

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO^{2,C,7} FACULTAD DE INGENIERIA

ESTUDIO DEL EFECTO DE ALMACENAMIENTO VARIABLE En el analisis de pruebas de presion

T E S I S que para obtener el titulo de:

INGENIERO PETROLERO

PRESENTA: CLAUDIA MARGARITA CASTRO ROMERO

DIRECTOR DE TESIS: M. en I. RAUL LEON VENTURA

México, D.F. 1996.



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional Autónoma de México



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.



VNIVERADAD NACI LAM. ANDADA DE MEXED

SRITA. CLAUDIA MARGARITA CASTRO ROMERO

Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor M. en I. Raúl León Ventura y que aprobó esta Dirección, para que lo desanolle usted como tesis de su examen profesional de Ingeniero Petrolero.

ESTUDIO DEL EFECTO DE ALMACENAMIENTO VARIABLE EN EL ANALISIS DE PRUEBAS DE PRESION

	RESUMEN
1	INTRODUCCION
11	ANALISIS DE PRUEBAS DE PRESION CON EFECTO DE
	ALMACENAMIENTO CONSTANTE
111	ANALISIS DE PRUEBAS DE PRESION CON EFECTO DE
	ALMACENAMIENTO VARIABLE
IV	EJEMPLOS ILUSTRATIVOS
v	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
	NOMENCLATURA

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escular en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

REFERENCIAS

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que se deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar examen profesional.

A tentamen te "POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU" Cludad Universitaria, a 16 de enero de 1996 EL DIRECTOR/2

Cullion

ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS'RER BIG

FACULTAD DE INGENIERIA DIRECCION 60-1-004



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

DIVISION DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

VNIVERADAD NACIONAL AVENIMA DE MEXICO

NOMBRE DE LA TESIS:

ESTUDIO DEL EFECTO DE ALMACENAMIENTO VARIABLE EN EL ANALISIS DE PRUEBAS DE PRESION.

TESIS QUE PRESENTA:

CASTRO ROMERO CLAUDIA MARGARITA

DIRIGIDA POR:

M. en I. RAUL LEON VENTURA

JURADO PARA EXAMEN PROFESIONAL:

AGRADECIMIENTOS

A mí padre RAUL CASTRO, él cuál me ha brindado todo su amor y lo más importante su sabiduría y serenidad para llegar a esta miestra meta, dándome la mejor herencia que puede tener un hijo.

A mí madre *MARGARITA ROMERO*, quién en todo momento supo que este era mí camino y que lo culmiuaría tarde o temprano, contando siempre con su cariño, amor y comprensión.

> A mis abuelos *ALFONSO* y *MARGARITA*, quienes me dieron todo su tiempo cuando era tan solo una niña y rodeada de su amor crecí para ser lo que soy ahora. Les dedico esto por ser más que un ejemplo, por ser más que unos padres.

> > A mi abuela *EMA DUARTE*, que donde quiera que este espero se sienta orgullosa de lo que una vez inicie y ahora término, teniéndola siempre en mí mente y en mí corazón.

> > > Al *Dr. PIÑA*, por apoyarme en todo momento y brindar su cariño a toda mi familia en las buenas y en las malas, esperando que cuente con su ayuda y consejos siempre.

A *JASPER HAYTON*, por ser parte de mí vida y hacer las cosas más sencillas y maravillosas.

" La razón de amar... la encontramas viviendo;

el sentido de vivir... lo encontramos amando "

j ARFAERNAS !

A mi hermana *SANDRA*, esperando que se de cuenta de todo mí cariño y apoyo, así como yo se que cuento con el de ella. Y que sea este un inicio de todo lo que realizaremos en la vida.

A *ALEJANDRO*, ya que sin él esto hubiera sido más dificil, y por estar a mí lado hoy y siempre como un excelente amigo.

A mis *tlos* y *primos* por ser parte de una gran familia, estando unidos en todo momento. 7 Gracias por su apoyo, confianza y cariño ?

> Y a mis *profesores* de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, quienes dan parte de su vida a la educación, siendo un ejemplo para todos.

> > Mil Gracias a DIOS por estar conmigo ...



Al *M. en I, RAÚL LEÓN VENTURA*, por su estuerzo y dedicación para la realización de este trabajo, esperando contar con sus consejos en nú vida profesional y con su contianza en mí desarrollo como persona.

> " Los ideales son como las estrellas: nunca los alcanzamos, pero, al igual que los marinos en alta mar, trazamos nuestro camino siguiendolos "

> > Claudia Margarita Castro Romero.



INDICE

	RESUMEN	i				
l	INTRODUCCIÓN	3				
11	ANÁLISIS DE PRUEBAS DE PRESIÓN CON EFECTO DE ALMACENAMIENTO-CONSTANTE					
	 H.1. Concepto de almacenamiento constante H.2. Comportamiento de presión en un pozo con efecto de almacenamiento constante H.3. Análisis de pruebas de presión 	6 16 25				
111	ANÁLISIS DE PRUEBAS DE PRESIÓN CON EFECTO DE ALMACENAMIENTO-VARIABLE					
	 III.1. Anomalías que se presentan en pruebas de presión III.2. Fenómeno de segregación de fases III.3. Efecto de almacenamiento variable III.4. Análisis de pruebas de presión 	32 35 42 64				
IV	EJEMPLOS ILUSTRATIVOS					
	IV.1. Ejemplo 1 (Pozo Taratunich 301)IV.2. Ejemplo 2 (Pozo Taratunich 63D)	67 76				
V	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	87				
	NOMENCLATURA	89				
	REFERENCIAS	94				

ACSEALS.

construction of the second state of the state of the state of the second second state of the structure of the s

RESUMEN

El fenómeno de aluracenamiento es el efecto de pozo que tiene mayor relevancia sobre la respuesta de las pruebas de variación de presión durante los llamados tiempos cortos.

Durante muchos años se han estudiado los fenómenos y las anomalías que provocan los efectos de almacenamiento en pozos de aceite y gas en las pruebas de incremento o decremento de presión, principalmente. Se ha demostrado que uno de los fenómenos que tiene mayor impacto sobre los datos de presión de fondo es la redistribución de fases, que es el resultado de la velocidad más alta de la fase gaseosa dentro de la tubería de producción de un pozo después de cerrarlo en la superficie, ocasionando el efecto de almacenamiento variable.

El estudio de este tenómeno de segregación de fases y por tanto, del modelo de interpretación de pruebas de presión con efectos de almacenamiento variable es desarrollado con detalle en este trabajo.

También se desarrolla el efecto de almacenamiento constante como antecedente de investigación y se hace la comparación con el efecto de almacenamiento variable sobre el comportamiento de la presión en los pozos.

ţ

RESUMEN

MARTERIA DE TERRETERIS DE LE COMPANIE DE LE COMPANIE

Se describe la metodología de análisis de los datos de presión (convencional y con curvas tipo) cuando se tienen los efectos de almacenamiento: constante y variable.

Finalmente, se ilustra la aplicación de estos modelos en el análisis de dos casos prácticos de campo en los que es significativa la confiabilidad de la interpretación y de los resultados obtenidos.

CAPTULO 1

CAPITULO I

INTRODUCCION

Para analizar el comportamiento de los yacimientos petroleros y poder predecir la producción bajo diferentes alternativas de explotación¹⁻¹², el Ingeniero Petrolero puede utilizar como una buena herramienta, para obtener suficiente información, las pruebas de presión que se realizan a los pozos¹³⁻²⁹.

La interpretación de pruebas de presión recae en el uso de modelos con características supuestas que representan el yacimiento real. Estas se desarrollan a partir de un cambio abrupto del gasto de producción y del registro continuo del cambio de presión de fondo respectivo.

Estas pruebas se han convertido en una de las herramientas más poderosas para la caracterización de yacimientos, con su uso se ha avanzado mucho en el área de yacimientos logrando establecer estrategias adecuadas de producción, con el propósito de alcanzar una mayor productividad de los pozos. CMHELO I

a. En 1919 d'alla ville de la defensione de la contra de la contra de la diversión de la contra de la contra de se

En las pruebas de presion ocurre, a tiempos contos, el efecto de almacenamiento que se presenta como una condición de frontera interna. La influencia de este fenómeno puede modificar significativamente la respuesta de presión²⁰.

El almacenamiento se considera como un efecto que altera el comportamiento de la presión y puede originarse por compresión o expansión de los fluidos, así como por un cambio de nivel de líquido en el pozo. Se ha analizado este efecto por medio de curvas tipo, siendo este un ajuste de análisis por medio de una familia de curvas de decremento de presión⁷, las cuales representan la solución de ecuación de difusividad, considerando el almacenamiento constante. Mediante el uso de la derivada de la presión¹⁷, es posible identificar con precisión el periodo de flujo dominado por el efecto de almacenamiento, es decir, es una magnifica herramienta de diagnóstico.

Durante tiempos cortos ocurren fenómenos que afectan el comportamiento de la presión¹², tales como : el efecto de almacenamiento, la segregación de fases, los fluidos dentro del pozo, lingas a través de tuberías, fracturas, penetración parcial, etc. Cuando se presenta alguno de estos fenómenos, ocurre una anomalía típica en la respuesta de presión.

El efecto de almacenamiento variable está asociado con el fenómeno de redistribución de fases¹⁴, siendo un efecto que dificulta la aplicación de las técnicas de análisis, tales como un ajuste con curvas tipo, el cuál está basado en una consideración de almacenamiento constante.

CAPITURO

а<mark>на би</mark>шка била слижано с до жала ал се узакато сило зикато у устаните како се одкатичано следота Марше

El uso de estas técnicas comúnmente resulta en un error sistemático del modelo para los datos medidos a tiempos cortos. Cuando una prueba se corre durante un tiempo suficientemente grande para desarrollar el flujo radial infinito en el yacimiento, los efectos más serios ocurren a tiempos cortos y ocasionan una reducción en la confiabilidad de la interpretación.

La necesidad de analizar datos de presión afectados por el almacenamiento variable, ha dado como resultado varios esfuerzos para explícar la variación anómala de la presión a través del fenómeno de redistribución de fases^{14,21}.

Por tanto, dada la importancia que tiene el efecto de almacenamiento variable sobre la interpreación de pruebas de presión, este trabajo tiene como objetivo primordial estudiar el fenómeno de almacenamiento variable, tanto física como matemáticamente, tomando como base diversas investigaciones que durante varios años se han venido realizando¹⁸. Con la aplicación de estos modelos se pretende lograr un ajuste más preciso y por tauto, una mejor confiabilidad en los resultados obtenidos de las pruebas de presión.

Finalmente, con dos ejemplos prácticos de campo²², se ilustra la aplicación de los modelos de interpretación con efectos de almacenamiento constante y variable, demostrándose el beneficio logrado en la calidad de los análisis y la confiabilidad de los resultados.

CAPITULO II

CAPITULO II

sta beneralista asta da a verte e la centralización de el esta de presidente, y organizador de sobre destructures de el el esta de sobre de sobre de sobre el esta de sobre d

ANALISIS DE PRUEBAS DE PRESION CON EFECTO DE ALMACENAMIENTO CONSTANTE

II.1 CONCEPTO DE ALMACENAMIENTO CONSTANTE

Siempre que se abre o cierra un pozo para registrar una prueba de presión se presentan los efectos de almacenamiento, los cuales modifican la respuesta de presión de los pozos durante los tiempos cortos.

Cuando un pozo se cierra en la superficie, el gasto de flujo en la cara de la formación no cesa inmediatamente, ya que el fluido continúa entrando en el agujero durante un cierto periodo de tiempo hasta que el yacimiento cesa de aportar fluido hacia el pozo, es decir, la cara de la formación queda completamente cerrada al flujo.

Si un pozo ha estado cerrado y se ha introducido en él una herramienta para medir la variación de la presión, al ser abierto el flujo a la superficie la cara de la formación productora continúa cerrada, de tal manera que el gasto en la superficie proviene únicamente del fluido almacenado en la columna del pozo. Después de un tiempo, durante el cual este gasto va dismínnyendo (q_n) y el gasto de la formación (q_{sf}) va aumentando, termína el efecto de almacenamiento cuando el gasto total proviene del yacimiento, es decír que la cara de la formación queda completamente abierta : $q_n = 0$ y $q_{sf}=0$. Este fenómeno del flujo que continúa entrando al pozo en la cara de la formación después del cierre, o cuando el flujo proviene de la columna del pozo al abrirlo en la superficie se conoce como *efecto de almacenamiento*.

。 《李治·杨秋秋·杨秋秋》:"你你见他们还是这个你的时候,这个你你们也能给你你这些人,你不是你,你们你们能能能是这些人,你不能你能够。

La figura 1 muestra esquemáticamente el efecto de almacenamiento que ocurre en un pozo cuando se abrel y cuando se cierra. Cuando se tiene un gasto constante en la superficie, ocurre la suma de dos gastos en sentidos opuestos, esto es, la descarga del pozo q_w que disminuye de q a *cero*, más el flujo de la formación que aumenta de *cero* a q; por tal motivo para tiempos cortos se presenta el período de almacenamiento durante una prueba de variación de presión como se puede observar en la figura 2.

El almacenamiento de los pozos se puede desarrollar por compresión o expansión de fluidos o bien por el movimiento de la interfase de fluidos dentro de la columna del pozo.

анамалары жалана жана актар тарар карары каралуу жарыл карыма караларда жана каралары. Каралар каралары жара ка



FIG. L- EFECTO DE ALMACENAMIENTO EN UN POZO: (a) se cierra, (b) se abre ^s.

en el part d'alter ser





Log r (hrs)

FIG. 2.- EFECTO DE ALMACENAMIENTO DURANTE UNA PRUEBA DE VARIACION DE PRESION*.

CAPIDIO II

стати виде врастивности трало с класки с стороковичности и сторок во состоя со состоя с

a) Por compresión o expansión del fluido.

Sea un pozo que está completamente lleno de un líquido bajosaturado y que produce a un gasto *q* constante en la superfície, *figura 3*. Se tendrá el siguiente balance de masa :

 $\begin{bmatrix} \text{Gasto que entra} \\ (q_{\mathcal{J}} B) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Gasto que sale} \\ (q B) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Gasto almacenado} \\ \text{en el pozo} \end{bmatrix}$

Donde

$$(q_M - q) B = 24 F_W c_W \frac{dp_W}{dt}$$
(1)

despejando :

$$q_{\mathcal{F}} = q + 24 - \frac{V_w - \mathcal{C}_w}{B} - \frac{dp_w}{dt}$$
(2)

Definiendo $C = V_{\rm II} c_{\rm w}$, entonces q_{sf} queda de la forma siguiente :

$$q_{sf} = q_{sf} + \frac{24C}{B} - \frac{dp_{s}}{dt}$$
(3)

Para comprender la solución a problemas de flujo que incluye almacenamiento del pozo, es necesario introducir variables adimensionales :

$$p_{\mu} = \frac{Kh(p_{i} - p_{w})}{141.2 \ g B_{\mu}} \quad , \quad p_{\mu} = p_{i} - \frac{141.2 \ g B_{\mu}}{Kh} \ p_{\nu} \tag{4}$$

$$h = \frac{0.0002637 \ K \ t}{\phi \,\mu \,Cr \ r_{\rm s}^{-2}} \quad , \quad t = \frac{\phi \,\mu \ Cr \ r_{\rm s}^{-2}}{0.0002637 \ K} \quad t_0 \tag{5}$$

CALLER 1

. Na katalahatan katalah kutan kutan kutan kutan katalah kutan kutan



FIG. 3.- ESQUEMA DE UN POZO QUE PRODUCE UN SOLO FLUIDO BAJOSATURADO ".

CAPITURO IL

а<mark>намара и вакита рика и каленита и та</mark> се около и та се около и и колексти архиено сколо и тото е на каке се ок

De tal manera que :

$$rac{dp_{s}}{dt} = \left(-rac{1412}{K} rac{q}{h} rac{BW}{k} + \left(rac{0.0002637}{K} rac{q}{h} rac{q}{c} rac{c}{r_{0}r_{0}}
ight) + rac{dp_{s}}{dt}
ight)$$

$$\frac{d\rho_s}{dt} = \frac{0.0373}{\oplus \mathrm{tr} \, \mathrm{cr} \, h \, \mathrm{rs}^2} \frac{d\rho_t}{dt} \tag{6}$$

Por tanto, sustituyendo en la ecuación 3 :

$$q_{d} = q - \frac{0.894}{\Phi c_{t}} \frac{q}{h} \frac{c}{c_{t}} \frac{dp_{t}}{dh}$$
(7)

Definiendo el coeficiente de almacenamiento adimensional como :

$$C_D \approx \frac{0.894 \ C}{\phi \ C_L \ h \ r_s^2} \tag{8}$$

entonces

$$q_{e} = q \left(1 - C_{D} \frac{dp_{e}}{dt_{D}} \right)$$
(9)

y finalmente

$$\frac{q_{bl}}{q} = 1 - C_b \frac{dp_b}{db} \tag{10}$$

Esta ecuación representa la condición de frontera interna en un pozo que produce a gasto constante un fluido ligeramente compresible con efecto de almacenamiento.

b) Por movimiento de una interfase

Para considerar una intertase de fluidos dentro de la columna del pozo, como se muestra en la *figura 4*, se puede plantear el signiente balance de masa en el pozo :

Gasto que entra
(g,r,B)Gasto que sale
(g,B)Sasto almacenado
en el pozo

De donde se obtiene lo siguiente :

$$\left(q_{st}-q\right)B = \frac{24}{5615} \frac{dz}{dt} \tag{11}$$

donde B se supone constante.

