



**UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL
DE LOS LLANOS OCCIDENTALES "EZEQUIEL ZAMORA"
VICE-RECTORADO DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO SOCIAL
PROGRAMA DE CIENCIAS BÁSICAS Y APLICADAS
SUBPROGRAMA INGENIERÍA DE PETRÓLEO**

Cálculo de parámetros de un yacimiento infinito de flujo radial utilizando técnicas de análisis de pruebas de declinación de presión por medio de la herramienta Excel en la UNELLEZ VPDS

Autores:

Luis Arevalo C.I 27.035.706

Yolmaira Paiva ~~Yolmaira~~ C.I 27.338.990

Tutor Académico: Ítalo Peña

Barinas, Septiembre de 2022



**UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL
DE LOS LLANOS OCCIDENTALES "EZEQUIEL ZAMORA"
VICE-RECTORADO DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO SOCIAL
PROGRAMA DE CIENCIAS BÁSICAS Y APLICADAS
SUBPROGRAMA INGENIERÍA DE PETRÓLEO**

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi carácter de Tutor (a) del Trabajo de Especial de Grado presentado por el ciudadano **Luis Arevalo, C.I. 27.035.706**, y la ciudadana **Yolmaira Paiva, C.I. 27.338.990** para optar al título de **Ingeniero de Petróleo**, considero que este reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Barinas a los _____ días del mes de _____ del 2022

Tutor: Ítalo Peña
C.I.:



**UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL
DE LOS LLANOS OCCIDENTALES "EZEQUIEL ZAMORA"
VICE-RECTORADO DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO SOCIAL
PROGRAMA DE CIENCIAS BÁSICAS Y APLICADAS
SUBPROGRAMA INGENIERÍA DE PETRÓLEO**

Cálculo de parámetros de un yacimiento infinito de flujo radial utilizando técnicas de análisis de pruebas de declinación de presión por medio de la herramienta Excel en la UNELLEZ VPDS

POR AUTORES: Luis Arevalo
C.I: 27.035.706
Yolmaira Paiva
C.I: 27.338.990

Trabajo Especial de Grado aprobado en nombre de la Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales "Ezequiel Zamora" por el siguiente jurado, a los _____ días del mes de _____ del _____.

JURADO C.I.

JURADO C.I.

TUTOR C.I.

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico principalmente a mi Dios todo poderoso, por siempre estar a mi lado, por darme las fuerzas, la energía y la convicción para seguir adelante a pesar de las adversidades.

A mi madre y a mi padre, por educarme con excelentes principios, por inculcarme el valor de los estudios, y principalmente por impulsarme siempre a seguir mis metas.

A mi familia, especialmente a mis tíos y mi tía Sile, a mi primos y primas, Yoselin, Eglimar y Saray por darme su apoyo e impulsarme a seguir adelante.

A mis amigos (as) y compañeros(as) de clases Kevin, Dailubis, Daliana y Rusneidy que hicieron de mi etapa universitaria inolvidable.

A mis amigas de residencia y compañeras de estudios Helen, Sami y Michel por su motivación, sermones y ayudarme en mis asignaturas.

A cada uno de los profesores de la UNELLEZ que contribuyeron con mi formación académica.

Y por último a todas aquellas personas que de una u otra manera han contribuido en mi crecimiento.

Luis Arévalo

No puede el hombre recibir nada, sino le fuere dado del cielo, por lo que este trabajo se lo dedico al Dios de Israel, quien me ha sustentado, renovando mis fuerzas y provisto todo cuanto he necesitado.

Se lo dedico a mis padres por cada sacrificio que han hecho, por estar siempre a mi lado, brindándome su apoyo y sus consejos para ser una mejor persona, por ser ejemplo y pilares fundamentales en mi vida. A mis hermanos por sus palabras, ayuda y compañía, al igual que el resto de mi familia, a mis abuelos que gracias a Dios están conmigo acompañándome en este momento tan importante para mí. A mis tías Teresa Mendoza, María Soto, Jandry Losada y Nelly Paiva. A mis amigos, compañeros y vecinos, especialmente a Cristóbal por sus palabras, confianza, su amor, paciencia y apoyo; a Ronald Pérez por cada sacrificio que hizo por mí; Joelvis por darme ánimo cuando lo necesitaba, así mismo a Rusneidy, Michel Morante, Maidelis, Miguel, Jhon, y Marialbis quien me impulsó y me dieron aliento.

Y por último a todas aquellas personas que de una u otra manera han contribuido en mi crecimiento.

Yolmaira Paiva

RECONOCIMIENTO

Le agradezco a Dios por haberme acompañado a lo largo de todos mis estudios, por ser mi guía y fortaleza, por darme las fuerzas y la bendición de seguir aprendiendo cada día.

Le doy gracias a mis padres, tíos (as) y primos (as) por apoyarme en todo momento, por sus enseñanzas, y por haberme dado la oportunidad de haber tenido una excelente educación en el transcurso de mi vida.

A nuestro tutor Ing. Ítalo Peña, por haberme enseñado este tema durante sus clases, y por acompañarme, en el trayecto de esta investigación.

A si mismo gracias al profesor Neuro Palencia, y a todos los profesores que conforman el sub programa ingeniería de petróleo.

Gracias a Yolmaira por haberme acompañado en parte del desarrollo de este trabajo.

Gracias a todos mis amigos que me apoyaron en esta trayectoria.

Luis Arevalo

Doy gracias al señor, creador de los cielos y la tierra; en quien he puesto mi confianza, y esperanza por haber escuchado mi clamor, permitiéndome culminar con esta etapa tan valiosa en mi vida.

Agradeciéndoles así mismo a mis padres, hermanos, abuelos, tíos y primos por haberme aconsejado, ayudado y apoyado incondicionalmente durante este camino, mi corazón se alegra por cada uno de ellos y aunque hay varios que no están presentes los recuerdo con gran amor por haberme apoyado.

A los profesores que componen el cuerpo del sub programa Ingeniería de Petróleo, agradecida por sus esfuerzos y enseñanzas, especialmente al profesor y tutor Ítalo Peña, a los profesores Deivis Gonzales, Gericksson, Jesús Guevara, José Chacón, Neuro Palencia y María Fonseca.

