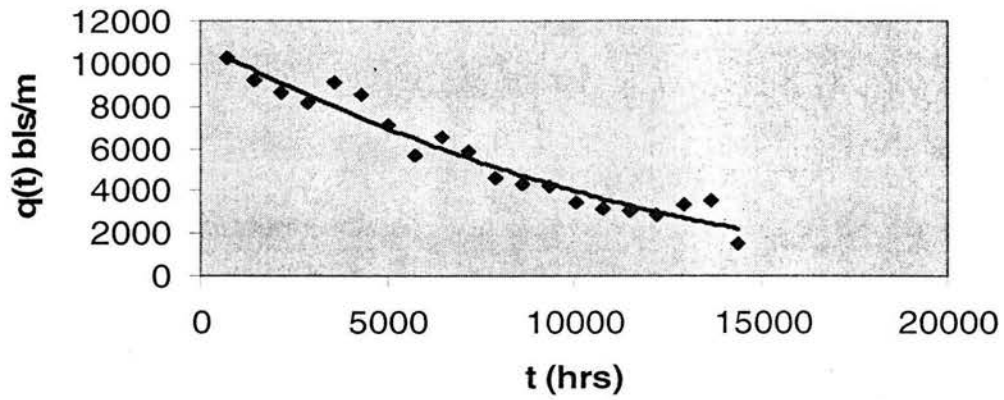
CINCO PRESIDENTES 160

$$y = 3E-05x^2 - 0.8119x + 7283.3$$



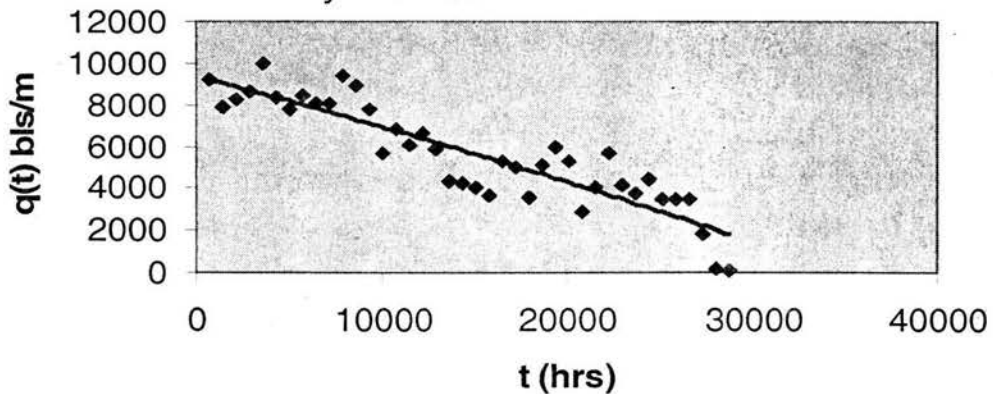
CINCO PRESIDENTES 162

$$y = 2E-05x^2 - 0.8926x + 10916$$



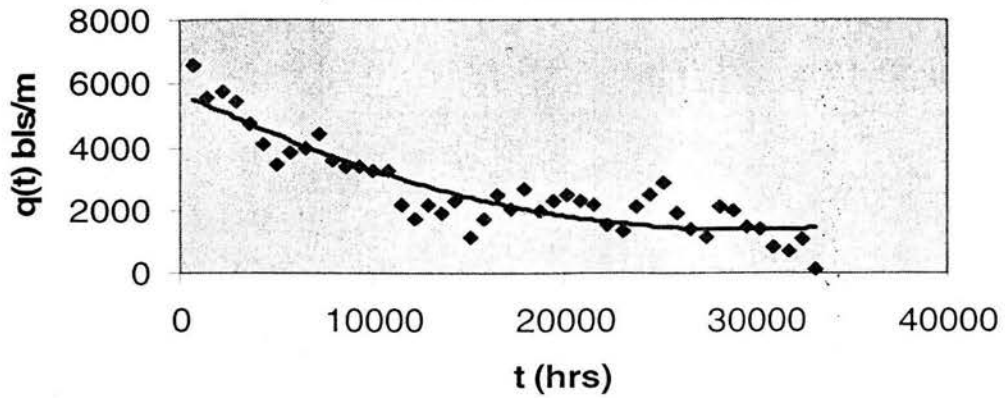
CINCO PRESIDENTES 162d

$$y = -1E-06x^2 - 0.2329x + 9372.3$$



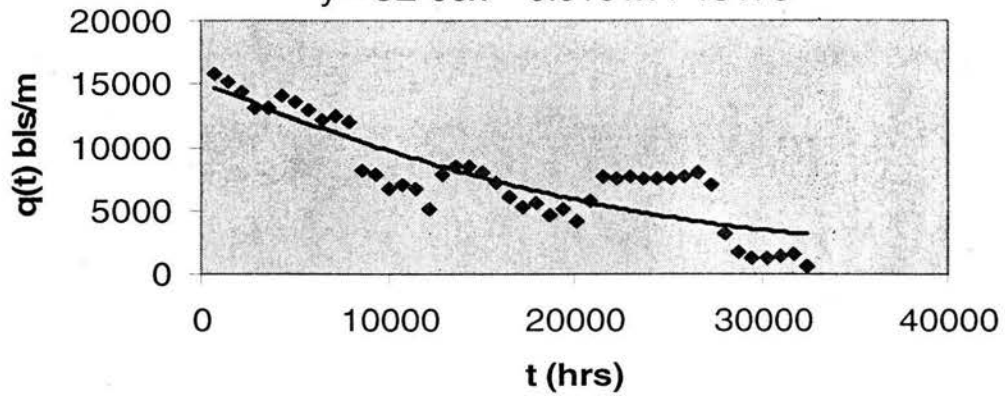
CINCO PRESIDENTES 165

$$y = 5E-06x^2 - 0.2957x + 5738.1$$



CINCO PRESIDENTES 167

$$y = 8E-06x^2 - 0.6161x + 15175$$



CINCO PRESIDENTES 168d

$$y = 3E-05x^2 - 0.9941x + 12307$$