La presión en el fondo del pozo es :

$$p_{w} = p_{T} + \frac{p_{-T}}{144} - \frac{g}{g}.$$
(12)
$$p_{w} = p_{T} = \frac{p_{-T}}{144} - \frac{g}{g}.$$

Derivando con respecto al tiempo :

$$\frac{d(p_{*}-p_{t})}{dt} = \frac{p}{144} - \frac{g}{dt} - \frac{dz}{dt}$$

CAPITERE

na analysis any set in industry same of the structure structure in a system of a second structure in the second



FIG. 4.- ESQUEMA DE UN POZO QUE PRODUCE CON EL MOVIMIENTO DE UNA INTERFASE GAS-LIQUIDO ⁸. CHERRER R

. No di Fild Folk ka na biyo kata yakabayina kokoyoka oliku kata na na kwata kyedi Masta kyangayina iliku na na kukabyyan

$$\frac{dr}{dt} = \frac{141}{9} \frac{g}{g} \cdot \frac{d\left(\frac{p_{t}}{p_{t}} - p_{t}\right)}{dt}$$
(13)

sustituyendo en la ecuación 11 :

$$(q_{2} - q) B = \frac{24}{5615} \frac{44}{p} \frac{g}{g} \frac{d(p_{0} - p_{1})}{dt}$$
(14)

Por tal motivo el coeficiente de almacenamiento C se puede llegar a escribir como :

$$C = \frac{144}{5.615} \frac{A_w}{\rho} \frac{g}{g}$$
 (15)

entonces de la ecuación 14 se tiene :

$$q_{ij} = q_{ij} + \frac{24}{B} \frac{C}{dt} \frac{d(p_{ij} - p_{ij})}{dt}$$
(16)

suponiendo que $p_t = \text{constante}$:

$$q_{y} = q + \frac{24}{B} \frac{C}{dt} \frac{dp_{w}}{dt}$$
(17)

Esta ecuación es idéntica a la ecuación 3, únicamente el coeficiente de almacenamiento tiene una definición diferente. Por tanto, las ecuaciones 9 y 10 también son válidas para pozos que tienen una interfase.

11.2 Comportamiento de presion en un pozo con Efecto de almacenamiento constante

La ecuación de difusividad para flujo radial, introduciendo el concepto del efecto de almacenamiento en el pozo como una condición de frontera interna (ecuación 10), ha sido resuelta y la solución se ha publicado en la literatura especializada¹³:

$$P_{\nu}(t_{\nu},s,C_{\nu}) = \frac{4}{\pi^{2}} \int_{0}^{\infty} \frac{e^{-\pi^{2} t_{\nu}} dn}{u^{2} \left\{ \left[u C_{\nu,\nu}(u) - (1 - C_{L} s u^{2}) J_{0}(u) \right]^{2} + \left[u C_{\nu} T_{\nu}(u) - (1 - C_{L} s u^{2}) Y_{\nu}(u) \right]^{2} \right\}}$$
(18)

La solución analítica se presenta gráficamente en la *figura 5*. A partir de esta solución es posible determinar valores de p_{ν} (y por consiguiente de p_{ν}) para valores dados de : q_{ν} , s y c_{ν} . Para tiempos cortos, cuando la formación aún no aporta fluidos, es decir, todo el gasto proviene del fluido almacenado en el pozo, entonces $q_{\mu}/q = 0$, y de la ecuación 10 se tiene :

$$0 \approx 1 - C_{\nu} \frac{dp_{\nu}}{dt_{\nu}} \tag{19}$$

Integrando desde $t_0 = 0$ (donde $p_0 = 0$) hasta t_0 :

$$p_{\nu} = \frac{\hbar}{C_{\nu}} \tag{20}$$



FIG. 5.- COMPORTAMIENTO DE LA PRESION EN UN POZO CON EFECTOS DE DAÑO Y ALMACENAMIENTO".

ал<mark>лан</mark>а се темалициот стол, дако ила телак конската и колда Есла, раскод сталадели стораца и и истор на есло стал водот и

Y escribiendo la ecuación anterior en términos logarítmicos :

$$\log p_{\theta} \approx \log t_{\theta} \ll \log C_{\theta} \tag{21}$$

Entonces, cuando $q_g > 0$, al graficar Log p_0 contra Log t_0 se obtiene una línea recta de pendiente unitaria. Esto se observa en la primera porción a tiempos cortos de todas las curvas de la *figura 5*. Además, si la ecuación 20 se convierte a variables reales se obtiene :

$$\Delta p = \frac{q}{24} \frac{B}{C} \frac{I}{C} \tag{22}$$

que también representa una línea recta con pendiente unitaria en coordenadas *log-log*, como se muestra en la *figura 6*. De tal manera que cualquier punto sobre la línea recta satisface a la ecuación 22 y por tanto, a la ecuación 20.

Una vez construido el gráfico de la *figura 6*, eligiendo arbitrariamente un punto cualquiera (la única condición es que esté sobre la línea recta), con los datos de Δp y *t* correspondientes, se puede estimar el coeficiente de almacenamiento :

$$C = \frac{g}{24} \frac{B}{\Delta p}$$
(23)

así como el coeficiente adimensional con la ecuación 8.

CAPITULO II

LTT DESCRIPTION DECEMPENDED ADDRESS CONTRACTOR DE CONTRACTOR DE CONTRACTOR CONTRACTOR DE C



FIG. 6.- GRAFICA DE LOG Δp VS. t QUE DEFINE EL PERIODO DOMINADO POR EL EFECTO DE ALMACENAMIENTO¹².

ериски мали вызвания совлета сили стали стороно с во всего в настоя се се стали состоя се состоя состоя состоя с с

El coeficiente de almacenamiento varía con respecto al tiempo, observándose en la *figura* " que a medida que c' es mayor, q_a/q tiende a uno, en un tiempo más grande. Cuando el coeficiente de almacenamiento c' es igual a cero, la relación de gastos q_a/q es igual a 1 para todo tiempo : sin embargo, si el coeficiente de almacenamiento es mayor que cero, la relación de gastos q_a/q cambia gradualmente de cero a uno. En un pozo que produce a gasto constante, una vez que el flujo proveniente de la formación es igual al gasto producido en la superficie, es decir : $q_a = q - y - q_a = 0$, cesa el efecto de almacenamiento y este tiempo que dura dicho efecto puede estimarse a partir de los tiempos adimensionales leidos en la intersección de las curvas de c_b con las de $c_b = 0$ de la *figura 5*, para s = 0.5, 10 y 20 según se presenta en la *Tabla II.1*⁸.

COEFICIENTE DE Almacenamiento Adimensional	VALORES	DE TIEMPO	ADIMENSIONAL ,	t _D
C _D	s = 0	s≈5	s = 10	s = 20
10 ²	6 x 10 ³	7.75 x 10 ³	9.5 x 10 ³	1.3 x 10 ⁴
103	6 x 10 ⁴	7.75 x 10 ⁴	9.5 x 10 ⁴	1.3 x 10 ⁵
104	6 x 10 ⁵	7.75 x 10 ⁵	9.5 x 10 ⁵	1.3 x 10 ⁶
105	6 x 10 ⁶	7.75 x 10 ⁶	9.5 x 10 ⁶	1.3 x 10 ⁷

TABLA 11.1 - VALORES DE 1_D CORRESPONDIENTES AL FINAL DEL EFECTO-DE ALMACENAMIENTO⁸.

CAPITULO H

а дологияния поданных на надавающими в высодаться на складни и плута долгатоваться так или с на намения с на за Пологияния



TIEMPO (hrs)

FIG. 7.- COMPORTAMIENTO DE LA VARIACION DEL COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO CON RESPECTO AL TIEMPO¹⁰.

RAND MELLER UNA DER MERLEN MELLER MELLER MELLER MELLER MELLER DER VORLER UM DER MELLER VOrlichten Vorlichten der Meller vorlichten vorlichten

En la *figura* δ se muestran graficados los valores de la *Tabla II.1* y se obtienen las siguientes expresiones :

log	$t_{\rho} = \log$	60 + <i>lo</i> g	C_p	para	S 101 0
log	$t_p = \log$	77.5 ± log	C_p	para	<i>s</i> = 5
log	$t_p = \log$	95 + <i>lo</i> g	C_D	para	s == 10
log	$t_p = \log$	130 + <i>lo</i> g	C_{p}	para	s = 20

y como se ha demostrado^{*}, la ecuación general que representa en forma aproximada la terminación de los efectos de almacenamiento está dada por :

$$t_{\rho} = (60 \pm 3.5 \ s) \ c_{\rho} \tag{24}$$

A partir de este tiempo, *figura 9*, una vez que cesan los efectos de almacenamiento, la formación está totalmente abierta al flujo, es decir que todo el flujo proviene de ella ($q = q_{sf}$), entonces se alcanza el periodo de flujo radial transitorio (infinito) y los datos de presión representan la respuesta del comportamiento del yacimiento, sin los efectos de almacenamiento.

CAPITULO II

. Na na na manana any kaominina amin'ny fanana amin'ny faritr'o amin'ny tanàna amin'ny tanàna amin'ny tanàna mand



FIG. 8.- REPRESENTACION GRAFICA DEL TIEMPO FINAL DE LOS EFECTOS DE ALMACENAMIENTO *.

CAPITO II

анамаланын маналамын кинактын карталарын карталыкын кетектик кетектик кетектик кетектик маналарын кылымалык кете







11.3 ANALISIS DE PRUEBAS DE PRESION

Como se ha demostrado¹⁵, la respuesta de presión de un pozo con efectos de almacenamiento y daño está dado por la ecuación 18, cuyas aproximaciones para tiempos cortos y largos están dadas por la ecuación 20 y por :

3

$$p_{\rm F} = \frac{1}{2} \left\{ \ln \left(t_{\rm e} \right) + 0.80907 + 2.8 \right\}$$
(25)

respectivamente. La ecuación 20 representa la respuesta de presión durante el periodo de flujo dominado por el almacenamiento (línea recta de pendiente unitaria) y la ecuación 25, será la respuesta de presión durante el periodo de flujo radial infinito (solución de línea fuente).

Obteniendo la derivadaº de la ecuación 20 :

$$p_{\mathcal{D}}' = \frac{d(p_{\mathcal{D}})}{d(t_{\mathcal{D}}/C_{\mathcal{D}})} = 1$$
(26)

Arreglando la ecuación 25 y obteniendo su derivada :

$$p_{\rm b} = \frac{1}{2} \left[\ln \left(\frac{h_{\rm b}}{C_{\rm b}} \right) + \ln \left(C_{\rm B} \ e^{2S} \right) + 0.80907 \right]$$
(27)

$$p_{\theta}^{\prime} = rac{d\left(p_{\theta}^{\prime}
ight)}{d\left(t_{\theta}/C_{\theta}
ight)} = rac{0.5}{t_{\theta}^{2}C_{\theta}}$$
(2.8)

teniendo las siguientes expresiones para el cálculo de las ecuaciones anteriorem

$$\frac{t_0}{C_0} = \frac{0.000295 \ K \ h \ \Delta t}{\mu \ C} \tag{29}$$

$$C_{D} e^{2s} = \frac{0.894}{\phi} \frac{C}{h} \frac{c}{c_{F}} \frac{c^{2s}}{r_{w}^{2}}$$
(30)

Multiplicando las ecuaciones 26 y 28 por el término i_{ρ}/c_{ρ} se obtiene :

$$p_{\mathcal{D}'}\left(t_{\mathcal{D}}/C_{\mathcal{D}}\right) = -t_{\mathcal{D}}/C_{\mathcal{D}} \tag{31}$$

$$p_0'(t_0/C_0) = 0.5 \tag{32}$$

de tal manera, que para tiempos largos la derivada se vuelve totalmente independiente del término t_0/c_0 , es decir, ya no existen efectos de almacenamiento. Esto dió lugar a la curva tipo conocida como "la derivada", la cual presenta una familia de curvas en coordenadas logarítmicas como se muestra en la *figura 10*, y que vino a revolucionar las técnicas de análisis de pruebas de presión en pozos⁹.





27

WILLO H

....

Con el uso de la derivada se logró gran confiabilidad en el análisis de pruebas de presión, ya que se eliminó el problema de no-unicidad de solución al permitir un ajuste único de los datos y además, aprovechar la presencia de los datos de tiempos cortos, aquellos influenciados por el almacenamiento del pozo.

PTER NERVER REPORTED AND ADDRESS FOR ADDR

Para efectuar el análisis de los datos de una prueba de presión es necesario, construir primero la "curva de datos" constituída por: Δp y $\Delta p'\Delta t$ contra Δt , en coordenadas logarítmicas y a la misma escala de la curva tipo. Se usa Δt cuando se trata de una curva de incremento y t para decremento de presión.

Una vez realizado el ajuste de las curvas, como se muestra en la *figura 11*, se anotan los datos correspondientes al punto de ajuste : Δp , $\Delta p' \Delta t - y \Delta t$ de la curva de datos, y p_{μ} , $p_{\mu'}'(t_{\mu}/C_{\mu})$, $t_{\mu'}/C_{\mu} - y - C_{\mu'}e^{2t}$ de la curva tipo. Además, se identifica con exactitud donde terminan los efectos de almacenamiento, cuando la derivada alcanza una pendiente igual a cero, es decir, sobre la línea horizontal donde $p_{\mu'}'(t_{\mu'}/C_{\mu}) = 0.5$ y que corresponde a la convergencia de todas las curvas de la derivada.

A partir de los datos del punto de ajuste se pueden obtener los parámetros característicos del sistema pozo-yacimiento, tales como la permeabilidad de la formación y el factor de daño con las siguientes expresiones :
concepted and a content of the second state of the second state of the second state of the second state of the

 $K = \frac{110.2}{K} \frac{q B \mu}{h} - \left(\frac{p_n^* \left(t_{\rm C} C_{\rm F}\right)}{\Delta \gamma^* \Delta t_{\rm C}}\right)_{\rm anyste}$ (33)

У

$$s = 0.5 \ln \left(\frac{(h/C_{\perp}) (C_{\perp} e^{2s})}{h} \right)_{ajuste}$$
 (34)

respectivamente. Además, con este análisis se identifica el final del efecto de almacenamiento, se hace el diagnóstico del modelo de yacimiento representativo del sistema en estudio y la determinación de las características de las fronteras, de fracturas, heterogeneidades, fallas, etc.

Muchas veces, por desconocimiento del objetivo de las pruebas de presión, por la falta de un diseño previo o por fallas operativas, no se registran los datos con una duración suficiente para alcanzar todos los periodos de flujo. Una gran cantidad de pruebas se han registrado en estas condiciones, las cuales no eran posible interpretarlas.

Sin embargo, después de la introducción de la derivada a través del ajuste de los datos, aunque fueran únicamente los de tiempos cortos, fue posible hacerlo. En la *figura 12* se ilustra cómo lograr el ajuste de los datos de tiempos cortos para analizar una prueba de presión cuya duración no fue suficiente para alcanzar el periodo de flujo transitorio.



FIG. 11.- ILUSTRACION DE LA TECNICA DE AJUSTE CON CURVAS TIPO DE UNA PRUEBA DE PRESION CON EFECTOS DE ALMACENAMIENTO CONSTANTE.

Ξ

CAPITED I



FIG. 12.- ILUSTRACION DEL AJUSTE CON CURVAS TIPO DE UNA PRUEBA DE PRESION CUYOS DATOS ESTAN UNICAMENTE EN EL PERIODO DE ALMACENAMIENTO.

51

2011

ICENTRON FRANCE REAL AND REAL

CAPITULO III

ANALISIS DE PRUEBAS DE PRESION CON EFECTO DE ALMACENAMIENTO VARIABLE

III.1 ANOMALIAS QUE SE PRESENTAN EN PRUEBAS DE PRESION

Puede considerarse que la respuesta de presión de un pozo presenta diferentes comportamientos en función del tiempo, definiéndose así la presencia de los distintos periodos de flujo, los cuales a su vez representan las características específicas del sístema pozo-yacimiento. De esta manera, es posible identificar datos de presión a tiempos cortos, intermedios y largos, correspondientes a los efectos del pozo, del yacimiento y de las fronteras, respectivamente. Esto se ilustra en la *figura 13*.