Gracias a Miguel por haberme acompañado en parte del desarrollo de este trabajo.

Gracias a todos mis compañeros y amigos que me apoyaron en esta trayectoria.

Yolmaira Paiva

ÍNDICE GENERAL

	pp.
Resumen.....	<u>xvi</u> xv
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I.....	3
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
Objetivo General.....	5
Objetivos Específicos.....	5
JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	6
ALCANCES Y LIMITACIONES.....	7
Alcances.....	7
Limitaciones.....	7
CAPITULO II.....	8
ÁREA DE LA INVESTIGACIÓN.....	8
ANTECEDENTES DEL ESTUDIO.....	9
MARCO TEÓRICO.....	10
Yacimiento.....	10
Pozo.....	10
Parámetros petrofísicos.....	10
Permeabilidad.....	11
Permeabilidad promedio.....	11
Porosidad.....	11
Presión estática del yacimiento.....	12
Presión de la formación.....	12
Presión de fondo fluente.....	12
Efecto Skin (Daño de la Formación).....	12
Estimulación.....	13
Límites del yacimiento.....	14
Heterogeneidades.....	14
Interferencia o comunicación entre pozos / fallas.....	14

Tasa de producción	15
Índice de productividad.....	15
Área de drenaje	16
Área del pozo	16
Fronteras del yacimiento.....	16
Longitud de fractura.....	16
Almacenamiento	17
Planilla de cálculo	17
Tipos de yacimientos	18
Regímenes de Flujo.....	19
Pruebas de pozo	20
Pruebas de presión de pozo.....	20
Pruebas de declinación de presión o Drawdown.....	21
Proceso de una prueba de declinación de presión	21
Factores que complican la prueba de presión Drawdown.....	22
Métodos de análisis para pruebas de declinación de presión	22
Pasos a seguir según las formulas a utilizar.....	29
SISTEMA DE VARIABLES	30
Variables independientes	30
Variables dependientes.	30
MAPA DE VARIABLES.....	31
NORMATIVA Y ASPECTOS LEGALES	33
CAPITULO III	37
TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	37
METODOLOGÍA	37
DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	38
POBLACIÓN Y MUESTRA	39
TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	39
Diseño del programa en Excel.....	41
Página de Métodos.....	41
Página de gráficas	41
Página Horner	42

Página Gringarten	42
Página Bourdet.....	42
Página comparación	42
Funcionamiento de botones.....	42
Aplicación del software Excel para el análisis de pruebas de declinación	45
Ejecución del programa en la herramienta Excel	46
CAPITULO IV	51
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	51
Objetivo específico 1	51
Objetivo específico 2	52
Objetivo específico 3	52
Objetivo específico 4	53
CAPITULO V	59
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	59
CONCLUSIONES	59
RECOMENDACIONES	60
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Mapa de Variables.....	31
Tabla 2. Datos del yacimiento y del pozo	46
Tabla 3. Datos de prueba de presión.....	47
Tabla 4. Datos obtenidos del gráfico de Horner.....	53
Tabla 5. Datos obtenidos del gráfico de Gringarten.....	53
Tabla 6. Datos obtenidos del grafico de Bourdet.....	53
Tabla 7. Resultados por método de Horner.....	54
Tabla 8. Resultados por método de Horner.....	54
Tabla 9. Resultados por el método de Gringarten.....	55
Tabla 10. Resultados por el método de Bourdet.....	55
Tabla 11. Comparación de resultados de los métodos de análisis.....	56
Tabla 12. Porcentaje de diferencia de los parámetros K, S, C.....	56
Tabla 13. Diferencia de resultados en método de Horner.....	57
Tabla 14. Diferencia de resultados en método de Bourdet.....	57

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Croquis de la Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales “Ezequiel Zamora” (UNELLEZ).....	8
Figura 2. Tipos de Flujo según su geometría	20
Figura 3. Ingresar datos del yacimiento	42
Figura 4. Ingresar Datos de Presión.....	42
Figura 5. Reflejar Graficas	43
Figura 6. Resultados Por Horner	43
Figura 7. Resultados Por Gringarten	43
Figura 8. Resultados Por Bourdet.....	43
Figura 9. Ver Resultados.....	44
Figura 10. Limpiar	44
Figura 11. Gráficas	44
Figura 12. Inicio	44
Figura 13. Calcular	45
Figura 14. Insertar.....	45
Figura 15. Limpiar	45
Figura 16. Ventana de ingreso de datos del yacimiento	48
Figura 17. Ventana de ingreso de datos de pruebas de presión.....	48
Figura 18. Página principal Métodos.....	49

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Análisis de una prueba de declinación de presión para el periodo transitorio por el método de Horner.....	24
Gráfico 2. Curva tipo en semi-log para encontrar CD.	26
Gráfico 3. Curvas Tipo en Log-Log.	27
Gráfico 4. Curva de la Derivada de Presión Adimensional. $pD'tD/CDvstD/CD$ en log-log.	28
Gráfico 5. Curvas tipo (de Bourdet et. al. 1983)	29
Gráfico 6. Gráfica de Horner.....	4952
Gráfico 7. Gráfica de Gringarten	5052
Gráfico 8. Gráfica de la derivada de Bourdet.....	5053
Gráfico 9. Diferencia de resultados	5862

LISTA DE FORMULAS

Ecuación 1. Daño	1344
Ecuación 2. Presion adimensional	15
Ecuación 3. Despeje de presion adimensional.....	15
Ecuación 4. Diferencial de Presion	15
Ecuación 5. Indice de Productividad.....	16
Ecuación 6. Presion de fondo.....	2324
Ecuación 7. Linea recta semilog	2324
Ecuación 8. Intersección	2324
Ecuación 9. Pendiente	2324
Ecuación 10. Log. Presión adimensional.....	2526
Ecuación 11. Log. Tiempo adimensional.....	2526
Ecuación 12. Presión adimensional para tiempos largos.....	2829
Ecuación 13. Derivada de la presión adimensional	2829
Ecuación 14. Derivada de presion adimensional respecto al tiempo	2830
Ecuación 15. Pendiene	2931
Ecuación 16. Permeabilidad	2931
Ecuación 17. Daño	2932
Ecuación 18. Diferencial de presión	2932
Ecuación 19. Eficiencia de flujo.....	3032



**UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL
DE LOS LLANOS OCCIDENTALES "EZEQUIEL ZAMORA"
VICE-RECTORADO DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO SOCIAL
PROGRAMA DE CIENCIAS BÁSICAS Y APLICADAS
SUBPROGRAMA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO**

Cálculo de parámetros de un yacimiento de flujo radial e infinito utilizando técnicas de análisis de pruebas de declinación de presión por medio de la herramienta Excel en la UNELLEZ VPDS

AUTORES: Luis Arévalo

C.I 27.035.706

Yolmaira Paiva

C.I 27.338.990

TUTOR (Académico): Ítalo Peña

Septiembre, de 2022

Resumen

A través de las pruebas de presiones de pozos se puede obtener información importante acerca de un yacimiento. Por ello, el objetivo general de estudio fue desarrollar una hoja de cálculo que permitiera evaluar los parámetros de un yacimiento infinito de flujo radial a través de técnicas de análisis de pruebas de declinación de presión de forma automática. La investigación desarrollada fue de tipo documental y condujo a la elaboración de un proyecto factible, que consistió en la utilización de la herramienta Excel, para crear un diseño que permitiera calcular diversos parámetros de un yacimiento implementando las técnicas de análisis Drawdown. Como resultado general se obtuvo que el diseño del programa, posee un funcionamiento dinámico, comprensible y logra reflejar los cálculos de los parámetros del yacimiento con una buena exactitud en los resultados.

Descriptores: pruebas de presión, análisis Drawdown, Excel

E-mail: luisarevalo301@gmail.com ; unellezpetroleo@gmail.com

INTRODUCCIÓN

A lo largo de la vida productiva de un yacimiento se pueden presentar diversas dificultades que pueden acortar el desarrollo de su producción, entre esos problemas se encuentra el daño de formación, ocurriendo frecuentemente en operaciones de perforación, completación, y rehabilitación de pozos. El daño de una formación productora de hidrocarburos, es aquella restricción al flujo de fluidos en el medio poroso causado por la reducción de la permeabilidad en la vecindad del pozo. Para prevenir o conocer los problemas que se presentan en un yacimiento, comúnmente se implementan las pruebas de presiones de pozos, por medio de estas pruebas se logra obtener información acerca del comportamiento dinámico de un yacimiento.

Entre los tipos de pruebas más utilizadas se encuentran las pruebas de declinación de presión Drawdown, a través de las pruebas Drawdown se logra obtener diversas características del yacimiento, tales como la permeabilidad, presión promedio en el área de drenaje del pozo, condición del pozo en cuanto a efecto de daño o estimulación, almacenamiento, etc. La determinación de esos parámetros petrofísicos se puede hacer por distintas técnicas de análisis, entre las cuales integran gráficas semilogarítmicas y logarítmicas. Por medio de su estudio, es posible analizar el comportamiento del yacimiento, y lograr evitar el daño. al mismo tiempo, con estos análisis se pueden encontrar nuevas alternativas para poder mejorar la producción de un pozo de hidrocarburos.

Bajo estas premisas, se plantea la elaboración de un ~~diseño~~ en Excel que permita realizar el procedimiento matemático de los métodos de análisis de declinación de presión, la realización del mismo está contemplada en el uso de las nuevas tecnologías y herramientas informáticas. En este sentido, el desarrollo del estudio se encuentra estructurado de la siguiente manera:

Capítulo I, denominado El Problema, se inicia con la contextualización del mismo. Presenta el objetivo general, por cuanto representa la finalidad última que persigue con la investigación; los objetivos específicos, que se derivan del objetivo

Comentario [S1]: Hoja de cálculo

general, siendo su función la consecución de este. Finalmente se presenta la justificación y alcances de la investigación.

Capítulo II, Marco Teórico, el cual consta; de los antecedentes para la presente investigación, seguido de las bases teóricas, bases legales, y mapa de variables sobre las cuales se sustenta la misma.

Capítulo III, Marco Metodológico donde se describe cada uno de los aspectos relacionados con la metodología seleccionada para desarrollar la investigación.

Capítulo IV, recoge el Análisis e Interpretación de los resultados, producto de la aplicación del instrumento.

Capítulo V, Conclusiones y Recomendaciones.

CAPITULO I

EL PROBLEMA

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los trabajos en el campo petrolero casi siempre tienen complicaciones, éstas aumentan cuando desconocemos parámetros importantes en el yacimiento, estos parámetros pueden ser: almacenamiento del pozo, índice de productividad, potencial de pozo, daño, porosidad, permeabilidad, distancia a los límites, entre otros. Estudios como las pruebas de declinación de presión, son una de las técnicas más comunes para conocer estos parámetros importantes, usualmente se realizan con el pozo activo, cabe destacar que este método se utilizó inicialmente para aguas subterráneas, sin embargo, actualmente se ha usado ampliamente en el campo petrolero.

Se realizan en pozos nuevos o que han sido cerrados por un largo tiempo y consiste en hacer producir el pozo a una tasa estabilizada durante un tiempo determinado. El incremento de la presión de fondo es medido en función del tiempo, a partir de estos es posible conocer determinados parámetros, con la finalidad de realizar un trabajo más óptimo.

La ingeniería de yacimientos y producción son ramas de la ingeniería de petróleo que a través de los años se han ido renovando en cuanto al uso de nuevas herramientas tecnológicas que permiten generar diseños de gráficas y evaluación de fórmulas matemáticas, en donde se pueden conocer diversas propiedades y parámetros del yacimiento. —Para Ferrer (2001), los factores o parámetros más importantes son: “las propiedades de los fluidos del yacimiento, el tipo de empuje, la geometría del yacimiento, la continuidad de la arena, el relieve estructural, las propiedades de la roca, temperatura y presión del yacimiento”.

En los últimos años una de las técnicas más utilizadas para evaluar los parámetros de un yacimiento han sido las pruebas de presión y la prueba de declinación de presión. De acuerdo con Escobar (2003), el análisis de presiones “es una herramienta excelente para describir y definir el modelo de un yacimiento cuando

se maneja un campo hidrocarburífero”. Las pruebas de declinación de presión o también denominadas pruebas de flujo, son aquellas empleadas en pozos exploratorios o productores, cuando el mismo se encuentra con un flujo a condiciones estables, para así lograr hacer un registro de la presión estática del fondo del pozo en función del tiempo.