- 1

log.(tiempo)



CALIFORNIA STUDIES

5

orransee arra

.

-(-)	P14	uta i	iH
------	-----	-------	----

Como se describio en el Capítulo II , uno de los efectos dominantes durante los tiempos cortos está dado por el fenômeno del almacenamiento; pero además, la respuesta de presión puede presentar otras anomalias causadas tipicamente por : los fluidos dentro del pozo, las fallas de empacadores, las fugas a través de tuberías (TP o TR), la penetración parcial, las fracturas, etc.

Las variaciones de gastos de producción, los efectos de anisotropia, interferencia de otros pozos, presencia de fronteras, las suspensiones del registro, así como fugas o represionamientos durante el desatrollo de las pruebas, deben ser tomados en cuenta y no tomarse como factores en forma aíslada²⁰.

Para llegar a tener una interpretación real y confiable de la respuesta de presión se debe encontrar la influencia de todos estos factores y manejarlos integralmente^a. Para tíempos cortos se tienen efectos variables del pozo como son: el almacenamiento, el daño, las fracturas, la penetración parcial y el espesor efectivo ; mientras que para tiempos largos se tienen efectos del yacimiento como: las interferencias, el gasto, la anisotropía y los efectos de frontera, entre otros. Por otro lado, se pueden presentar los problemas operativos en los cuales están las suspensiones en la adquisición del registro, las fugas en tuberías o empacadores, los represionamientos, así como anomalías que resultan de la segregación de las fases y los efectos de almacenamiento, este último analizado con curvas de incremento de presión para diferentes tipos de yacimientos^a.

÷

111.2 FENOMENO DE SEGREGACIÓN DE FASES

A set of a water water in a single site and the set of the set of

La mayoría de las pruebas de presión se realizan mediante el cierre del pozo en la superficie, más que en el fondo, para reducir costos. Sin embargo, el cierre en la superficie permite la entrada de fluido desde el yacimiento durante un período de tiempo después del cierre (periodo de almacenamiento). Además, en pozos que contienen las fases de líquido y gas, ocurre un levantamiento preferencial del gas, con respecto al líquido, en la tubería de producción, debido al fenómeno de segregación de fases.

a way and shere one and sharp a point as a second second

En la práctica existe la necesidad de analizar datos de presión afectados por la segregación de fases. Se ha demostrado⁴ que a tiempos cortos el efecto de segregación de fases actúa similarmente a un pozo con alunacenamiento constante. A tiempos intermedios, una curva de incremento de presión se desvía del comportamiento de almacenamiento constante y aparece una forma característica de "joroba" debido al efecto de segregación de fases, *figura 14*. Por tanto, el análisis de los datos sin la identificación correcta del efecto de almacenamiento variable, puede conducir a la estimación incorrecta de los parámetros del yacimiento.

El fenómeno de redistribución de fases^{to} se ha establecido desde dos puntos de vista : estático (columna del pozo) y dinámico (columna del pozo con entrada del yacimiento), por medio de experimentos de laboratorio.

CAPIED O III



FIG. 14.- INCREMENTO DE PRESION CON EFECTO DE SEGREGACION DE FASES¹⁰.

CALIERO IE

e Marwald a chur a Chuanachainn a' mar annas mar anna a' sheir a anna anna bhriann car car can anna anna anna a

1) Aspecto estático

Para este estudio se considera un cilindro que contiene dos fluidos separados mediante un pistón sin fricción y sin peso, como se muestra en la *figura 15*. La fase fiquida se coloca arriba y la fase gaseosa abajo (CHLINDRO I). Para este experimento se supone que el gas no tiene peso y que el líquido es incompresible. Si se flama A a la presión que se tiene en la cima, se aprecia que el gas confinado abajo del pistón está a la presión A más la presión debida a la carga del líquido (P) ; mientras que si se invierte el cilindro se tendrá ahora a la fase gaseosa en la cima (CILINDRO 2), y por tanto, se tienen las siguientes observaciones :

a) Si el líquido es incompresible, el pistón no tiene movimiento, así que el gas ocupa el mismo volumen ; por tanto, el gas permanece a la misma presión inicial: A+P.

b) La presión de fondo es ahora la presión ejercida por el gas en la cima del pistón (A+P), más la carga del fluido P, resultando así una presión total ígual a (A+2P).

De acuerdo con lo analizado, si se cambia la posición de los fluidos, cambia la presión absoluta en la cima y en la base; mientras que la diferencia entre ambas permanece constante. Analíticamente se observa que en el CILINDRO 1 se tiene (A+P)-A=P , es decir que $\Delta P=P$, mientras que en el CILINDRO 2 se tiene (A+2P)-(A+P)=P, resultando que $\Delta P=P$. Por tanto, se demuestra que en los dos cilindros la diferencia final de sus presiones es igual y permanece constante.

CAPITULO HI



FIG. 15.- EXPERIMENTO DEL ASPECTO ESTATICO DEL FENOMENO DE SEGREGACION DE FASES^{10,21}.

2) Aspecto dinámico

En este caso se tiene un cilindro (que representa la columna del pozo) fleno con glicerina y aire, *figura 16.* En la PRUEBA i se mantiene abierta la válvula *B*, mientras que la válvula C permanece cerrada ; después se inyecta aire a través de un núcleo ubicado en la base de la columna junto a la válvula *A* ; después de cierto tiempo las válvulas *A* (entrada de aire) y *B* (salida del aire) son cerradas simultáneamente, cuando las burbujas de aire se dispersen suficientemente a través de la columna, resultando un incremento de presión total entre la cima y el fondo siendo aproximadamente de 13 pg. de agua. Aquí se observa la liberación de burbujas de gas.

En este experimento se considera que las burbujas en el pozo son comprimidas por la carga del fluido a medida que el gas es comprimido, lo cuál afecta a la presión. Por otro lado, la liberación subsecuente de gas a través del líquido ocasiona que la presión en las burbujas disminuya debido a la carga del fluido ; sin embargo, el gas que no puede expandirse en un sistema cerrado, ejerce una presión sobre el líquido y la interfase gas-líquido. Esta presión se transmite al fondo del recipiente y si se agrega la presión hidrostática, dará una presión adicional asociada con la liberación de burbujas.

El aumento de la presión en la cima y en la base del recipiente, se debe básicamente al cambio de posición de las fases y a la elevación de las burbujas, siendo directamente proporcional al volumen total de burbujas en la columna.



на за заделение вода воделение довоживаето, со ток на како на поста обланата са тако на констана констана со констана на констана со констаната.

FIG. 16.- EXPERIMENTO QUE ILUSTRA EL FENOMENO DE SEGREGACION DE FASES¹¹.

Mediante la PRUEBA 2 se simula el efecto de decremento de presión en un pozo, con un factor de daño alto y una cantidad considerable de burbuias atrapadas en el líquido del pozo durante el cierre. Usando el mismo cilindro con un recipiente que contiene glicerina y aire, el cuál representa a un vacimiento poroso alrededor del pozo, figura 16. Como en el caso anterior, se circula aire a través del núcleo y en el fondo de la columna (válvula A), se abre la válvula B de la cima, mientras que la válvula C es cerrada ligeramente, ocasionando que la presión del aire en el recipiente se ajuste a un valor ligeramente arriba de la presión de fondo fluyendo (p_{μ}) . Cuando se alcanza la dispersión estacionaria de burbujas en la columna, se suspende el suministro de aire y se cierra la válvula B. En este momento resulta un cambio o incremento de presión, siendo mucho mayor la presión de este que la presentada a la entrada del flujo, ocasionando que la presión de fondo fluvendo se incremente a un valor mayor que la presión del yacimiento. Esto se debe a que el líquido de la columna es incapaz de fluir hacia el yacimiento de forma rápida para evitar que la presión de fondo fuera anómala debido a la liberación de burbujas. Tomando la presión arriba de la del yacimiento, se observa que el líquido en la columna empieza a regresarse hasta que la presión de fondo fluyendo deelina hasta la presión de yacimiento.

Se concluye que el incremento de presión (ΔP) se debe a la elevación de burbujas y a la entrada del líquido proveniente del yacimiento. Además, la presión por la elevación de burbujas es mayor que la presión por la entrada de líquido, provocando que después de este efecto el líquido en la columna (pozo) empiece a fluir hacia el yacimiento, declinando la presión hasta el valor de la presión del yacimiento.

Este comportamiento de la presión de fondo se ilustra en la *figura 17*, representativo de un pozo afectado por el fenómeno de segregación de fases (tipo "joroba").

CONTRACTOR STRUCTURE AND A CONTRACTOR OF A STRUCTURE AND A CONTRACTOR AND A

III.3 EFECTO DE ALMACENAMIENTO VARIABLE

Los efectos de almacenamiento variable dificultan la aplicación de las técnicas de análisis de las pruebas de variación de presión, tales como las de ajuste con curvas tipo que están basadas en una suposición de almacenamiento constante. El uso de estas técnicas comúnmente resulta en un error de ajuste entre el modelo y los datos reales a tiempos cortos.

Por varios años se han estudiado los distintos factores que afectan la respuesta de presión, como por ejemplo los efectos de fronteras del yacimiento, heterogeneidades y fracturas, almacenamiento del pozo, efectos de daño, prácticas de terminación⁴, etc. Se ha demostrado también que el fenómeno de redistribución de fases es un efecto de almacenamiento¹⁴. Este fenómeno ocurre en un pozo que se cierra con flujo simultánco de líquido y gas en la tubería de producción ; cuando un pozo se cierra en la superficie¹⁶, los efectos gravitacionales hacen que el líquido caiga y el gas se levante hasta la superficie.





t

· •

and a state of the state of the

CAPITERO III

Debido a la incompresibilidad del líquido y a la inhabilitación del gas para expanderse en un sistema cerrado, ocurre un incremento neto en la presión del pozo causado por la redistribución de fases. Cuando sucede este fenómeno, la presión incrementada en el pozo es liberada hacia la formación y el equilibrio entre el pozo y el yacimiento será eventualmente alcanzada. Sin embargo, a tiempos cortos la presión puede incrementarse arriba de la presión de la formación, creando una "joroba" o anomalía en el incremento de la presión que no puede analizarse con las técnicos convencionales.

Si se considera un pozo donde ocurre el fenómeno de redistribución de fases, también deberá ocurrir el efecto de almacenamiento variable en el pozo. Como se demostró anteriormente, en un pozo con efectos de almacenamiento, este efecto puede ser representado por la ecuación to, y el efecto del gasto variable en la cara de la formación sobre la presión del pozo será :

$$\frac{dp_{xn}}{dt_{p}} = \frac{1}{C_{n}} \left(1 - \frac{q_{y}}{q} \right)$$
(35)

En realidad no todos los cambios de presión en el pozo pueden atribuirse a los efectos de almacenamiento, sino que algo del cambio de la presión es causado por redistribución de fases. Por tanto, la ecuación 35 puede ser modificada agregando un término que describe el cambio de presión causado por la redistribución de fases⁴⁴:

$$\frac{dp_{\star\nu}}{dt_{\nu}} = \frac{1}{C_{\nu}} \left(1 - \frac{q_{s}}{q} + \frac{dp_{t\nu}}{dt_{\nu}} \right)$$
(36)

, en altrativativativa vola Electroni de calendaria en la companya de companya en la calencia en esta de compa

 donde :

$$p_{sb} = \frac{K h p_s}{1412 q B \mu}$$
(37)

La ecuación 36 puede ser arreglada en la forma de la ecuación 10 para demostrar la dependencia de q_{ij} :

$$\frac{q_{\nu}}{q} = 1 - C_{\nu} \left[\frac{dp_{-\nu}}{dt_{\nu}} - \frac{dp_{\nu}}{dt_{\nu}} \right]$$
(38)

Definiendo el concepto de "coeficiente de pseudo-almacenamiento" de la siguiente manera":

$$C_{e_{P}} = C_{P} \left[1 - \frac{dp_{*P}}{dt_{P}} / \frac{dp_{*P}}{dt_{P}} \right]$$
(39)

Este coeficiente de pseudo-almacenamiento plantea el hecho de que la redistribución de fases constituye una forma de almacenamiento variable en el pozo. De esta manera, según la ecuación 39 :

Chando
$$\frac{dp_{w}}{dt_{b}}$$
 ≥ 0 , $C_{w} \leq C_{b}$
 $> \frac{dp_{w}}{dt_{b}}$, $C_{w} < 0$

くわいり日

El primer caso indica que el efecto de redistribución de fases siempre causará una disminución del coeficiente de pseudo-almacenamiento ; mientras que cuando el coeficiente de almacenamiento llega a ser negativo, indica una inversión en la dirección de flujo.

Considerando el proceso físico de la redistribución de fases, pueden inferirse ciertas propiedades de la función de presión de redistribución de fases (p_{μ}) , aunque no sea posible determinar la forma funcional⁴⁴.

Si las fases líquido y gas, antes de cerrar el pozo, se comportan como un fluido homogéneo (que el pozo no cabecee), la función de presión debe tener un valor de cero al tiempo cero (en el momento del cierre), es decir :

$$\lim_{t\to=0} \rho_{tr} = 0 \tag{40}$$

A tíempos largos, cuando termine la redistribución de fases su derivada con respecto al tiempo debe ser cero :

$$\lim_{t_{n}\to\infty}\frac{dp_{\theta}}{dt_{\theta}}=0$$
(41)

Si además se especifica que no existe gas en solución en la fase líquida, entonces la función *pso* debe crecer monotónicamente a su máximo valor :

$$\lim_{v \to +\infty} p_{vv} = C_{vv} \qquad (\frac{J^2}{2})$$

donde C_{ab} es una constante que representa el máximo cambio de presión por redistribución de fases y está dada por :

$$C_{\rm eff} \approx -\frac{K/\hbar}{141/2} \frac{G}{q} \frac{B}{R}_{\rm H}^{\rm c}$$
 (43)

Considerando el efecto de baches o burbujas de gas que se levantan a través de una columna de líquido, cuando el primer bache o burbuja de gas alcanza la superficie después de cerrar el pozo, la presión debe incrementarse en alguna cantidad. Este incremento de presión provoca una disminución del volumen y un incremento de la densidad de todos los baches o burbujas de gas, lo cual a su vez ocasiona una reducción en la velocidad de levantamiento de todo el gas remanente, de tal manera que decrece la rapidez del cambio de la presión. Por tanto, es posible que al inicio la presióa de redistribución de fases (p_{in}) se levante rápidamente y después alcance suavemente su máximo valor (C_i).

Este razonamiento cumple con las condiciones de las ecuaciones 40 a 42 y permite establecer la siguiente representación funcional¹⁴:

$$p_{\rm str} = C_{\rm str} \left(1 - e^{-t_{\rm str}^2/t_{\rm str}} \right)$$
(44)

La ecuación 44 es una función exponencial que permite modelar el fenómeno de la redistribución de fases como un efecto de almacenamiento variable.

CAPITULO III

El término α_{θ} es el tiempo adimensional que dura la redistribución de fases y está dado por :

$$\alpha_{iD} = \frac{0.000264 \ K \ \alpha}{\phi \ \mu \ cr \ r_{\rm h}^2} \tag{45}$$

donde α dependerá principalmente de aquellos factores que controlan el tiempo de tevantamiento de un bache o de una burbuja de gas en el pozo.

Para conocer el comportamiento de la presión en pozos con la presencia de los efectos de almacenamiento variable, es necesario incorporar el fenómeno de redistribución de fases (o segregación) en la ecuación de difusividad. Si se tiene un flujo radial en un yacimiento infinito, homogéneo e isótropo de un fluido de compresibilidad pequeña, entonces la ecuación de difusividad es :

$$\frac{\partial^{2} p_{b}}{\partial p_{b}^{2}} + \frac{1}{F_{b}} \frac{\partial p_{b}}{\partial r_{b}} = \frac{\partial p_{b}}{\partial t_{b}}$$
(46)

Con las signientes condiciones de frontera :

۴

 $p_{\rm p}(r_{\rm p},0)=0 \tag{47}$

$$\lim_{t \to \infty} p_{D}\left(r_{0}, t_{0}\right) = 0 \tag{48}$$

$$\left(\frac{\partial p_{\nu}}{\partial r_{\nu}}\right)_{r_{\nu}=1} = 1 - C_{\nu} \left(\frac{d p_{\nu}}{d t_{\nu}} - \frac{d p_{\nu}}{d t_{\nu}}\right)$$
(49)

$$p_{-\nu} = \left[p_{\nu} - s \left(\frac{\partial p_{\nu}}{\partial r_{\nu}} \right) \right]_{r_{\ell}=1}$$
(50)

C34140 III

а. Кио Сворий поволивана и иле вола арканали он в колокора и кола пределение и на слаги ула се со сосланите и на тексероиз

Varios autores¹⁵ han demostrado que este problema también puede escribirse como una integral de convolución para explicar el efecto de almacenamiento. Por tanto,

$$p_{*\nu}(t_{\nu}) = \int_{0}^{L} \left\{ 1 - C_{\nu} \left| \frac{dp_{*\nu}(\mathbf{t})}{d\tau} - \frac{dp_{*\nu}(\mathbf{t})}{d\tau} \right| \right\} \cdot \frac{dp_{\nu}(t_{\nu} - \tau)}{dt_{\nu}} d\tau + s \left\{ 1 - C_{\nu} \left| \frac{dp_{*\nu}(t_{\nu})}{dt_{\nu}} - \frac{dp_{*\nu}(t_{\nu})}{dt_{\nu}} \right| \right\} (51)$$

por otro lado, si \mathcal{X} { p_{P} – es la transformada de Laplace para un pozo en un yacimiento con s = 0 – y c_{P} (es decir, sin daño ni almacenamiento), se encontró¹⁷ entonces :

$$\mathcal{L}\left\{p_{p}\right\} = \frac{K_{0}\left(\sqrt{z}\right)}{z^{\frac{3}{2}}K_{1}\left(\sqrt{z}\right)}$$
(52)

De esta manera se puede demostrar¹⁷ que la transformada de Laplace de la caída de presión adimensional con efectos de daño y almacenamiento constante está dada por :

$$\mathcal{L}\left\{p_{*}\right\} = \frac{z \mathcal{L}\left\{p_{0}\right\} + s}{z \left[1 + C_{b} z \left(z \mathcal{L}\left\{p_{0}\right\} + s\right)\right]}$$
(53)

Por tanto, involucrando la función de presión de almacenamiento variable o de redistribución de fases, se obtiene la transformada de Laplace de la caída de presión adimensional con efecto de almacenamiento variable¹⁴:

$$\mathcal{J} \{ p_{*p} \} = \frac{\left[z \mathcal{L} \{ p_p \} + s \right] \left[1 + C_p z^2 \mathcal{L} \{ p_p \} \right]}{z \left[1 + C_p z \left(z \mathcal{L} \{ p_n \} + s \right) \right]}$$
(54)

CAPH GLO HE

sur den dar sunder Bellumider under die Steine Steine Steiner Bergereiten werden der schreiten die Bergereiten schreiten die Steine Bergereiten der Steine Bergereiten der Berg

Esta es una solución general, ya que no se han puesto restricciones sobre p_{b} o p_{s0} , excepto que estas funciones son transformables en el plano de Laplace. Entonces, si p_{b} representa algún tipo especial de yacimiento, la solución de la presión para las condiciones de dicho yacimiento puede encontrarse previamente. Este planteamiento también es aplicable a la función de presión de almacenamiento variable (redistribución de fases). Encontrando la transformada de Laplace de la ecuación 44 se tiene :

$$\mathcal{J}\left\{p_{t^{\prime}}\right\} = \mathcal{L}\left\{C_{\theta^{\prime}}\left(1 - e^{-t_{0}/t_{0}}\right)\right\} = C_{\theta^{\prime}}\mathcal{L}\left\{\left(1 - e^{-t_{0}/t_{0}}\right)\right\} = C_{\theta^{\prime}}\left|\mathcal{L}\left\{1\right\} - \mathcal{L}\left\{e^{-t_{0}/t_{0}}\right\}\right|$$

$$\mathcal{L}\left\{p_{\omega}\right\} = \frac{C_{\omega}}{\varepsilon} - \frac{C_{\omega}}{s+1/\alpha_{\nu}} \quad ; \quad z \ge -\frac{1}{\alpha_{\nu}}$$
(55)

Por otro lado, también se ha demostrado que para tiempos largos, la ecuación 52 se simplifica a la solución de línea fuente, porque $\sqrt{z} K_1(\sqrt{z}) \rightarrow 1$ cuando $z \rightarrow 0$ o $h_1 \rightarrow \infty$, entonces :

$$\mathcal{L}\left\{p_{0}\right\} = \frac{1}{z} K_{0}\left(\sqrt{z}\right)$$
(56)

Una aproximación adicional para tiempos largos, puede obtenerse considerando que cuando $t_D \rightarrow \infty$, $s \rightarrow 0$ y $K_{\nu}(\sqrt{z}) \rightarrow -\left[\ln\left(\frac{\sqrt{z}}{2}\right) + \gamma\right]$, donde $\gamma = 0.5772$ (constante de Euler). Por tanto, la ecuación 56 se convierte en : CARILLO HE

$$\mathcal{L}\left\{p_{\mathcal{C}}\right\} = -\frac{1}{z}\left\{\ln\left(\frac{\sqrt{z}}{2}\right) + \gamma\right\}$$
(57)

Para involucrar el efecto de almacenamiento variable en la respuesta de presión en un pazo cuyo comportamiento está dado por la solución de la ecuación de difusividad (ecuación 52), es necesario solamente combinar la ecuación 55 con las diferentes expresiones dadas por las ecuaciones 52, 56 y 57. De esta manera, sustituyendo las ecuaciones 52 y 55 en la ecuación 54 :

. The Manager and the state of the state of the state of the state state with the state of the state of the state state of the state of t

$$f_{z}\left\{p_{zo}\right\} = \frac{\left|\frac{K_{0}\left(\sqrt{z}\right)}{\sqrt{z-K_{1}}\left(\sqrt{z}\right)^{2}+s}\right|\left|1+C_{0}-C_{s^{0}}|z^{2}\left(\frac{1}{|z|}-\frac{1}{|z+\frac{1}{|z|}}\right)\right|}{z\left\{1+C_{0}|z|\left[\frac{K_{0}\left(\sqrt{z}\right)}{\sqrt{z-K_{1}}\left(\sqrt{z}\right)^{2}+s}\right]\right\}}$$
(58)

Esta ecuación representa la presión en un pozo considerando como "cilindro fuente". De igual forma si se supone una "línea fuente", sustituyendo las ecuaciones 55 y 56 en la ecuación 54 :

$$\mathcal{J}\left\{p_{z,p}\right\} = \frac{\left[K_{0}\left(\sqrt{z}\right) + s\right]\left[1 + C_{D}C_{sD}z^{2}\left(\frac{1}{z} - \frac{1}{z+1/\alpha_{D}}\right)\right]}{z\left\{1 + C_{D}z\left[K_{0}\left(\sqrt{z}\right) + s\right]\right\}}$$
(59)

Para tiempos largos, combinando las ecuaciones 54, 55 y 57 se obtiene la siguiente aproximación :

1

.

$$J^{0}\left\{p_{2,r}\right\} = \frac{\left|\left|\frac{s-\ln\left(\frac{\sqrt{z}}{2}\right)-\gamma\right|}{\left|\frac{1-C_{2,r}}{2}\left|\frac{c_{2,r}}{c_{2,r}}\left|\frac{1-\frac{1}{2}}{\frac{1-\frac{1}{2}}{2}\left|\frac{1-\frac{1}{2}}{\frac{1-\frac{1}{2}}{2}\left|\frac{1-\frac{1}{2}}{2}\right|}\right|\right|}\right|$$
(60)

CHARLENS P.

1. A. 1. A. 1. A. 1.

La aproximación para tiempos largos de la función p_{uv} puede obtenerse a partir de las ecuaciones 58, 59 y 60 -tontando en cuenta que :

$$z^2 \left[\frac{1}{z} - \frac{1}{z + \frac{1/z}{2\pi b}} \right] \rightarrow 0$$
 cuando $z \rightarrow 0$ $(t_0 \rightarrow \infty)$

Entonces estas ecuaciones se reducen a la solución de la ecuación de difusividad con efectos de afiniacenamiento y daño¹¹ :

$$p_{str} \approx p_{tr} + s \tag{61}$$

(62)

También, de la ecuación 58 puede obtenerse la aproximación para tiempos cortos, si el coeficiente de almacenamiento variable es $C_{sb} \approx 0$:

$$\mathcal{L}\left\{p_{*b}\right\} = \frac{\left[\frac{K_{0}\left(\sqrt{z}\right)}{\sqrt{z-K_{1}}\left(\sqrt{z}\right)} + s\right]\left[1+0\right]}{z+C_{b}z^{2}} \approx \frac{\left[\frac{K_{0}\left(\sqrt{z}\right)}{\sqrt{z-K_{1}}\left(\sqrt{z}\right)} + s\right]}{C_{b}z^{2}\left[\frac{K_{0}\left(\sqrt{z}\right)}{\sqrt{z-K_{1}}\left(\sqrt{z}\right)} + s\right]}$$
$$\mathcal{L}\left\{p_{*b}\right\} = \frac{1}{C_{b}z^{2}}$$

CAPITITIO III

а палиаты се видениясы. Конструкти и сулы разу сулы указык конструктана каларык каларык калары <mark>жана жала</mark>

Además, como $z = \left\{ \frac{1}{z} = \left[\frac{1}{z} + \frac{1}{\alpha_0} \right] \right\} \implies \frac{1}{\alpha_0}$ para z grandes, entonces de la ecuación 58 :

$$\mathcal{L}\left\{p_{+\nu}\right\} = \frac{\left|\frac{K_0\left(\sqrt{z}\right)}{\sqrt{z}-K_1}\left(\sqrt{z}\right)^*s\right|\left[1+C_FC_{\ell^0}\left(\frac{1}{c_{\ell^0}}\right)\right]}{z\left\{1+C_F\left[\frac{K_0\left(\sqrt{z}\right)}{\sqrt{z}-K_1}\left(\sqrt{z}\right)^*s\right]\right\}} = \frac{1}{C_F\left[z^2\right]}\left[1+C_F\left[C_{\ell^0}\left(\frac{1}{c_{\ell^0}}\right)\right]$$

$$l \left\{ p_{n,p} \right\} = \frac{1}{C_{P} \cdot z^{2}} + \frac{C_{sp}}{a_{P} \cdot z^{2}}$$
(63)

Y p_{sb} puede escribirse como :

$$p_{\alpha\beta} = \frac{\hbar}{C_{\beta}} + \frac{1}{C_{\alpha\beta}} \frac{\hbar}{\alpha_{\beta}}$$
(64)

$$p_{w0} = I_D \left(\frac{1}{C_D} + \frac{C_w}{\alpha_D} \right)$$

$$p_{\rm str} = \frac{h}{C_{\rm str}} \tag{65}$$

La ecuación 65 muestra que cuando existe un efecto de almacenamiento variable, puede tenerse una representación matemática muy similar al caso de almacenamiento constante, a tiempos cortos, donde el coefficiente de

almacenamiento estará dado por el término Con esto ocurrirá a tícmpos cortos, seguido por un período de transición dominado por el almacenamiento variable y después, a tícmpos posteriores el pozo presentará un almacenamiento constante, controlado por Conúnicamente³.

Para obtener valores de presión adimensional representativos del comportamiento de la presión en pozos con efectos de almacenamiento variable (redistribución de fases), es necesario realizar la inversión de las ecuaciones 58,59 ó 60. Como estas expresiones son demasiado complicadas para su inversión analítica, se obtuvo la transformada inversa de Laplace en forma numérica, tal como se consigna cín un trabajo previo¹⁴. En esta referencia se presentan los resultados obtenidos de la inversión y cálculos hechos con las ccuaciones 58,59 y 60 para diferentes valores de C_P y s. De esta manera se demostró la excelente concordancia con datos reportados previamente en la literatura¹⁵, y que la ecuación 60 es suficientemente exacta para obtener los valores de presión adimensional. Para facilitar el cálculo de p_P en las pruebas de variación de presión, C_{a0} de la ecuación 65 se usó como una variable, en lugar de α_P (que es más dificil de obtener). Los resultados de la inversión¹⁴ se muestra en la *Tabla III.1*¹⁴.

TABLA IN 1 – PRESION ADIMENSIONAL DE UN POZO CON FELCTOS DE ALMACENAMENTO A ARIABLE^{TI}

					· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	11.00	 Cas	20 C _I .	10000
	U_{ab}	$-20_{10} - C_{10} - c_{10}$	100	C.	20 Cp.	Con.	- 45°		1. 20
		<u>\ }0</u>	\$ 20	y ff	s 10	$\chi \sim 20$	1. 0	1.70	
¹ .					$C_{12} = I$			C_{\bullet} : 1	
1		1 st: 1			- Andreas - Andreas - Andreas - An		1.1.1	1100	14.3
340	1.495	1.451	1.026	1.22	1.63	- 122	1.011	C415	1419
215	1.5	3,10	100	1.52	1.15		2 (1 2 4	1.535	1.009
N.99	100	164.	8.151	. 13	1.14	1.1.5	3.124	4.002	199
100.0	4.11.5	0.0	1.7)	104	2 24	1.651	1.147	1.144	3.25
Şu (a)	1-96. 1 1 1	11/20	3171	126	k we r	1.11	1.00	1.44	1.915
424	1.2	116	24.27	4.151	7.74+	557	1103	2.114	2.844
1 march	• • •	45.27	2517	a 1955	11.32	11.12	2.249	4.539	5.415
1.000	1.61	\$5.76	28.26	1454	14 95	11.61	155	i sere	8.948
10000	61**	16.1.5	10.13	n + 2n	100	22.40		11.05	14.59
10000	1.565	10.20	24.49	5415	:6 49	267	e stat	15.40	21-01
Maxwe	A. 954	12.75	2456	+ 752	11.13	1128	1217	12.04	26.12
Loedroh	2317	17.9	21.11	2.645	11.5	2.6	7.621	17.57	27.47
20660118	149	1748	174-	1625	15.13	28.21	×1-9	ta en	28.04
•(RS\$400	N 127	1812	2812	9112	14-16	74.55	\$ 150	19.45	28.43
100004300	8 454	15 14	25.16		10 C.	1000	Cin	× 10. Cp	-10000
	Cab	$\sim 2 \theta_c = C_D$	<i>≈100</i>	Cali	~ 29, [r managementer			<u></u>	v- 20
In I	1-0	<u>s~10</u>	s = 20	$y \neq D$	s=10	s = 10	5.0	0 10	
		$C_{eff} \simeq 10$	1		$C_{\bullet D} \approx 10$			C+0 - 10	
			4195	1431	3 752	1104	3 928	1911	1.00
(60	4,01	• • • • •	2150	5 (49	\$ 587	5 14-4	ց հիյն	6.325	4.116
200	4 968	10 SH	11.52	8.592	3 3.87	A 140	9116	0,00	0.000
500	100	12.67	1121	N 595	10.33	16.75	9.744	10.61	1613
1000	441	13.41	1831	- 8 01	10 42	ft 19	9 721	1016	10,30
2000	1.656	14.35	22.59	1311	11.15	15.02	8.971	1971	12.52
10000	103	1189	24.31	5 622	0.51	11.12	8 317	19.67	1116
20020	2.352	12.00	25.23	• HC	1110	38-1 1354	144	11.56	(1.72
10080	3.612	17.18	23.37	t KOF	15.3*	1. 1.	6724	17.74	15.95
Tusana.	p 359	14.13	1614	6191	IN RE	26.33	6367	14.54	18.53
200050	6.55**	1629	26 20	8. Sec.	16.44	20.75	n 932	16.35	24 NB
18:000	6.961	18.99	20.44	3 MO1 7 MIA	17.36	27.29	1299	17.12	25.60
1.06000:0	7.47	47.31	27.51	2.46	P 45	23.62	1015	13.24	27.55
2000000	2.659	\$7.64	1140	8.11	1811	15.13	6111	1201	10.41
3000804	6110	18.12	2810	4 163	18.46	26.46	8460	1845.	2h-44
10000094	144	11 14	-100	C.o	=20, C _D	<i>1000</i>	Culi	$T_{\mu} = C_{\nu}$	~10000
	Cali	-30, CD			e=10	x- 20	s= 0	s= 10	s= 20
I_D	s≈0	s=0 $s=10$ $s=20$		140 140			Can - 100		
	1	C _{4D} =100		C ₄₆ =100			3676 4876		
100	1 195	4 729	1 \$10	1.14	4 861	4.471	9.477	5.40	9 514
208	6 394	8.9.16	9207	9137	y 453	9.192	21.93	22.69	22.11
200	0.02	19.05	20.71	2931	21.76	41 /P 36 57	31 72	39.22	32.29
1600	1,0,30	24 SK	H.M	*119	.36.12 13:14	61.10	41.49	62.60	63.03
20.00	12.17	36 BL	46.60	410	28.24 16.14	8181	81.51	812-04	90 5
5900	833	28.43	.17 4 1	41.82	61 (5)	19,5-1	91.01	w(v)	41.6
160.06	6.119	18.04	NE GR	1001	(1.9)	62.61	71.18	90.45	94,4
10000	3 846	15 66	17.62	est.	218.58	17.63	15.20	17.17	823
50649	્ર ભાર	19.90	22.87	6.678	10.67	28.24	20.64	nt 24	76.6
166460	0.200	1679	26.12	410	1673	_16 ° 1	12.91	11 Sr	64 5
20005U	5.50	10 74	26.97	1.015	12.04	27.02	\$ 225	21.89	,114 4 1 6 1
200001	6014	12.17	27.71	1316	17.35	\$1.54	1.820	18.05	.9.
1000000	101	17.66	2. 69	1,680	14 08	2147	1,958	1/4	29.0
10-066-9	kits.	1832	28.13	8125	1917	2417	\$200	1515	;k
Midaoote		18.10	18 46	6469	18.47	28.42	6.905	10, 91	