Para realizar un análisis de pruebas de declinación de presión, se pueden utilizar distintos métodos, los cuales se agrupan en: gráficos semilog y gráficos log-log, en este tipo de gráficos está presente lo que es el método de Horner. Según Chaudhry (2003), este método “se usa cuando el tiempo de producción antes del cierre sea al menos el doble del tiempo anterior de producción y se usa preferiblemente en pozos nuevos porque se tiene la presión inicial del pozo”. Aunado a esto un método muy utilizado en la industria es el de la derivada de Bourdet y Tiab que fue desarrollado en la década de los 80’s, en este método se trabaja con escalas logarítmicas.

Por otra parte, en los métodos de Drawdown testing están presentes las curvas tipo, al respecto Valencia R. (2008) una curva tipo “es una representación gráfica de la respuesta teórica de un modelo de interpretación que representa al pozo y al yacimiento que está siendo probado. Para una prueba a presión constante, la respuesta es el cambio en el caudal de producción; para una prueba con caudal constante la respuesta es el cambio en la presión de fondo (fluyente o estática)”. Entre las principales curvas tipo están las propuestas por Ramy’s, Makinley’s, Bourdet y Gringarten.

En el caso de la curva tipo de Gringarten et. al, se basa en yacimientos homogéneos, en donde se analizan datos de campos, de manera que represente las condiciones del sistema pozo-yacimiento lo más realista posible, añadiendo así el daño de formación (efecto Skin) y la constante de almacenamiento. Con las curvas tipo se puede estimar: propiedades de la formación, identificar el modelo de la formación e identificar patrones de flujo durante la prueba.

En la división Boyacá Barinas-Apure las técnicas de análisis de pruebas de declinación de presión más utilizada en los últimos años ha sido el método de Horner

debido a su eficiencia y optimización. Sin embargo, otros métodos muy empleados en la industria y de gran importancia son el método de la derivada de Bourdet y las curvas tipo de Gringarten.

Debido a esto es necesario desarrollar por medio de herramientas de cálculos y/o diseños, un algoritmo que permitan ejecutar los métodos de declinación de presión más utilizados en la industria, facilitando así el proceso para la determinación de los parámetros de un yacimiento, logrando obtener resultados mucho más confiables y al mismo tiempo permitiéndole a los futuros estudiantes de ingeniería de petróleo tener una visión más concreta y exhaustiva de los métodos de declinación de presión. Ante todo, lo expuesto, surgen las siguientes interrogantes:

¿Cuáles son las técnicas de análisis de declinación de presión más implementadas en la industria?

¿Qué parámetros del yacimiento se pueden obtener mediante las pruebas de declinación de presión?

¿Cómo es el desarrollo de las técnicas de análisis de declinación de presión en la herramienta Excel?

¿Cómo difieren los resultados de los parámetros del yacimiento respecto a cada técnica de análisis del Drawdown test?

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Objetivo General

Desarrollar una hoja de cálculo que permita evaluar parámetros de un yacimiento infinito de flujo radial a través de técnicas de análisis de pruebas de declinación de presión de forma automática.

Objetivos Específicos

1. **Analizar** los métodos más utilizados en la declinación de presión del yacimiento (Drawdown test).
2. Definir los parámetros petrofísicos más importantes para la caracterización de un yacimiento infinito de flujo radial.

Comentario [S2]: Debes revisar el la jerarquía de los verbos. Analizar es de un nivel superior a Definir

3. Establecer un algoritmo y planilla de cálculo que permita obtener de una forma precisa los cálculos petrofísicos de un yacimiento.
4. Evaluar el funcionamiento y la eficacia del algoritmo y planilla de cálculo que permitan calcular los parámetros petrofísicos del yacimiento.

JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

En las etapas de exploración y producción del petróleo se pueden evaluar el total de hidrocarburos existenciales en el área de estudio, estas cadenas por ser largas y complejas, se caracterizan por la búsqueda de nuevas alternativas para incrementar tanto la producción como la calidad de los yacimientos. Debido a ello, conlleva hacer estudios íntegros que permitan obtener la calidad de las propiedades del yacimiento.

Hasta ahora el uso de la prueba de presión (Drawdown) es uno de los métodos más implementados en la industria para obtener información sobre el comportamiento dinámico del yacimiento, con el cual se pueden obtener parámetros como, límites del yacimiento, daño de formación y más, Ing. Freire C. (2015). Para mejorar el desarrollo y producción del hidrocarburo, existen diversos programas tales como el PanSystem, Software Saphir, entre otros, donde se logra analizar los parámetros del estrato, parámetros de fluidos y presiones actuales de los yacimientos, para así poder mejorar la producción del campo.

Por este motivo, se hace énfasis en el presente estudio, ya que se busca ampliar los conocimientos y poder caracterizar un yacimiento, calculando algunos de sus parámetros petrofísicos, utilizando un programa de fácil acceso que nos ayude de una manera más óptima conseguir dichos valores, apreciando el tiempo y la calidad de cada trabajo en el área petrolera. Además, la realización de esta herramienta, nace bajo la necesidad de adquirir un software de análisis de pruebas de declinación de presión, puesto que las licencias de los programas actuales representan un costo significativo tanto para el estado, como para las instituciones académicas.

Aunado a lo anterior, a consecuencia de que la bibliografía disponible respecto a los métodos de análisis de pruebas de declinación es mucho más amplia y

explicita que otros tipos de pruebas de presión, permitiendo así, que se puedan elaborar cálculos más confiables y verídicos.

ALCANCES Y LIMITACIONES

Alcances

Los aportes que se estiman para el fin del presente trabajo es generar un ~~programa~~ hoja de cálculo que permita realizar un análisis de las técnicas de declinación de presión, en donde se puedan calcular ciertos parámetros del yacimiento tales como la permeabilidad, daño, almacenamiento y la eficiencia de flujo, logrando de esa manera optimizar todo el proceso de cálculo, y poder contribuir con cada ingeniero petrolero y estudiante de la carrera de ingeniería de petróleo, en realizar los cálculos de una forma más efectiva y rápida, para que en un futuro al conocer estos parámetros puedan saber las condiciones del pozo, en un tiempo optimo y a menor costo.