TABLA III.1 .- (CONTINUACION)

·	<u> </u>	-100 Co	1000	C.n	-100, C _D	-10000	Cati	1000, C _D	-10000
	t. _{af})	-100, 0.0		- 017				r 10	<u></u>
t ₀	s U	s 10	5-211	s -÷0	x ~ 10	\$~20	3.0	3.14	
		Consel			$C_{11} \sim 1$			$C_{1D} \circ I$	
		- 41			0.6181	H0383	Q 09583	0.0/603	6.025-05
100	06748	10440	8 6917	04772	0.8869	0.6511	01839	01846	01846
200	8 9841	1024	1.163	1 079	1.010	1.041	D-4CRN	0 4115	04119
500	1.320	1 4 5 0	1 941	1 072	1.091	1.000	0.6813	a 6905	R163.0
Tuda	1 820	7.10	2 841	1.142	1 1 4 1	1.191	9 2221	1 025	1 92 9
2000	2 143	4 91 1	1.152	1.366	1 457	1437	1.559	1493	1.158
3000	4 140	1.10	I BAR	1 699	1 500	1.940	1715	1.996	1.943
10000	4 147	11.21	1416	1.299	2.244	2 844	2,312	2.750	2.515
10000	1 659	14.56	21.93	3 623	4 980	, 355	3 6 10	4.983	6.318
106000	6 100	13.93	29 50	4 882	7.999	N 749	4.881	7.904	8931
200000	2.47.8	16 41	26.33	5 936	11 88	14.19	\$ 957	83 M	11.34
100000	6 923	16.93	26.91	6 804	11.80	22 60	6 6 04	13 80	:2.60
1000000	2.385	17.50	27.28	7 2 3 7	17.64	26.32	1237	12.04	28.52
2000000	2 6 9 5	\$765	27.64	7 621	17.56	2747	TAN	12.16	27.47
500000	0.215	1818	28.63	8.102	4 A 6 S	28.05	# 102	18.04	78.64
10000000	8.463	18.46	28.46	# 436	1845	28.43	E 416	16.43	
	Can	=100, Cp	~1000	Cap	~100, Cp	<i>∺1004D</i>	C _{aD} ≈	1000, C _D	#10000
			1=20	s=0	s=10	s=20	s≈θ	s~10	s-20
ID ID	1.0	1.10			13	1		C	
		$C_{\Psi I} = I \theta$			C ^{4D} = 10			C133 1-5	A 00417
100	0 9310	4 9166	0 8145	0 9302	0.7522	0 9524	0.04935	0.1081	01944
700	1.769	2 6 12	1.1.59	1 6476	8 81.5	1 63	0 1978	a 4961	0 4495
500	3 760	4039	40%	3 917	6 946	3,450	0.44.	0 4170	0 97 85
1000	5 847	4 616	8764	\$ 276	6.5.6	N. 100	1.764	180	1 8 3 3
2000	7,474	9.857	9 823	B 303	3794	10.26	1859	4.016	4.078
	7,018	11.70	17.92	4491	10.14	10.42	6 107	6	6.776
20030	3 876	1266	13.32	1 102	10.67	11.19	8.049	9 323	9 846
20000	3.314	(380	14.42	2 141	11.15	12.78	8.041	11.91	13.00
50000	3.611	13.54	15.55	6 110	12 12	15 08	7 (16-1	13.07	25.52
1000(4)	6.152	16.41	74.37	6 283	14.56	18 41	8 619	ня	14.74
700000	6100	10.94	26.92	\$ 933	16.85	24.05	6 9.18	8.8.74	24.99
20000	1110	17 10	21 29	7 790	17.13	78 40	3 290	\$7,18	74 81
700000	2418	1785	27 63	5 846	17.59	27 50	7.618	\$7.59	17.90
200000	RUA	18.11	28.53	8111	18.09	28.87	- #111	12.09	26.07
Laboato	8 463	18 #6	26 40	8 460	18 45	78.44	8460	18 45	28.44
	C.p	=100, Cn	=1000	CaD	-100, Cp	=10000	C _{aB} ∞	1000, Cn	<i>~10000</i>
	- 417		a 20	•=0	1=10	s=20	5=0	s≈10	s=20
4 _D	s=U	3-40	3-20	3220 320 320 320			C 100		
	$C_{\phi B} \approx 100$ $C_{\phi B} \approx 100$			C40-100					
100	0.9756	8 9914	8 9931	0 9921	0.9388	\$ \$950	0.09973	4.09998 8.1994	01997
200	1.902	1.968	1.975	1 972	1 979	1.480	4 1989	6.17-W	0.698.5
304	4 488	4 601	4 848	4 836	4.678	4314	6.96.77	9 9902	8 9938
1000	\$ 221	9.745	9.199	9.314	¥ 43¥	7.343	1 124	1.960	1 970
2000	14.93	12.13	17.69	1 114	18/2	1910	4 603	4 61 3	4,819
5000	22.14	M 27	36 9k	36.02	AL 37	ស.អ	0 162	92/4	\$ 409
10000	24.93	4784	33.41	4147	80.27	82.64	14.95	1724	17.72
20000	66.97	40.72	e1.00		80 14	17.17	28.74	34.70	17.15
50000	4.912	73.81	72 97	24.0	61.05	78 81	79.19	49 09	** **
10000	6.785	11.34	24.77	10.12	42 Ju	62.40	22.55	51 13	45.94
206000	4.765	10/8	27.03	8 243	22.14	34 (2)	991	- 24.12	47.63
5400.00	114	17.12	17.14	7.826	18.97	29.52	1928	18.57	M 09
200000	1644	174	27.67	3.669	17.63	22 48	7 914	\$ 7.91	17 97
Lucablan	8 17	10 12	2812	8,704	(N \$3	76 5 2	6 20 2	1814	2011
		19.47	28.87	8 106	16.20	28.49	¥ 306	18 20	74 19

En la *figura 18* se ilustra un ejemplo de las curvas de log p_{ab} vs. log t_b , aquí se nota que a tiempos largos las curvas con y sin almacenamiento variable coinciden ; mientras que a tiempos cortos, es notable el efecto de la redistribución de fases. A tiempos intermedios, las curvas con almacenamiento variable tienden a alejarse desde el comportamiento de almacenamiento aparente hasta el verdadero. Para valores grandes de C_{ab} es evidente el efecto de "joroba", mientras que para valores pequeños de C_{ab} el efecto es bastante reducido.

También se ha demostrado¹⁴ que cuando $C_D > C_{4D}$ y $C_{4D} > 0$, se genera un incremento exponencial en el almacenamiento del pozo, lo cual se ilustra en la *figura 19*. Y en la *figura 20* se muestra el caso de un efecto de almacenamiento que disminuye exponencialmente, cuando $C_D < C_{4D}$ y $C_{4D} < 0$. La aplicación del modelo de almacenamiento variable creciente y/o decreciente a datos de campo, llevá a la conclusión de que en algunos casos se requería una función diferente a la exponencial para representar el comportamiento de la presión con un efecto más pronunciado de almacenamiento variable¹.

Por tanto, se encontró que entre las funciones que cumplen con las condiciones establecidas por las ecuaciones 40 a 42 y que además, presentan características representativas de los datos de campo, está la siguiente :

$$p_{\psi D} = C_{\psi D} \operatorname{erf}\left(\frac{l_{D}}{d\omega}\right) \tag{66}$$



FIG. 18.- COMPARACION DE PRESIONES ADIMENSIONALES CON Y SIN ALMACENAMIENTO VARIABLE¹⁴. CAPITERO III

and REACHARD CONTRACTOR SHOULD BE



FIG. 19.- SISTEMA HOMOGENEO CON INCREMENTO EXPONENCIAL EN EL ALMACENAMIENTO'.

3

WEAT OF THE

÷

JUD JOU'R Ξ Ē



2

FIG. 20.- SISTEMA HOMOGENEO CON DECREMENTO EXPONENCIAL EN EL ALMACENAMIENTO¹.

-

CAPITURED HI

A SUSPER

donde :

,

$$C_{str} erf\left(\frac{tr}{du}\right) = -\frac{2}{\sqrt{\pi}} - \int_{0}^{\frac{tr}{du}} e^{-\frac{tr}{u}} du$$
(67)

que representa a la función "error". La transformada de Laplace de esta función que representa a la presión con almacenamiento variable es:

$$\mathcal{L}\left\{p_{a\nu}\right\} = \frac{C_{a\nu}}{z} - e^{-\alpha z^2 z^2/4} - erfc\left(t_{\nu} - \frac{z}{2}\right)$$
(68)

definiéndose a erfc = 1 - erf, como la función "error complementaria". La respuesta de presión con efectos de almacenamiento decreciente, representado con la función error, se ilustra en la *figura 21*.

En la *figura 22* se muestra el comportamiento de la presión y la derivada euando ocurre un almacenamiento decreciente representado por ambas funciones: exponencial y error ; observándose una transición más abrupta de la función error y que a tiempos cortos la curva de la derivada comúnmente excede a la curva de Δp .



gan an ann an Arraigh an Arraigh

FIG. 21.- SISTEMA HOMOGENEO CON DECREMENTO EN EL ALMACENAMIENTO SEGUN LA FUNCION ERROR¹.

(APHELO W

CULTER A DECEMPEND



FIG. 22.- COMPORTAMIENTO DE LA PRESION Y LA DERIVADA CON DECREMENTO EN EL ALMACENAMIENTO PARA LA FUNCION EXPONENCIAL Y FUNCION ERROR'.

O FOLLAY.

Ξ

end tablears and the part of the second second second the second

HI.4 ANALISIS DE PRUEBAS DE PRESION

Para entender completamente este fenómeno, se ilustra el análisis de datos de incremento de presión en la *figura 23*, en la cuál se presentan las gráficas loglog y de Horner¹ pertenecientes a una prueba DST², cuyos datos se ajustaron a un modelo de almacenamiento constante y comportamiento de yacimiento homogéneo.

Los datos de tiempos cortos muestran evidencia de almacenamiento decreciente ya que la curva log-log excede a la línea recta de pendiente unitaria en algunas partes y la curva de derivada excede a la curva Δp . Sin embargo para este caso el ajuste resulta pobre con este modelo como se puede observar durante este periodo.

Por tanto, al reajustar los datos con el modelo de almacenamiento decreciente, usando la función error (ecuación 66), se encuentra un total ajuste de toda la curva, según se observa en la *figura 24*. Esto mejora totalmente la confiabilidad de la interpretación ; de esta manera se determina un valor más bajo para $C_{12}e^{28}$ y entonces, el factor de daño calculado es más pequeño.
.

ris Environa, etcoleation da tarte actornego do el



to public and watering



 $Log [(1, +\Delta t)/\Delta t]$



CAPITULO JII

er de la marchante de la companya de



 $Log [(t, *\Delta t)/\Delta t]$



CAPITULO IV

EJEMPLOS ILUSTRATIVOS

En este Capítulo se presentan dos ejemplos de campo que muestran el efecto de almacenamiento variable, sobre la respuesta de variación de presión y las diferencias encontradas con el análisis utilizando modelos de almacenamiento constante y almacenamiento variable.

IV.1 Pozo Taratunich 301

Este pozo pertenece al campo Taratunich de la Región Marina Suroeste, con un intervalo productor correspondiente a la formación Cretácico medio. Se realizó su perforación hasta una profundidad de 3540 mv. En la *figura 25* se muestra el estado mecánico del pozo.

CAPITICIO IV

SERVICES AND CONTRACTORS OF A CONTRACT OF



FIG. 25.- ESTADO MECANICO DEL POZO TARATUNICH 301, TIPO EXPLORATORIO (MARZO, 1996)¹⁰.

. Na kaominina mpikambana mpikambana kaominina kaominina mpikambana mpikambana mpikambana mpikambana kaominina mp

Después de disparar el intervalo de 3035-3055 mybmr de la formación KM, y resultar ser productor de aceite ligero de 31º API, se efectuó una estimulación y limpieza, y se registró una prueba de presión-producción con herramientaPLT durante 53.57 hrs., consistente en varios periodos de flujo y de cierre, como se presenta en la *Tabla IV.1*.

Periodo de	Duración	Tiempo acumulado	Gasto
prueba	(lirs)	(hrs)	(BPD)
1	13.22	13.22	()
2	8.78	21.99	4300
3	11.73	33.72	0
-i	6.37	40.09	2600
5	13.48	53.57	0

TABLA IV. 1 .- TIEMPOS DE LA PRUEBA DE PRESION REGISTRADA EN EL POZO TARATUNICH 301.

En este caso se eligió el quinto periodo de prueba, es decir, el último cierre del pozo, cuyos datos se dan en la *Tabla IV.2* y se efectuó el análisis considerando los siguientes datos :

 $\phi = 12\%$, $r_n = 0.25$ pies, h = 150 pies, $B_o = 1.65$, $c_i = 1.48$ E⁻⁵ psi⁻¹, $\mu_o = 0.37$ cp y $q_o = 2600$ BPD por estrangulador de ³/₄ ".

CAPILLO IV

. Realizabilitation product a calcadore de 14 de participar de la calcador de la calcador de la calcador de la c