Limitaciones

En el estudio de los métodos de declinación de presión más utilizados y el desarrollo de la hoja de cálculo para la determinación de parámetros del yacimiento, se pueden denotar como limitantes la variedad bibliográfica que se pueda obtener respecto a los métodos de análisis de presión empleados en el distrito Barinas, además, el tiempo para elaborar el programa representa una limitación, debido a que no se podrían agregar más métodos de análisis para lograr una mayor variedad de resultados. De igual forma, la capacidad del equipo electrónico para el desarrollo de los análisis de declinación de presión, dentro de la herramienta informática repercute en la ejecución de los mismos.

Comentario [S3]: Por que ??? El objetivo general no incluye un área geográfica

Comentario [S4]: A qué capacidad se refiere ??? Memoria??

CAPITULO II

MARCO CONTEXTUAL

ÁREA DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación se desarrolla en las instalaciones de la UNELLEZ VPDS Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora, Vicerrectorado de Planificación y Desarrollo Social, en el Estado Barinas, Venezuela.

Figura 1. Croquis de la Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales “Ezequiel Zamora” (UNELLEZ).



Fuente: Navarro, D. (2019)

ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

Gómez, S. (2011), Título: “Diseño de pruebas de presión en pozos exploratorios del campo Travi, ubicado al noroeste del estado Monagas”. Universidad de Oriente núcleo de Anzoátegui, Puerto la cruz – Venezuela. Tesis pregrado, el objetivo de este trabajo fue, realizar un diseño de prueba óptimo para el pozo exploratorio y de esta manera obtener parámetros yacimiento-pozo confiable. Se realizó la investigación apoyado con pruebas mediante el software Ecrin-Saphir. Para la evaluación petrofísica y datos del pozo tales como: radio del pozo, compresibilidad total, porosidad, espesor del área neta petrolífera, donde se encuentran completado el pozo, las propiedades del fluido del crecimiento, así como también los datos de presión y tasas de flujo registrados de la prueba, sirven para obtener datos más específicos en la investigación.

Los autores, **Celis, A. y Moreno, M. (2018), Título: “Análisis de yacimiento mediante la interpretación de pruebas de restauración de presión de los Pozos productores del campo el triunfo”.** Fundación Universidad de América facultad de ingeniería, Bogotá. Tesis pregrado, los autores realizaron el presente estudio con el objetivo de analizar el yacimiento, mediante la interpretación de pruebas de restauración de presión de Los Pozos productores del campo El Triunfo, para la realización del tren de presión, el histórico de daño de formación y los mapas de permeabilidad presión, además de la distribución de barreras donde se realiza el análisis de las distintas propiedades de yacimiento con respecto al tiempo. En esta oportunidad los estudios realizados se elaboraron y analizaron por medio de gráficos log-log, gráficos semi-log, gráficos cartesianos y gráficos de flujo lineal, sin embargo, nos servirá de referencia en lo concerniente a las recomendaciones, en cuanto a la elaboración y aplicaciones del software a la hora de realizar las pruebas de restauración de presión.

Más adelante, **Balceca, O. (2019),** aporto el siguiente estudio con el **Título: “Obtención de parámetros de yacimiento mediante pruebas de presión transiente, aplicado al campo Gustavo Galindo Velazco”.** Universidad estatal Península de Santa Elena, La libertad - Ecuador. Tesis pregrado, cuyo objetivo fue,

determinar parámetros de yacimiento, aplicando prueba de presión transiente por medio del sistema Echometer. En este apartado, el autor reconoce la importancia en el cálculo de las pruebas de presión en el yacimiento para el Ingeniero petrolero, elaborando un equipo que trabaja en superficie, realizando disparos con una pistola de gas al pozo, determinando así la profundidad de la columna de fluido, arrojando resultados como la presión de fondo del pozo, por consiguiente, refuerza cada vez más nuestra investigación.

MARCO TEÓRICO

Yacimiento

Son trampas subterráneas compuestas por una roca que exhibe un grado suficiente de porosidad y permeabilidad para almacenar grandes cantidades de petróleo y gas dentro de sus espacios porosos. Las rocas sedimentarias son las rocas yacimiento más comunes porque poseen más porosidad que la mayoría de las rocas ígneas o metamórficas y se forman bajo condiciones de temperatura en las cuales los hidrocarburos pueden ser preservados.

Pozo

Un pozo petrolero es el resultado de una de las ramas de la ingeniería petrolera, la cual tiene como objetivo crear un canal de comunicación entre la superficie y el yacimiento donde está contenido el hidrocarburo.

Parámetros petrofísicos

Para Meza K. (2013). Se refiere a las propiedades de las rocas y de los fluidos en una formación, así mismo como las cualidades del yacimiento que pueden variar o no con respecto a la posición o con el tiempo. Las cualidades pueden representar una variable a la que se le asigna un valor constante a los fines de ciertos cálculos. La función de los parámetros es describir el comportamiento del yacimiento, logrando un mejor entendimiento del mismo lo que permite tener un panorama más amplio en la caracterización del yacimiento y, por consiguiente, respaldando la mejor explotación.

Permeabilidad

Según Ferrer M. 2009, pág. 241. “La permeabilidad denotada por k , es la capacidad del medio poroso para dejar pasar los fluidos a través de él. Matemáticamente se expresa por la ley de Darcy y es una medida del grado y tamaño en que los espacios porosos están interconectados”.

Permeabilidad promedio

La permeabilidad promedio, puede ser estimada de la información disponible en una prueba de restauración de presión. La primera dificultad que se plantea, es la identificación del rango correcto de los datos dentro de la Región de tiempos medios (MTR). El procedimiento para calcular la permeabilidad empieza por determinar el comienzo posible de la zona, comprobando que el efecto post flujo ha desaparecido. Suponer que el final probable del ocurre cuando la gráfica de Horner se hace no lineal verificado por comparación la desviación de una curva ajustada para tiempos finales y medios en grafica Log-Log.