THEMPO PRESION THEMPO PRESION THEMPO PRESION THEMPO PRESION (brs) (psi) (brs) (psi) (brs) (psi) (brs) (psi) 8.6161 4862.66 7.806.7 365462 1.52897 107.52 16.2119 16.6210 9.5406 4864.62 9.8111 3582.12 16.0008 112.431 16.2031 12.231 9.7124 486.02 9.8434 3441.11 16.0917 12.312 16.2041 2.2917.01 9.7222 1554.57 9.5797 2.710.7 16.0925 133.483 16.3467 3681.31 9.7233 1545.57 9.5797 2.710.7 16.0931 140.0131 16.3467 3681.31 9.7234 4840.74 9.9489 164774 16.0944 154.4551 10.5606 4572.87 9.7256 14.8276 10.0489 743.083 16.0939 142.046 16.4594 441.87 9.7256 4827.45 10.9908 539.212			POZO TARA	TUNICH 30.	l (Septiemb	pre, 1991) ²²		
(hrs) (psi) (hes) (psi) (hes) (psi) 8.61614462.667.806.73.654.621.5.9897107.75216.721916.61149.7144862.879.81823.290.1316.60903112.43116.24001850.929.7144863.99.84453.441.1416.091112.171816.62632.517.019.72144863.99.84453.821.7110.6092112.63216.29142.940.949.72144863.99.84773.810.7116.092712.632916.21477.151.549.721218.54.579.57972.714.7116.0925133.48316.34672.681.339.723418.45.319.92712.940.3716.0931140.03116.34672.681.339.725648.179.978312.89.8916.0939149.20616.45944.418.379.725648.274910.01449.9140316.0944154.42516.56061672.779.725648.274510.0908539.21216.6983166.88716.62144.752.079.72574801.7210.1863.92.55016.0975138.255216.76724.768.449.72774.811.4610.19222.98.15016.0975138.255216.76724.787.009.72564.827.4510.9088539.21216.6893191.84116.83414.757.669.72574.801.7210.52142.02.18116.0963191.84116.83414.757.669.72	TIEMPO	PRESION	TIEMPO	PRESION	TIEMPO	PRESION	TIEMPO	PRESION
8.6161 4.862.06 9.8664 3.684.62 10.3897 117.752 16.2139 16.0914 9.781 4.862.87 9.8189 3.790.13 16.0903 112.4411 16.2306 1896.99 9.5406 4.864.62 2.8111 3582.19 16.0907 117.666 16.2481 2199.14 9.7214 4.863.9 9.8456 3.344.31 16.0911 121.718 16.2631 2517.01 9.7219 9.859.23 9.8777 3081.03 16.0917 126.329 16.2914 273.02 9.7222 158.157 9.8797 272.17 16.0925 133.483 16.4477 3681.43 9.7223 3.845.33 9.9231 2940.37 16.0930 140.206 16.4594 4413.57 9.7356 443.07 9.9389 16.0939 140.206 16.4594 4413.57 9.7256 482.145 10.0489 74.083 160.950 160.255 15.5606 4572.87 9.7256 482.145 10.0908 539.212	(hrs)	(psi)	(hrs)	(psi)	(hrs)	(psi)	(hrs)	(psi)
2.0781 $4.862.87$ 9.8189 $3.790.13$ 16.0908 112.411 16.2100 $18.90.99$ 9.5400 48.6462 9.8114 3582.19 16.0908 117.086 16.2481 2194.34 9.7214 4863.9 $9.835.6$ 3441.11 16.0911 121.718 16.2683 2237.04 9.7219 4859.23 9.8617 3081.03 16.0921 126.791 16.2914 372.45 9.7222 4854.57 9.8797 2781.07 16.0922 130.918 16.1175 372.56 9.7223 3845.33 9.9231 2040.37 16.0921 137.85 16.4167 372.576 9.7356 4840.74 9.9489 1647.74 16.6925 114.561 16.4172 4228.02 9.7257 881.42 10.0114 973.403 16.0929 149.266 16.4594 4413.57 9.7256 4827.49 10.0489 743.083 16.0926 164.284 441.57 9.7256 4827.45 10.0948 59.212 16.6887 166.234 475.97 9.7264 4827.45 10.9948 392.550 16.0967 174.287 166.897 476.84 9.7275 480.78 10.2511 237.800 16.0983 191.841 16.5344 475.76 9.7284 477.99 10.3848 157.29 16.1097 173.297 487.49 9.7275 480.78 10.2844 157.29 16.1097 173.877 16.6897	8.6161	4862.06	9.8067	3654.62	16.0897	107.752	16.2139	103013
9.5400 $48h362$ 9.8314 3582.19 160908 117.086 16.2481 2190.34 9.7214 486332 9.8356 3341.341 16.0911 121.718 16.2683 2547.01 9.7219 485923 9.8617 3081.031 16.0917 126.129 16.2914 $29^{10.94}$ 9.7222 4853457 9.8797 2781.07 16.0922 110.918 16.3175 3123.53 9.7233 484991 9.9231 246.37 16.0925 133.485 16.4467 -681.43 9.7234 444074 9.9489 164774 16.0936 144561 16.4172 4728.02 9.7242 4836.17 9.9489 164774 16.0936 144551 16.5069 4578.10 9.7256 482709 10.0489 744.083 16.0950 160.285 16.5069 472.77 9.7256 482745 10.0489 744.083 16.0957 1182.552 16.6072 472.60 9.7256 482745 10.0908 539.212 16.0876 16.6275 16.5214 472.207 9.7256 4821.45 10.9231 237.800 16.0975 1182.522 16.6372 472.60 9.7257 481.46 10.1223 237.800 16.0975 1182.522 16.6372 472.60 9.7256 4821.45 10.9231 237.800 16.0975 1182.522 16.6373 480.427 9.7257 481.46 10.2531 237.800 16.0974	9.0781	4862.87	9 8189	3290.13	16.0903	112.431	16.2300	1896-39
972144863.99.845.63.341.3116.0911121.71816.26832547.01972194859.239.861.73081.0.316.0917126.32916.29142940.94972224854.519.87972781.0716.0922130.91816.31755523.559.7167484.9149.90302124.3316.0925133.48316.34776581.499.72334840.739.9231240.3716.093114.003316.31976977.699.73464840.749.94891647.7416.0936144.50116.41744228.029.72424336.179.97831289.8916.0919149.26616.45944431.879.72564827.0510.0489743.08316.0950160.28516.56661672.779.72564827.4510.0908539.21216.0858166.88716.5214478.429.72754801.7810.2531237.80016.09571182.55216.7612478.429.72754804.7810.2531237.80016.0944202.25816.9531480.489.72924789.0910.3989183.54616.108213.92217.0642481.879.7390477.93010.3544155.39416.1078278.0317.4914482.479.73914789.0910.3983157.29416.1086218.93417.4914482.479.72924789.0910.3983157.29416.1078278.0317.4914482.479.7293	9,5400	4853.62	2.8314	3582.19	16.0908	117.086	16,2481	2190.31
97219 488923 9.8617 3081.03 16.0917 126.329 16.2914 2930.4 97222 4354.57 9.8'97 2781.07 16.0922 130.918 16.3175 3323.53 97167 4849.94 9.9690 2424.33 16.0925 133.483 16.3407 5881.41 9.7233 4845.33 9.9214 2040.37 16.0911 140.033 16.5497 0975.76 97736 4940.74 9.9489 1647.74 16.0913 149.206 16.4514 4441.92 9.7242 4336.7 9.9783 1289.89 16.0919 149.206 16.4514 4431.92 9.7256 4837.09 10.0489 743.083 16.0941 154.425 15.0609 4572.42 9.7256 4827.45 10.0489 743.083 16.0957 164.287 16.6214 4732.97 9.7261 4917.22 10.1386 392.550 16.0967 174.287 16.6897 476.848 9.7257 4804.78 10.2531 237.809 16.0943 191.841 16.8544 4795.76 9.7254 4804.78 10.2531 237.809 16.0943 211.922 $10.642.87$ 9.7300 4779.809 10.3846 174.648 16.0021 272.069 17.897 481.42 9.7300 4779.809 10.3846 175.29 16.1072 276.380 17.672 487.44 9.7314 475.32 10.4688 16.1072 276.380 17.897 487.44 <t< td=""><td>9 7214</td><td>4863.9</td><td>9 845a</td><td>.3341.31</td><td>16.0911</td><td>121 718</td><td>16.2683</td><td>2547.01</td></t<>	9 7214	4863.9	9 845a	.3341.31	16.0911	121 718	16.2683	2547.01
9.7222 4384.57 9.8797 2781.07 16.0922 130.918 16.3175 3323.53 9.7167 4849.91 9.9600 2424.33 16.0925 133.483 16.3467 3681.41 9.7233 4845.43 9.9231 2040.37 16.0931 140.033 16.4777 027.76 9.736 4940.74 9.9783 1229.89 16.0919 147.206 16.4541 4431.52 9.7267 4831.67 9.9783 1229.89 16.0919 147.206 16.4541 4431.52 9.7256 4827.09 10.0489 743.083 16.0941 154.425 15.5602 4578.10 9.7256 4827.45 10.0908 539.212 16.0848 166.857 16.6214 4732.97 9.7261 487.25 10.0908 539.212 16.0957 1182.552 16.7612 478.09 9.7275 4804.78 10.2531 237.809 16.0941 191.427 16.6837 476.484 9.7264 4811.36 191.922 298.150 16.0975 1182.552 16.7612 478.09 9.7275 4804.78 10.2531 237.809 16.0924 202.258 16.9531 480.487 9.7284 4777.39 10.3214 202.184 16.0924 202.258 16.9531 480.487 9.7300 4779.89 10.4884 174.648 16.1022 227.000 17.8974 882.14 9.7311 4769.38 10.4854 157.297 $481.247.56$ $77.$	97219	4859.23	9.8617	3081.03	16.0917	126.329	16.2914	2930.94
9.716718.49.919.96.90 2424.33 16.09251.33.48516.34673.681.419.72331845.439.92312040.3716.0931140.03316.37976977.769.72424.836.179.97831289.8916.0790144.56116.41724728.029.72471811.6210.0114993.40316.0930149.20616.45944441.579.72504827.05010.0489743.08316.0930160.28516.50604578.409.72504827.45510.0908539.21216.60858156.86716.62144732.979.72644817.2210.1886392.55016.0975118.255216.76724782.099.72754811.3610.122298.15016.0975118.255216.76724787.009.72924789.0910.3821237.80016.0975118.255216.76724881.879.73004779.8010.4861174.64816.1022227.00017.18974817.449.7333474.64410.8544165.39116.1078213.92217.06424812.879.73544757.2210.4863157.27916.156238.01417.414452.4769.7339474.64410.8214152.18516.1078213.92217.0642481.149.7353479.0910.9631148.58216.4109297.08117.8758483.169.7339474.6410.8214152.18516.1078276.38017.6719482.14	9.7222	4854.57	9.8?97	2781-07	16.0922	F30.918	16.3175	3323.53
9,723.3 1845 3.3 9,923.1 2040.37 16.0931 140.033 16.3977 4927.76 9,773.6 -940 7.4 29.489 1647 7.4 16.0936 144 5.61 16.4172 4228.02 9,724.2 4836.17 9.978.3 1289.89 16.0799 149.206 16.4594 4431.57 9,7250 4827.09 10.0489 743.083 16.0950 166.285 16.5069 4578.40 9,7256 4822.45 10.0908 539.212 16.6858 166.897 16.6244 473.19.7 9,7264 4817.22 10.1886 192.559 16.0975 1382.552 16.7672 478.7.09 9,7275 4804.78 10.2531 237.809 16.0983 191.841 16.8544 4795.76 9,7291 4789.09 10.34861 174.648 16.1022 227.009 17.1897 481.87 9,7300 4779.80 10.34861 164.6383 191.841 18.4514 4795.76 9,7309 4746.64 10.821.4	9.7167	4849.94	9 9000	2424.33	16.0925	135 485	16.3467	3681.13
97736 4840.74 9.9489 1647.74 16.0936 144.561 16.4172 4728.02 9.7242 4836.17 9.9783 1289.89 16.0939 149.206 16.4594 4441.87 9.7256 4827.09 10.0489 743.083 16.0950 160.285 16.5069 4578.40 9.7256 4827.09 10.0489 743.083 16.0950 160.285 16.5069 4578.40 9.7256 4827.45 10.0908 539.212 16.0858 166.867 16.6214 4732.97 9.7261 4817.22 10.1386 392.550 16.0975 1182.552 16.7672 4768.48 9.7275 4804.75 10.2531 237.800 16.0981 191.841 16.8544 4795.76 9.7281 4779.39 10.3214 202.181 16.0994 202.258 16.9331 4804.87 9.7300 4779.80 10.4861 174.648 16.1008 213.922 12.0642 4812.87 9.7310 4779.80 10.3854 165.391 16.1072 227.000 17.1897 487.48 9.7339 474.464 10.8214 152.185 16.1078 276.380 17.8784 483.411 9.7392 457.72 10.6958 157.29 16.1056 346.867 18.3656 483.706 9.7392 479.464 10.8214 152.185 16.1078 276.380 17.6719 487.41 9.7392 4592.55 11.3036 144.741 16.4125 3	9.7233	4845.33	9.9231	2040.37	16.0931	140.033	16.3797	39.25,76
9.7242 4836.17 9.9783 1289.89 16.0939 149.206 16.4594 4431.82 9.72567 4831.62 10.0114 993.403 160944 154.425 16.5069 4578.40 9.7256 4827.09 10.0489 743.083 16.0950 160.285 16.5667 16.214 473.297 9.7256 4822.45 10.0908 539.212 16.0858 166.867 16.6214 473.297 9.7261 4817.22 10.1386 392.550 16.0967 174.287 16.6897 4768.48 9.7267 4811.36 19.122 298.150 16.0975 1182.552 16.7672 4787.00 9.7278 4304.78 10.2531 237.800 16.0983 191.841 16.8544 4795.76 9.7292 4789.09 10.3929 183.546 16.1008 213.922 12.0642 4812.87 9.7300 4779.80 10.4861 174.648 16.1022 227.000 17.1897 4817.44 9.7314 470.938 10.5844 165.394 16.1039 241.632 17.314 1823.14 9.7325 475.722 10.6958 157.29 16.1056 258.034 17.4914 4824.76 9.7339 474.64 10.8214 152.185 16.1076 27.6380 17.6719 4872.11 9.7342 475.22 10.6958 157.29 16.1076 258.034 17.4914 4824.76 9.7339 474.64 10.8214	9.7236	4840 74	9.9489	1647 74	16.0936	144 561	16.4172	4228.02
9.7267 1231.62 10.0114 993.40.3 16.0944 154.425 16.5062 4578.40 9.7250 4827.05 10.0489 $743.08.3$ 16.0950 160.285 16.5606 1672.7 ;9.7256 4822.45 10.0908 539.212 16.0858 166.867 16.6214 473.297 9.7261 4817.22 10.1386 392.550 16.0967 174.287 16.6897 4768.48 9.7267 4811.46 10.1922 298.150 16.0975 1182.552 16.7672 4787.00 9.7278 4304.78 10.2531 237.800 16.0943 191.841 16.8544 4795.76 9.7292 4789.09 10.3989 183.546 164008 213.922 12.0642 4812.87 9.7300 4779.80 10.4861 174.648 164.022 227.000 17.1897 4817.14 9.7314 4769.38 10.5844 165.391 16.1056 258.034 17.4914 4824.76 9.7339 474.644 10.8214 152.185 16.1056 258.034 17.4914 4824.76 9.7372 475.722 10.6958 157.229 16.1056 258.034 17.4914 4824.76 9.7349 474.644 10.8214 152.185 16.1056 258.034 17.4914 4824.76 9.7353 479.06 10.9643 148.582 16.1056 258.034 17.4914 4824.76 9.7354 479.675 11.3036 144.721 16.156 <td>9.7242</td> <td>4836.17</td> <td>9 9783</td> <td>1289.89</td> <td>46.0939</td> <td>149.206</td> <td>16,4594</td> <td>4431.82</td>	9.7242	4836.17	9 9783	1289.89	46.0939	149.206	16,4594	4431.82
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	9.7267	4831.62	10.0114	993.403	16.0944	154.425	16,5069	4578.40
997256 $4 \times 22 \times 45$ 1090.908539212161616685816166857164732979.7261 4×17.22 1013.86392.55016169771741748716689747684784782109.7275 4×30.478 101023123780016161918411616.85444795.769.7275 4×30.478 105214202.18116160941202.258161695314 \times 01.879.7292 4×90.99 103.98918.3.54616161008213.92212.06424 \times 12.879.730047791010.4861174.6481616.1022227.00017.18974 \times 17.149.73104749105544165.39116.1039241.63217.331418.23.149.73254757.7210.6958157.2916.1056258.03417.49144 \times 24.769.73394744.6410<×714	9.7250	4827.09	10.6489	743.083	16.0950	160.285	16 5606	4672.77
9.72614.817.2210.1386392.55916.0967174.28716.6897 $4.468.48$ 9.72674.811.3610.19222.98.15916.097511.82.55216.7673 $4.787.09$ 9.72754.804.7810.25312.37.80916.0994202.25816.9531 $4.804.87$ 9.72814.797.3910.32142.02.18116.0994202.25816.9531 $4.804.87$ 9.72924.789.0910.398918.3.54616.1008213.92217.0642 $4.812.87$ 9.73004.779.8010.4861174.64816.1022227.00017.1897 $4.817.14$ 9.73114.769.3810.5844165.39116.1039241.63217.3314 $182.3.14$ 9.73254.757.7210.6958157.29116.1056258.03417.6719 $482.81.6$ 9.73534.719.0010.9631148.58216.1078276.38017.6719 $482.81.6$ 9.73724713.6011.1231144.74116.1125320.48918.4058 $483.11.6$ 9.73924695.2511.3036141.15616.1156346.86718.3656 4837.06 9.74174624.7511.972137.84116.1125320.48918.4058 4842.31 9.7533452.0712.828312.259316.1431495.109197853 4842.31 9.75424561.0812.6214125.92316.1431495.109197853 4847.09 9.7583452.0712.828312.259316.1431 <t< td=""><td>9 7256</td><td>4822.45</td><td>10.0908</td><td>539 212</td><td>16.0858</td><td>166.867</td><td>16.6214</td><td>4732.97</td></t<>	9 7256	4822.45	10.0908	539 212	16.0858	166.867	16.6214	4732.97
9.72674.811.3616.19222.98.45016.097511.82.55216.7672 $4^{7X7.00}$ 9.72754.804.7510.25312.37.80916.0983191.84116.8544 4795.76 9.72814797.3910.3214202.18116.0994202.25816.9531 4804.87 9.729247.89.0910.398918.354616.1008213.92212.0642 4812.87 9.730047.79.8010.4861174.64816.1022227.00017.1897 4817.14 9.73114769.3810.5844165.39116.1039241.63217.3314 1823.14 9.73254757.7210.6958157.22916.1056258.03417.6719 4822.476 9.73394744.6410.8214152.18516.1078276.38017.6719 4822.476 9.73724713.6011.1211144.74116.4125320.48918.4058 4831.16 9.73724713.6011.1231144.5616.1156346.86718.3656 4837.06 9.74174692.5511.3036141.35616.1156346.86718.3656 4837.06 9.74424651.1311.7375134.61116.1225410.52618.9897 4842.31 9.7543452.0712.828312.2903128.25116.1314495.109197853 4847.09 9.7543452.0712.8283122.59316.1431610.47020.7092 4851.28 9.76314476.4813.4167119.79516.1497 </td <td>9.7261</td> <td>4817.22</td> <td>10.1386</td> <td>392.550</td> <td>46,0967</td> <td>174.287</td> <td>16.6897</td> <td>4768.48</td>	9.7261	4817.22	10.1386	392.550	46,0967	174.287	16.6897	4768.48
9.7275 4304.75 10.2331 237.809 16.0983 191.841 16.8544 4795.76 9.7281 4797.39 10.3214 202.181 16.0994 202.258 16.9531 4801.87 9.7292 4789.09 10.3989 183.546 16.1008 211.922 12.0642 4812.87 9.7300 4779.80 10.4861 174.648 16.1022 227.000 17.1897 4817.14 9.7311 4769.38 10.5844 165.391 16.1039 241.632 17.314 $182.3.14$ 9.7325 4757.72 10.6958 157.229 16.1056 258.034 17.4914 $482.4.76$ 9.7339 4744.64 10.8214 152.185 16.1078 276.380 17.6719 4872.11 9.7372 4713.60 11.1231 144.741 16.4125 320.489 18.4058 4831.16 9.7392 4692.25 11.3036 141.456 16.1156 346.867 18.3656 4837.06 9.7417 4674.54 11.5072 137.841 16.1255 410.526 18.8058 4832.16 9.7442 4651.13 11.7375 134.611 16.1255 410.526 18.8087 4842.31 9.7542 4561.08 12.6214 125.393 16.1369 548.596 20.2472 4842.31 9.7543 4522.07 12.8283 122.593 16.1431 610.470 20.7092 4851.28 9.7631 4476.48 13.4167 119.795 16.1457	9,7267	4811.36	10.1922	298 150	16.0975	1382.552	16 7672	4787.00
9.72814.792.3910.3214202.18116.0994202.25816.9531 4804.87 9.72924.789.0910.3989183.54616.1008213.92212.06424812.879.73004779.8010.4861174.64816.1022227.00017.18974817.149.73114.769.3810.5844165.39116.1039241.63217.33141823.149.73254.757.7210.6958157.22916.1056258.03417.4914482.4.769.73394.744.6410.8214152.18516.1078276.38017.67194828.119.73724713.6011.1211144.74116.4125320.48918.4058483.1169.73924695.2511.3036141.45616.1156346.86718.36564837.069.74174674.5411.5072137.84116.118917.662.318.65894839.829.74424651.1311.7375134.61116.1225410.52618.98974842.319.75834520.0712.828312.2903128.25116.1314495.1091978534847.099.75834522.0712.8283122.59316.1431610.47020.70924851.289.76864422.9813.8786117.10616.1575773.43321.63284854.599.77444361.0914.3406114.73316.1664883.28922.09471555.359.78144287.5614.8025112.64916.17511016.8911.555	9.7275	4304.78	10.2531	237 800	16,0983	191.841	16.8544	4795.76
9.72924.789.0910.3989183.54616.4008213.92212.06424812.879.73004779.8010.4861174.64816.1022227.00017.18974817.149.73114769.3810.5844165.39116.1039241.63217.33141823.149.73254757.7210.6958157.22916.1056258.03417.4914482.4.769.73394744.6410.8214152.18516.6078276.38017.67194828.119.73534730.0010.9631148.58216.1100297.08117.85584831.169.73724713.6014.1211144.74116.4125320.48918.40584834.119.73924695.2511.3036141.45616.1156346.86718.36564837.069.74174674.5411.5072137.84116.1189J76.62318.65894839.829.74424651.1311.7375134.61116.1225410.52618.98974842.319.75534594.9812.2903128.25116.1314495.1091978534842.099.754424561.0812.6214125.39316.1431610.47020.70924851.289.76864422.9813.8786117.10616.1575773.48321.63284854.599.76864422.9813.8786117.10616.1575773.48321.63284854.599.77444361.0914.3406114.73316.1664883.28922.09471555.35	9.7281	4797.39	10 3214	202.181	16.0994	202.258	16.9531	4804.87
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	9.7292	4789.09	10,3989	183.546	16,1008	213.922	12.0642	4812.87
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	9.7300	4779.80	10.4861	174.648	16.1022	227.000	17.189?	4817.14
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	9.7311	4769,38	10.5844	165.391	16,1039	241.632	17 3314	1823.14
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	9,7325	4757.72	10.6958	157.229	16,1056	258.034	17.4914	4824.76
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	9.7339	4744.64	10.8214	152.185	16.1078	276.380	17.6719	4828.11
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	9.7353	4730.00	10.9631	148.582	16,1100	297.081	17.8758	4831.16
9 7392 4695 25 11.3036 141.456 16.1156 346.867 18.3656 4837 06 9.7417 4674.54 11.5072 137.841 16.1189 176.623 18.6589 4839.82 9.7417 4674.54 11.5072 137.841 16.1189 176.623 18.6589 4839.82 9.7442 4651.13 11.7375 134.614 16.1225 410.526 18.9897 4842.31 9.7472 4624.75 11.9972 131.345 16.1267 449.528 19.3633 4844.71 9.7503 4594.98 12.2903 128.251 16.1314 495.109 197853 4847.09 9.7542 4561.08 12.6214 125.93 16.4369 548.596 20.2472 4849.33 9.7631 4476.48 13.4167 119.795 16.1497 683.992 21.1708 4852.99 9.7686 4422.98 13.8786 117.106 16.1575 773.483 21.6328 4854.59 9.7744 4361.09 <	9.7372	4713.60	11.1231	144.741	16.1125	320,489	18,1058	- 483-4.11
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	9.7392	4695.25	11.3036	141.156	16.1156	346.867	18.3656	4837.06
9.7442 4651.13 11.7375 134.614 16.1225 410.526 18.9897 4842.31 9.7472 4624.75 11.9972 131.345 16.1267 449.528 19.3633 4844.71 9.7503 4594.98 12.2903 128.251 16.1314 495.109 197853 4847.09 9.7542 4561.08 12.6214 125.393 164369 548.596 20.2472 4849.33 9.7583 4522.07 12.8283 122.593 16.1431 610.470 20.7092 4851.28 9.7634 4476.48 13.4167 119.795 16.1497 683.992 21.1708 4852.99 9.7686 4422.98 13.8786 117.106 16.1575 773.483 21.6328 4854.59 9.7744 4361.09 14.3406 114.733 16.1664 883.289 22.0947 1555.35 9.7892 4198.06 15.2644 110.721 16.1862 1181.36 49.55.35 9.7978 4088.24 15.7264 108.999	9.7417	4074.54	11.5072	137.841	16.1189	376.623	18.6589	4839.82
9.7472 4624.75 11.9972 131.345 16.1267 449.528 19.3633 4844.71 9.7503 4594.98 12.2903 128.251 16.1314 495.109 197853 4847.09 9.7542 4561.08 12.6214 125.393 164369 548.596 20.2472 4849.33 9.7583 4522.07 12.8283 122.593 16.1431 610.470 20.7092 4851.28 9.7631 4476.48 13.4167 119.795 16.1497 683.992 21.1708 4852.99 9.7686 4422.98 13.8786 117.106 16.1575 773.483 21.6328 4854.59 9.7744 4361.09 14.3406 114.733 16.1664 883.289 22.0947 155.35 9.7892 4198.06 15.2644 110.721 16.1862 1181.36 4195.53 9.7978 4088.24 15.7264 108.999 16.1977 1389.27 455.39	9,7442	4651.13	11.7375	134.611	16.1225	410.526	18.9897	4842.31
9.7503 4594.98 12.2903 128.251 16.1314 495.109 197853 4847.09 9.7542 4561.08 12.6214 125.393 164369 548.596 20.2472 4849.33 9.7583 4522.07 12.8283 122.593 16.1431 610.470 20.7092 4851.28 9.7631 4476.48 13.4167 119.795 16.1497 683.992 21.1708 4852.99 9.7686 4422.98 13.8786 117.106 16.1575 773.483 21.6328 4854.59 9.7744 4361.09 14.3406 114.733 16.1664 883.289 22.0947 1555.35 9.7892 4198.06 15.2644 110.721 16.1862 1181.36 4854.59 9.7978 4088.24 15.7264 108.999 16.1977 1389.27 455.53	9.7472	4624.75	11.9972	131.345	16.1267	449,528	19.3633	4844.71
9.7542 4561.08 12.6214 125.393 164369 548.596 20.2472 484933 9.7583 4522.07 12.8283 122.593 16.1431 610470 20.7092 4851.28 9.7631 4476.48 13.4167 119.795 16.1431 610.470 20.7092 4851.28 9.7686 4422.98 13.8786 117.106 16.1575 773.483 21.6328 4854.59 9.7744 4361.09 14.3406 114.733 16.1664 883.289 22.0947 155.35 9.7892 4198.06 15.2644 110.721 16.1862 1181.36 489.42 9.7978 -088.24 15.7264 108.999 16.1977 1389.27 489.33	9.7503	4594.98	12.2903	128,251	16.1314	495.109	197853	4847.09
9.7583 4522.07 12.8283 122.593 16.1431 610.470 20.7092 4851.28 9.7631 4476.48 13.4167 119.795 16.1497 683.992 21.1708 4852.99 9.7686 4422.98 13.8786 117.106 16.1575 773.483 21.6328 4854.59 9.7744 4361.09 14.3406 114.733 16.1664 883.289 22.0947 1555.35 9.7814 4287.56 14.8025 112.619 16.1751 1016.89 1 9.7892 4198.06 15.2644 110.721 16.1862 1181.36 1 9.7978 -1088.24 15.7264 108.999 16.1977 1389.27 1	9.7542	4561.08	12.6214	125.393	46.4369	548,596	20.2472	4849.33
9.7631 4476.48 13.4167 119.795 16.1497 683.992 21.1708 4852.99 9.7686 4422.98 13.8786 117.106 16.1575 773.483 24.6328 4854.59 9.7744 4361.09 14.3406 114.733 16.1664 883.289 22.0947 1555.35 9.7814 4287.56 14.8025 112.649 16.1751 1016.89 105.535 9.7892 4198.06 15.2644 110.721 16.1862 1181.36 1181.36 9.7978 -1088.24 15.7264 108.999 16.1997 1389.27 1	9.7583	4522.07	12.8283	122.593	16.1431	610.470	20.7092	4851.28
9.7686 4422.98 13.8786 117.106 16.1575 773.483 21.6328 4854.59 9.7744 4361.09 14.3406 114.733 16.1664 883.289 22.0947 1555.35 9.7814 4287.56 14.8025 112.649 16.1751 1016.89 105.535 9.7892 4198.06 15.2644 110.721 16.1862 1181.36 1389.27 9.7978 -1088.24 15.7264 108.999 16.1957 1389.27 1389.27	9.7631	4476.48	13.4167	119,795	16.1497	683.992	21.1708	4857.99
9.7744 4361.09 14.3406 114.733 16.4664 883.289 22.0947 15.55.35 9.7814 4287.56 14.8025 112.619 16.1751 1016.89 1 15.55.35 9.7892 4198.06 15.2644 110.721 16.1862 1181.36 1 9.7978 -1088.24 15.7264 108.999 16.1957 1389.27 1	9.7686	4422,98	13.8786	117.106	46.1575	773.483	21.6328	4854,50
9.7814 4287.56 14.8025 112.619 16.1751 1016.89 9.7892 4198.06 15.2644 110.721 16.1862 1181.36 9.7978 -1088.24 15.7264 168.999 16.1957 1389.27	9.7744	4361.09	14.3406	114.733	16.1664	883 289	22 0947	15.5.85
9.7892 4198.06 15.2644 110.721 16.1862 1181.36 9.7978 -1888.24 15.7264 168.999 16.1997 1389.27	9.7814	4287.56	14.8025	112.619	16.1751	1016.89		1
9,7978 -1088,24 1,5.7264 1,08,999 16,1997 1,389,27	9.7892	4198.06	15.2644	110721	16.1862	1181.36		
	9.7978	4088.24	15.7263	108.999	16.1997	1389.27		

TABLA IV 2 - DATOS DE LA TRUFRA DE PRESION REALIZADA AL

(1) A second matrix of a matrix second statistical departments of the first of the billing

En las figuras 26 y 2^{-1} se tienen el análisis de la prueba de incremento de presión, considerando un modelo con almacenamiento constante. Se observa que el ajuste , tanto con las curvas tipo como con curvas semilogarítmica, deja mucho que desear durante los tiempos cortos, ya que el comportamiento de la presión no es representado a través del periodo afectado por el almacenamiento. Sin embargo, al realizar el análisis con el modelo de almacenamiento variable se logra un magnífico ajuste, ya que todos los datos caen sobre la curva de presión representativa de este sistema, figuras 28 y29.

and a second term terreter with

нолто накали на враме умали и высали и пола ник на Концерникания, арконалися скласта воковалься, кото от как Ко

A partir de este análisis se obtienen los siguientes resultados :

Modelo de yacimiento homogéneo Efecto de almacenamiento variable Frontera externa infinita kh = 4465.30 mD-pie k = 29.8 mD s = 87.6



÷

FIG. 26.- ANALISIS DE LA CURVA DE INCREMENTO DE PRESION DEL POZO TARATUNICH 391 MODELO DE ALMACENAMIENTO CONSTANTE".

72

•



FIG. 27.- ANALISIS DE LA CURVA DE INCREMENTO DE PRESION DEL POZO TARATUNICH 301. MODELO DE ALMACENAMIENTO CONSTANTE²¹.

75

27

N_0 PHEND



FIG. 28.- ANALISIS DE LA CURVA DE INCREMENTO DE PRESIÓN DEL POZO TARATUNICH 301. MODELO DE ALMACENAMIENTO VARIABLE²¹.

74

CAPITULO IV





CAPIEUS O IN

ente entratore

анарданарынынын калыктык кызыктарды. Каралыктык жүрөтөрдөк үзүкдөөн кектеректик калартар алартар алартарда алар

IV.2 Pozo Taratunich 63D

Este pozo también está localizado en el campo Taratunich de la Región Marina Suroeste, con un intervalo productor de 3400-3430 mdbmr de la formación Brecha Paleoceno. La terminación se llevó a cabo en diciembre de 1994, produciendo un aceite de 31.6º API, mostrando un estado mecánico como el de la *figura 30.*

Después se registró un gradiente por estaciones con pozo cerrado, el cual mostró una columna de 2723 mv de gas y solamente 347 mv de aceite y huego una prueba de presión-producción, en cuatro periodos de prueba durante 24.97 hrs., tal como se muestra en la *Tabla IV.3*.

TABLA IV.3 TIEMPOS DE LA PRUEBA DE PRESION REGISTRADA
EN EL POZO TARATUNICH 63D.

Periodo de	Duración	Tiempo acumulado	Gusto
prueba	(lirs)	(hrs)	(BPD)
1	10,54	10.54	0
2	4.89	15.43	1200
3	4.96	20.39	3616
4	4.58	24.97	()

En este caso se eligió el cuarto periodo de prueba, siendo este el último cierre del pozo, y los datos se presentan en la *Tabla IV.4*.