Si el MTR es aparente lineal se debe calcular la pendiente y estimar la permeabilidad a partir de la ecuación. Si el periodo MTR no está bien definido, o es muy corto, de manera que la pendiente no puede ser calculada confiablemente, entonces, la permeabilidad se estimara por el análisis cuantitativo de curvas tipo. Para pozos sin daño o estimulados $k_j = k$, es solo aplicable para pozos en estado pseudo estático, para un pozo dañado $k_j < k$. La permeabilidad es medida en el laboratorio utilizando tapones de núcleos (pequeñas piezas cortadas del núcleo). La permeabilidad obtenida de esta forma es la permeabilidad horizontal del yacimiento (K_h). La medición de la permeabilidad en tapones tomados perpendiculares a la dirección de flujo, permiten la determinación de la permeabilidad vertical del yacimiento (K_v).

Porosidad

Según Escobar, H. (2016). La porosidad efectiva es el volumen de poros interconectados, presentes en una roca, que contribuye al flujo de fluidos en un

yacimiento. Excluye los poros aislados. La porosidad total es el espacio poroso total presente en la roca, sin importar si contribuye o no al flujo de fluidos.

Presión estática del yacimiento

La presión estática de un fluido en un yacimiento es la presión que existe cuando no hay alteraciones mecánicas o de flujo. Dicha presión denota la presión que existe al frente de la formación petrolífera cuando la producción se ha interrumpido por un lapso suficiente de tiempo para permitir la restauración de la presión en el fondo del pozo resultante de la columna de gas y de líquido. Esta presión restaurada es igual a la presión que existe en la zona petrolífera. Para medir la presión estática es necesario cerrar el pozo durante un lapso de tiempo de entre 24 a 72 horas, y así obtener una presión más estable.

Presión de la formación

Debido a que el gas, el agua y el petróleo ubicados en el subsuelo se encuentran bajo gran presión, entonces se podría decir que la presión de formación es la presión ejercida por los fluidos o gases contenidos en los espacios porosos de las rocas reservorios. Esta presión puede ser afectada por la presión de sobrecarga que actúa por encima de la formación la cual ejerce presión en los granos y los poros con fluidos del yacimiento.

Presión de fondo fluyente

Es la presión que se mide en el fondo de un pozo a nivel de la zona de disparos, a condiciones de flujo gobernadas por un estrangulador.

Efecto Skin (Daño de la Formación)

Se conoce como una reducción en la capacidad natural de un yacimiento para producir sus fluidos, tales como una disminución de la porosidad o de la permeabilidad, o de ambos. Esta reducción puede ser causada durante el período de perforación, Completación o producción del pozo. Dicho daño, puede ser el resultado del hinchamiento de arcillas presentes en la formación, invasión del lodo de perforación hacia la formación, la alteración de la mojabilidad de la roca del

yacimiento, precipitaciones químicas, formación de emulsiones, deposición de parafinas, entre otros.

Este mismo efecto, puede ser producido por una reducción en el área ortogonal a la dirección de flujo cerca del pozo, así una penetración parcial puede dar la impresión de una formación dañada. Inversamente, un pozo desviado incrementa el área de flujo cerca del pozo, dando la impresión de un pozo estimulado (con mayor permeabilidad alrededor del hoyo).

El daño puede ocurrir cerca del frente del pozo (más fácil de reparar) o ser profundo en la roca (más difícil de reparar). Este efecto es común en formaciones sensibles a fluidos de perforación. Dado que el daño de formación puede afectar significativamente la productividad de cualquier pozo, se deben adoptar precauciones adecuadas para evitar el daño durante todas las fases de la vida productiva de un pozo. Una forma de disminuir el daño es utilizando fluidos de perforación o fluidos de terminación especialmente formulados para evitar el daño de la formación, en vez de los fluidos de perforación comunes.

El efecto Skin puede ser estimado mediante una fórmula similar a la de Drawdown

Comentario [S5]: Señalar autor o fuente

$$S = 1.151 \left[\frac{P_{1hr} - P_{wf}(\Delta t = 0)}{m} - \log \frac{k}{\phi \mu c_t r_w^2} + 3.23 \right]$$

Ecuación 1

Donde:

$P_{wf@\Delta t=0}$: presión de fondo inmediatamente antes del cierre, lpc

P_{1h} : presión leída de la recta en gráfico de Horner a $\Delta t=1hr$, lpc

m: pendiente de la recta en gráfico de Horner, lpc/ciclo

Estimulación

Tratamiento realizado para restaurar o mejorar la productividad de un pozo. Los tratamientos de estimulación se dividen en dos grupos principales: tratamientos de

fractura miento hidráulico y tratamientos matriciales. Los tratamientos de fractura miento se realizan a una presión superior a la de fractura de la formación del yacimiento y crean una trayectoria de flujo altamente conductivo entre el yacimiento y el pozo. Los tratamientos matriciales se realizan a una presión inferior a la de fractura del yacimiento, además de eso requiere el uso de ácidos, solventes, y tratamientos químicos, que permitan mejorar la permeabilidad de la formación cercana al pozo, lo que aumenta la productividad de un pozo.

Límites del yacimiento

Son las formas físicas de las estructuras o estratos impermeables que limitan la roca yacimiento. Cuando los fluidos migran dentro del yacimiento, siguen un camino ascendente hasta que se encuentran con un límite, que detiene su ascenso ocasionando que los fluidos queden atrapados. Los límites del yacimiento pueden ser del tipo trampas estructurales, trampas estratigráficas o trampas mixtas.

Heterogeneidades

Para Sandoval, V. (2016). Son las variaciones de las propiedades de las rocas en un yacimiento. Las variaciones pueden dar como resultado variaciones direccionales de la permeabilidad. Esto puede ocurrir por medio de procesos geológicos, tales como la sedimentación, la diagénesis y la erosión, ya que actúan para producir características no uniformes en las formaciones rocosas.

Interferencia o comunicación entre pozos / fallas

El propósito general de la interferencia es comprobar la comunicación entre pozos en un yacimiento. Al observar la interferencia horizontal entre pozos, se puede comprobar la continuidad de los estratos permeables y analizar la existencia de comunicación vertical en arenas estratificadas. En este caso, se utiliza la solución de la línea fuente puesto que mide la presión a una distancia r del pozo. Considerando la solución de la línea fuente:

$$P_D = \frac{1}{2} \left[\ln \left(\frac{t_D}{r_D^2} \right) + 0.80907 \right] \text{ para } \frac{t_D}{r_D^2} > 100, \text{ o también}$$

Comentario [S6]: Fuente???