TABLA W 4 - DATOS DE LA PRUEBA DE PRESION REALIZADA AL POZO TARATUNICH 63D (Diciembre, 1994.)¹²

. Салантыкандарындарындарындарындарын катыкатындарар ардарыртыларындыр алардар, рессилески түскер кылучулар катер

THEMPO	PRESION	TIFMPO	PRESION	TIEMPO	PRESION	TIFMPO	PRESION
(hrs)	(psi)	(hrs)	(psi)	(hrs)	(psi)	(lurs)	(psi)
20.3842	3968.41	20.4272	3977.80	21.3842	4007.51	23.2842	3998,49
20,3853	3968,69	20.4368	3978.22	21 4508	4007.61	23 3508	3998.59
20,3864	3969.11	20:4342	4979.35	21.5175	4007.67	23.4175	3998.69
20.3875	3969,39	20.4375	3981.03	21.5842	4007.43	23.4842	3998.78
20,3853	3969.81	29-4408	3982.73	21.6508	4007.34	23,5508	3998.88
20,3892	3970.09	20.4442	3984.26	21.7175	4006.98	23.6175	1998.97
20,3908	3970.34	20.4475	1985.52	21.7842	4006.62	23.6842	3999.07
20.3919	1970,79	20.4508	3986.36	21.8508	4006.07	23.7508	3999.21
20,3931	3971.07	20.4542	3987.07	21.9175	4005.42	23.8175	3999.21
20,3947	3971.63	20.4575	3967.77	21.9842	4004.77	23.8842	3999.30
20,3964	3972.19	20.4608	3986.47	22.0508	4004.03	23 9508	3999.30
20.3972	3972.61	20:4642	3989.03	22 1175	4003,10	0.0175	3999,40
20,3983	3972.75	20.4675	3989,45	22.1842	4002,36	0.0842	3999,49
20.3997	3973.03	20,4717	3990,02	22.2508	4001.51	0.1675	3999,54
20.4008	3973.45	20.5175	3992.41	22.3175	4000.69	0.2342	3999.59
20,4019	3973.59	20.5847	3994.43	22.3842	3999.76	0.3008	3999,69
20.4031	3974.15	20.6508	3995.95	22,4508	.1998.93	0.3675	3999.83
20.4042	3974.30	20.7175	3996.76	22.5175	3997.81	0.4342	3999.76
20:4053	3974.44	29.7175	3996.76	22.5842	3997.44	0.5008	3999.91
20.4064	3975.00	20,7842	3998.83	22.6508	3997.53	0.5675	3999.91
20.4072	3975.14	20.8508	4060.90	22.7175	3997,67	0.6342	3999,96
20.4083	3975.28	20.9175	4002.54	22.7917	3997.82	0.7008	4000.06
20.4097	3975.56	20.9842	4004.00	22.8508	3997.91	0.7675	4000,10
20.4408	3975.84	21.0508	4005.32	22.9175	3997,92	0.8342	4000.15
20.4142	3976.26	21.1175	4006.03	22,9842	3998.20	0.900\$	4000.21
20.4172	3976.96	21.1842	4006,46	23.0508	3998.20	0.9675	4000.26
20.4208	3977.24	21.2508	4006.89	23.1175	3998.25		
20.4242	3977.66	21-3175	4007.22	23.2175	3998.40		

e na britske bland skar bake av fra met av de met skal met av de met av kunn av britska koverelaka av manar av a



FIG. 30.- ESTADO MECANICO DEL POZO TARATUNICH 63D, DE DESARROLLO (DICIEMBRE, 1994)²².



Se efectua el análisis considerando los siguientes datos del pozo y del yacimiento:

 $\phi = 15\%$, $r_w = 0.349$ pies , h = 328 pies , $B_a = 1.894$, $c_i = 2.925 \text{ E}^{5}$ psi⁻¹ y $\mu_c = 0.44$ cp , $q_0 = 3616$ BPD por estrangulador de $\frac{3}{4}$.

Se realizó el análisis de la última prueba de incremento constante y variable, tal como se muestra en las *figuras 31* a *36*. Los resultados obtenidos fueron :

Modelo de yacimiento de doble porosidad Efecto de almacenamiento variable $kh \approx 41\,001 \text{ mD-pie}$ $k \approx 125 \text{ mD}$ $s \approx -3.75$ $\omega \approx 0.041$ $\lambda \approx 6.9227$

El comportamiento de la respuesta de presión indentifica que el yacimiento es un sistema de doble-porosidad con una variación importante durante el periodo de almacenamiento, ocasionada por la presencia de un alto RGA (570 m^3/nt^3) y de la columna de gas en la columna del pozo, provocando un marcado efecto de segregación de fases. Sin embargo, esta prueba alcanza el flujo radial infinito en los últimos datos registrados²².

CAPITULO AV

載

Este es una excelente ilustración de la presencia del fenómeno de segregación de fases, ocurriendo una respuesta de tipo "joroba", donde el incremento de presión llega a un valor máximo para después declinar hasta alcanzar el flujo radial y coincidir con la tendencia del modelo de almacenamiento variable, *figuras 34* a *36*.

A este pozo no se le hizo ninguna intervención posterior, hasta que por las condiciones de alta RGA fué necesario cerrarlo en marzo de 1996. A partir del análisis de las condiciones de producción²², en este caso, se propuso tomar información adicional, tal como un gradiente estático por estaciones y un registo TDT para conocer las columnas de fluidos, la saturación de gas en las vecindades del pozo y así, definir la procedencia del mismo. De esta manera se trataría de excluir el gas, hacer un cambio de intervalo disparado con pistolas de fase radial, optimizando las condiciones de flujo de la formación hacia el pozo.



CREAR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACT

CONTRACTOR PROVINCE TO A SUBJECT OF SUBJECT AND A SUBJECT

4010 4000 3990 3980 3970 3616 0 tiempo (hrs)

¥.



ŝ



- 1

FIG. 32.- ANALISIS DE LA CURVA DE INCREMENTO DE PRESION DEL POZO TARATUNICH 63D. MODELO DE ALMACENAMIENTO CONSTANTE².

35

APRELET IS



-

FIG. 33.- ANALISIS DE LA CURVA DE INCREMENTO DE PRESION DEL POZO TARATUMICH 63D. MODELO DE ALMACENAMIENTO CONSTANTE".

1111

1011-102







÷



绣

VERIAN

LEN POLISI CONTROLS



FIG. 36.- ANALISIS DE LA CURVA DE INCREMENTO DE PRESION DEL POZO TARATUNICH 63D MODELO DE ALMACENAMIENTO VARIABLE⁴².

38

SETTER 1

sf

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se debe tomar en cuenta que los datos de variación de presión son enmascarados por los efectos de almacenamiento del pozo durante los tiempos cortos, lo cuál crea una incertidumbre en la aplicación de las técnicas de análisis y resta confiabilidad a los parámetros resultantes del sistema pozo- yacimiento.

Este trabajo logra conjuntar los esfuerzos de investigaciones realizadas para explicar los efectos de almacenamiento variable que ocurren en los pozos, a través del estudio del fenómeno de redistribución de fases, llegando al planteamiento de un método general para el análisis de pruebas de presión con esta anomalía.

Se demuestra que el fenómeno de redistribución de fases en la columna del pozo puede ocasionar anomalías en el comportamiento de la presión en pozos de aceite y gas. La redistribución de fases es resultado de la mayor velocidad de la fase gas, principalmente cuando el pozo es cerrado en superficie.

śż.

יה האמניה היו היה היה היה היה המשפט שמינה היה היה היה היה היה היה היה המשמעה שהאמנה היה היה היה היה היה היה או

Se estudiaron y establecieron modelos de interpretación de pruebas de presión con efectos de almacenamiento variable, describiendo los efectos ereciente y decreciente del almacenamiento mediante las funciones : exponencial y error. De esta manera, datos de campo que presentan esta anomalía pueden ser interpretados apropiadamente.

Se concluye que mediante la función error se obtiene la mejor representación del efecto de almacenamiento variable. La incorporación de esta función logra establecer modelos de yacimientos homogéneos o de dobleporosidad, con diferentes fronteras externas (impermeable, presión contante, fallas paralelas, etc.).

La aplicación de las técnicas de análisis, se recomienda hacerla utilizando los modelos con efecto de almacenamiento variable, ya que se ha demostrado la excelente representación de la respuesta de datos reales de presión.

Los ejemplos de aplicación ilustran el análisis realizado con los modelos de almacenamiento constante y almacenamiento variable, y confirman la excelente representatividad de la respuesta de variación de presión con efectos de almacenamiento variable.

NOMENCLATURA

NATIONAL PRODUCTION OF A CONTRACT MATRICE CONTRACTOR AND A CONTRACT AND A CONTRACT AND A CONTRACTOR AND A CONTRACT

А	Area de drene asociada al pozo	pies ²
<i>A</i> .,	Area de la sección transversal del pozo	pies ²
В	Factor de volumen del aceite	bl a c.y. / bl a c.s.
BTP-KS	Brecha del Terciario Paleoceno-Cretacico Superior	
С	Coefficiente de almacenamiento del pozo	bl / psi
С"	Compresibilidad del fluído en el pozo	17 psi
C,	Compresibilidad total	17 psi
C,	Coeficiente de almacenamiento variable aparente	bl / psi
C_{ab}	Coeficiente de almacenamiento variable aparente adimensional	adimensional
C_{P}	Coeficiente de almacenamiento del pozo adimensional	adimensional
С.,,	Coefficiente de almacenamiento efectivo adimensional o Coefficiente de pseudo almacenamiento	adimensional
С,	Coeficiente de almacenamiento variable	bl / psi
C_{sd}	Coeficiente de almacenamiento variable adimensional	adimensional
C.S.	Condiciones estándar	and an a
e.y.	Condiciones de yacimiento	
c	Número de Euler = 2.718281828	
erf	Función error	

NOMENCLATURA

23

ъ.

erfc	Función error complementaria	
g	Aceleración de la gravedad	pre / seg ²
g_{ϵ}	Factor de conversión de unidades de aceleración gravitacional = 32.17	(lbm/pie)/(lbr-seg ²)
h	Espesor de la formación	pies
h_{L}	Altura del nivel de líquido dentro de la tubería de producción	pies
J_{σ}	Función Bessel de prímera clase	with the
JSK	Jurásico Superior Kimmerigdiano	t and te
K	Permeabilidad de la formación	mD
К,	Permeabilidad de la zona dañada	nıD
КМ	Cretácico Medio	
£.	Operador de transformada de Laplace	a a ganar
m	Pendiente de la linea recta semilogaritmica	psi / ciclo
md	Metros desarrollados	m
mv	Metros verticales	11}
ındbmr	Metros desarrollados hajo mesa rotatoria	m
mvbmr	Metros verticales bajo mesa rotatoria	m
р	Presión	psi
p_{ν}	Caída de presión adimensional	adimensional
р,	Presión inicial	psi
₽ _#	Presión del gas	psi

MURPHARE.

j.

n geologie general in the department of the constant of the co

÷

•

P_{γ}	Presien del Inquido	$p^{\pm 1}$
P_{i}	Presion en la cabeza del pozo	psi
P_{π}	Presión en el fondo del pozo	p:a
p_{zb}	Caida de presión en el fondo del pozo adimensional	adimensional
p_{si}	Presión de fondo fluyendo	p.si
P_{wh}	Presión del fluido en la cabeza del pozo	ps:
P_{m}	Presión de fondo estática	psi
$p_{\rm set}$	Presión del fluido en el punto en el que entra el gas	psi
<i>P</i> ;	Presión durante el cambio de atmacenamiento o durante la redistribución de fases	psi
$p_{i\nu}$	Presión adimensional durante el cambio de almacenamiento o durante la redistribución de fases	adimensional
PLT	Registro integral de producción	-217 aV
Δp	Caída de presión	psi
Δp_x	Caída de presión debida al daño	psi
q	Gasto de producción en superficie	bl / dia
$q_{\prime\prime}$	Gasto de producción en la cara de la formación	bl / día
q_*	Gasta de producción praveniente del pozo	bl / dia
r	Distancia radial	pies
T _D	Radio adimensional	adimensional
r,	Radio de drene	pies
r,	Radio en zona dañada	pies

NOAH SCLATORA

pra

r_{u})	Radio efectivo del pozo	i 1.
RGA	Relación gas-aceite	
.5	Factor de daño	adimensional
I_r	Tiempo de producción	horas
I_l .	Tiempo adimensional	adimensional
37	Tiempo de cierre	horas
$\Delta t_{\rm b}$	Tiempo de cierre adimensional	adimensional
TDT	Registro de decaimiento termal	·· •·
TP	Tubería de producción	
TR	Tubería de revestimiento	•••
и	Variable independiente	
Δv	Cambio de volumen del fluido en el pozo	b)
Γ.	Volumen total del fluido contenido en el pozo	ы / pic
Y_{ij}	Función Bessel de segunda clase	A papato at
2	Variable en el espacio de Laplace	

zakaza konteksi nova na kateksa a kata kateksi kateksi konteksi kata a sha shakasa ilikuna shaka kateksi katek

Símbolos griegos

CI.	Tiempo de duración del elècto de almacenamiento variable	ho
α_p	Tiempo de duración del efecto de almacenamiento variable adimensional	ad
γ	Constante de Euler = 0.5772	

horas

adimensional

seath is choire bh Talean an staite a

х,

16m

ţı.	Visenadao del Iluido	vij
t i	Porosidad de la formación	finceion
ŗ	Variable de integración	
ζ_P	Variable de integración adimensional	adimensional
p	Densidad del fluido	gi/cm ³ o 1b/pic ⁴
п	Constante pi = 3,14159	adimensional
a. E	Variable de derivada parcial	e 1.1

120

Subindices

а	Aparente
U.	Anular
Ð	Adimensional
i	Inicial
\$	Propiedad de la región de daño
s_t	Cara de la formación
<i>H</i>	Unitario
w	Рого
wf	Fondo fluyendo
ics	Fondo estático

REFERENCIAS

- L.- Hegeman P.S., Hallford D.L. and Joseph J.A. "Well Test Analysis with Changing Wellbore Storage", Paper SPE 21829 (April , 1991).
- 2.- Hasan A.R. and Kabir C.S.: "Modeling Changing Storage During a Shui-In Test", Paper SPE 24717 (October, 1992).
- 3.- Fair W. B. Jr.; "Pressure Buildup Analysis with Wellhore Phase Redistribution"; SPEJ (April, 1981).
- 4.- Hasan A.R. and Kabiy C.S.: "Modeling Changing Storage During a Shut-In Test", SPE Formation Evaluation (December, 1994)
- 5.- Zhang Y, and Zhen F. : "Well Test Analysis in the Case of Changing Wellbore Storage"; Paper SPE 22422 (1985).
- 6.- León-Ventura R.: " Desarrollo de Nuevas Técnicas de Análisis de Pruebas de Presión "; Departamento de Registros y Pruebas en Pozos, Instituto Mexicano del Petróleo (Febrero, 1990).
- Ramey H. J. Jr. : "Short-Time Well Test Data Interpretation in the Pressure of Skin Effect and Wellbore Storage"; JPT (June, 1970).
- 8.- Hernández M. T.: "Análisis con Curvas Tipo de Pruebas de Presión en Yacimientos Homogéneos"; Tesis Profesional, Facultad de Ingeniería, U.N.A.M. (1985).

er han handen ver die die erende die die die die die heter de heter krywenden die de deele die heter werden die

- Bourdet D.P., Whittle T.M., et al. " A New Set of Type Curves Simplifies Well Test Analysis", World OB (May, 1983)
- 10. Stegenseier G L. and Matthews C S. " A Study of Anomatous Pressure Build-Up Itehavior", Petroleum Transaction of AIME, Vol. 213 (1958)
- 11.- Deruyck B., Ehlig-Economides C. and Joseph J. ¹⁴ Testing Design and Analysis, Oilfield Review (April, 1992).
- Bobadilla M. O. S. : "Estudio de las anomalias en Pruebas de Incremento de Presión"; Tesis Profesional, Facultad de Ingeniería, UNAM (Mayo, 1984).
- Agarwal L.G., Al-Hussainy R. and Ramey H.J. Jr. 29 An Investigation of Wellhore Storage and Skin Effect in Unsteady Liquid Flow: Analytical Treatment"; Soc.Pet. Eng.J. (September, 1970).
- [4] Fair W.B. & " Pressure Buildup Analysis with Wellbore Phase Redistribution": Soc.Pet.Eng.J. (April, 1981).
- 15.- Van Everdingen A.F. and Hurst W. . " The Aplication of the Laplace Transformation to flow Problems in Reservoirs"; Petroleum Transactions of AIME, Vol. 186 (1949).
- Murray R. Spiegel. : "Manual de Fórmulas y Tablas Matemàticas"; Serie Schaum's, Editorial McGraw-Hill (1983).
- Bourdet D. P., Ayoub J. A., Whittle T. M., Pirard Y. M. and Kniazeff V.: *"Interpreting Well Tests in Fractured Reservoirs"*; World Oil (October, 1983).
- 18 Earlougher, R. C. Ir.: "Advances in Well Test Analysis", SPE Monograph Series, Dallas, Vol 5 (October, 1957).

19 Van Everdingen A.F. " The Skin Effect and its Influence of the Productive Capacity of a Well" : Petroleum Transactions of AIME, Vol. 198 (1953).

AND THE APPENDED FOR THE FOR THE TRANSPORTED ADDRESS AND ADDRESS AND FOR THE TO THE PRODUCT OF THE THE PROPERTY AND THE TO THE TO THE THE TO THE THE TO THE TO THE TO THE THE TO THE TO

- 20 León-Ventura R.: "Análisis de Pruebas de Variación de Presión", División de Evaluación de Formaciones, Instituto Mexicano del Petróleo (1984)
- 21 Villamar V. M.: Commicación personal; Facultad de Ingeniería, UNAM. (1996).
- 22.- León V. R., Noyola O.A., Tinajero Z. J., García M.J.L. e Inda L. A. : " Audilisis de las Condiciones de Explotación del Campo Taratunieli"; Región Marina Suroeste Petróleos Mexicanos (1996).