Ecuación 2

$$\frac{kh(P_i - P)}{141,2q\mu B} = \frac{1}{2} \left[\ln \frac{0,000264kt}{\phi\mu c_t r^2} + 0,80907 \right]$$

Ecuación 3

$$P_i - P = \frac{162.6q\mu B}{kh} \left[\log t + \log \left(\frac{k}{\phi\mu c_t r^2} \right) - 3.23 \right]$$

Ecuación 4

Donde:

r = distancia entre el pozo observador y el pozo activo

$p = P(r, t_p)$ = presión en el punto r a el punto t_p .

Tasa de producción

Es el volumen de petróleo producido por pozo expresado en barriles normales por día (BNPD) a nivel de campo, producto de un balance entre la oferta de energía del yacimiento y la demanda de energía del pozo, incluyendo sus facilidades de transporte en superficie.

Índice de productividad

Se refiere a la capacidad de un yacimiento para suministrar fluidos al pozo de igual forma representa la relación entre la tasa de aporte del pozo y la caída de presión entre el área de drenaje y el pozo. En este mismo sentido, con el índice de productividad se puede reflejar el potencial del pozo y la habilidad que éste tiene para producir. Se expresa generalmente como el volumen producido por unidad de tiempo, por psi de reducción de presión en la formación (bbl/d/psi).

$$J = \frac{Q_o}{P_{wf} - P_e}$$

Ecuación 5

Área de drenaje

Área o volumen del yacimiento drenados por el pozo. Los términos área de drenaje, área del yacimiento y volumen de drenaje se utilizan con frecuencia de manera indistinta incorrectamente. Cuando varios pozos drenan el mismo yacimiento, cada uno drena su propia área de drenaje, un subconjunto del área del yacimiento.

Área del pozo

Valor del radio del pozo que produce resultados equivalentes a los obtenidos utilizando un factor daño de cero. Es posible representar desviaciones del comportamiento ideal (factor de daño, $s=0$) mediante el uso del factor de daño s , como alternativa, cambiando el valor del radio efectivo del pozo. Para un factor de daño positivo, el radio efectivo del pozo es menor que el radio real del mismo. Para un factor de daño negativo, tal como el que se obtiene frecuentemente después de la estimulación del pozo, el radio efectivo del pozo es mayor que el radio real del pozo.

Fronteras del yacimiento

Tasa de flujo o los estados de presión asignados a las fronteras teóricas utilizados en el desarrollo y la solución de las ecuaciones diferenciales que se aplican a las pruebas del pozo y en la especificación de un modelo que coincida con los datos de presión transitoria. Las diferentes fronteras comunes que pueden existir y sus geometrías de flujo esperadas, considerando fallas sellantes son: Una falla, dos fallas paralelas, dos fallas intersectantes, tres fallas en forma de “U”, cuatro fallas formando una compartimentalización.

Longitud de fractura

La longitud de fractura es un parámetro de entrada muy importante que se utiliza para definir el límite mínimo de fractura a modelar de manera discreta y a partir del cual las fracturas serán modeladas de manera implícita en un modelo

paralelo llamado IFM (Implicit fracture model) en el que las fracturas que estén por debajo del umbral determinado no serán dibujadas de manera discreta, pero si serán tenidas en cuenta para los cálculos de propiedades de fractura.

Almacenamiento

Cuando la tasa de producción de un pozo es cambiada girando una válvula en superficie, se requiere un cierto tiempo para que el cambio de tasa sea transmitido a la formación. Cuando un pozo cerrado es puesto a producir a tasa constante, se requiere un tiempo finito para que la tasa a la cara de la arena incremente de cero hasta la tasa de superficie referida al fondo. Similarmente, cuando un pozo en producción cerrado en superficie, se requiere un tiempo finito para que la tasa a la cara de la arena disminuya desde la tasa previa hasta cero. Este fenómeno en el que el cambio de tasa a la cara de la arena se retrasa con respecto al cambio de tasa en superficie, se debe a la presencia en el pozo de un cierto volumen de fluidos compresibles que se encuentran presurizados.

Entonces se podría definir el almacenamiento como la capacidad del pozo de almacenar fluido por unidad de cambio de presión. Este efecto es un parámetro muy relevante en el comportamiento de la presión al comienzo del período transeúnte, cuya teoría asume que el cierre de un pozo en una prueba de restauración Build up ocurre en frente de la arena. Sin embargo, en la mayoría de las pruebas el pozo es cerrado en superficie causando que el volumen en el pozo afecte la temprana respuesta de la presión. Cuando el efecto de almacenamiento es significativo, éste debe ser considerado en los datos y análisis del período transeúnte.

Planilla de cálculo

Es una aplicación diseñada para manipular datos y números. Su desarrollo está basado en documentos bajo el concepto de hoja cuadriculada, estos a su vez pueden ser creados, editados y visualizados con distintos programas, los cuales permiten realizar operaciones matemáticas, estadísticas, financieras, crear tablas dinámicas, dibujar gráficos etc.

La unidad básica que constituye una planilla de cálculo es la celda, que es cada uno de los lugares donde se pueden ingresar datos. Cada celda tiene una

identificación, que está dada por la columna y fila donde se encuentra (como en una matriz). Es común en las planillas de cálculo que las columnas estén nombradas con letras y las filas, con números. De esta manera, al referirse a una celda se hace de la siguiente manera: A2, B4, C7, etc. En cada celda se pueden ingresar letras, por ejemplo, para el encabezado de una columna; números, por ejemplo, datos o mediciones de un experimento, o también fórmulas que involucren. La principal ventaja de una planilla de cálculo es que una vez establecidas las fórmulas, al cambiar los datos de entrada se logran ver inmediatamente las consecuencias del cambio en los resultados.

Tipos de yacimientos

Los yacimientos petrolíferos se dividen en trampas de tipo estructural o estratigráfico:

1. **Trampas estructurales:** son aquellas en las que los hidrocarburos se encuentran asociados a pliegues o fallas.
2. **Trampas estratigráficas:** por variación de la permeabilidad; Estas son diversas y dependen exclusivamente del carácter sedimentológico de las formaciones que las constituyen. Un cambio lateral de arena a lutita constituye una trampa estratigráfica.
3. **Trampas Combinadas:** existen trampas de carácter combinado estratigráfico y estructural cuya presencia es muy frecuente en los campos petroleros.

Yacimiento infinito o de Infinita Extensión

En estos yacimientos el pozo produce a tasa constante, la presión inicial es constante y uniforme en toda su extensión. El espesor es constante y radio externo es infinito.

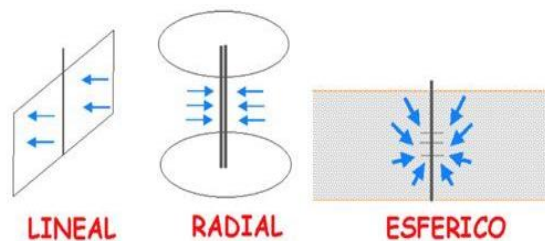
Yacimiento Limitado o Finito

Para el caso de yacimiento finito se pueden considerar dos situaciones básicas posibles asociadas con el límite externo: La primera, que no hay flujo a través mismo, es decir, límite de tasa cero (gradiente de presión igual a cero en el límite externo), y segunda, presión constante.

Regímenes de Flujo

- 1. Lineal.** La geometría de flujo lineal consta de vectores de flujo paralelos. El flujo lineal es identificado por una tendencia de línea recta de pendiente positiva de $\frac{1}{2}$ en el gráfico de la derivada y se presenta cuando el flujo es uniforme. Este régimen se presenta en pozos hidráulicamente fracturados, pozos horizontales y yacimientos alargados. Puesto que las líneas de corriente convergen a un plano, los parámetros asociados con el flujo lineal son la permeabilidad de la formación en la dirección de las líneas de flujo y el área de flujo normal a las líneas de corriente.
- 2. Radial.** El flujo radial es el régimen de flujo más importante en la interpretación de pruebas de presión. Este se reconoce por una extensión constante o tren plano en la derivada. La geometría de flujo radial se describe como líneas de corriente que convergen hacia un cilindro circular (pozo). En pozos completados en todo el intervalo perforado el cilindro puede representar la porción del pozo interceptando toda la formación. En formaciones parcialmente penetradas, el flujo radial puede estar restringido a tiempos tempranos a solo una sección del intervalo de la formación donde el flujo es dirigido hacia el pozo. Cuando el pozo esta estimulado o en pozos horizontales, el radio efectivo para el flujo radial podría ser alargado. Cuando quiera que exista el flujo radial se puede estimar los valores de permeabilidad y daño. Cuando el flujo radial toma tiempos tardíos, se puede estimar la presión del yacimiento en pruebas de restauración de presión.
- 3. Hemisférico.** El flujo esférico ocurre cuando las líneas de corriente convergen a un punto. En este las líneas de flujo son rectas y convergentes en tres dimensiones hacia un centro común. Dependiendo del tipo de configuración de la terminación de pozos, es posible tener un flujo esférico o semiesférico cerca de los pozos. Un pozo perforado en un pequeño intervalo podría resultar con este flujo en las cercanías de las perforaciones.

Figura 2. Tipos de Flujo según su geometría



Fuente: Bobadilla, G. (2012). Conceptos Basicos de Caracterizacion Dinamica de Yacimineto.

Pruebas de pozo

Las pruebas de pozo son una técnica usada durante años en la industria de los hidrocarburos para conocer parámetros importantes en la caracterización de los yacimientos tanto de petróleo como de gas, el análisis los datos obtenidos de pruebas de pozo son usados para tomar decisiones de inversiones en la industria. A menudo se usan pruebas de pozo para monitorear el desempeño y diagnosticar el comportamiento no esperado de algún pozo o reservorio. Las pruebas de pozo proveen información para establecer las características del reservorio, prediciendo el desempeño del mismo y diagnosticando el daño de formación.

Pruebas de presión de pozo

El análisis de la prueba de presión implica obtener un registro de la presión de fondo como función del tiempo debido a cambios en la tasa de flujo. Esta respuesta es función de las características del yacimiento de la historia de producción. En esencia, un análisis de pruebas de presión es un experimento de flujo de fluidos que se utiliza para determinar algunas características del yacimiento de manera indirecta. Así mismo, las pruebas constituyen la única manera de obtener información sobre el comportamiento dinámico del yacimiento. Además, es el único método más rápido y más barato para estimar variable dependiente del tiempo como el factor de daño y la permeabilidad en yacimientos sensibles al esfuerzo.

El período de comportamiento infinito ocurre después del fin del almacenamiento y antes de la influencia de los límites del yacimiento. Puesto que los límites no afectan los datos durante este período, el comportamiento de presión es idéntico al comportamiento de un yacimiento infinito. El flujo radial puede reconocerse por una estabilización aparente del valor de la derivada. El análisis de presiones puede utilizarse para determinar permeabilidad, daño, presión promedio, longitud media de una fractura hidráulica, dirección de una fractura, conductividad de la fractura, entre otros.

Pruebas de declinación de presión o Drawdown

Este tipo de pruebas también conocidas como pruebas de flujo, consiste en una serie de mediciones de la presión de fondo a medida que el pozo produce a tasa constante durante un tiempo determinado; el tiempo de prueba depende de los cálculos realizados en base a las propiedades que presente el pozo. Este tipo de pruebas es recomendable aplicar en pozo nuevos ya que lo primordial para el área de producción de una empresa operadora es conocer el aporte de fluido del pozo. Sin embargo, se puede aplicar en toda la vida productiva del pozo. Estas pruebas se efectúan con el fin de obtener:

1. Permeabilidad promedio en el área de drene del pozo
2. Volumen poroso del yacimiento
3. Determinar heterogeneidades (en el área de drene)

Lo que directamente se obtiene es:

- a) Transmisibilidad
- b) Volumen poroso por compresibilidad total

Proceso de una prueba de declinación de presión

1. Se cierra el pozo por un periodo de tiempo suficiente para alcanzar la estabilización en todo el yacimiento (sino hay estabilización probablemente se requiera una prueba multitasa).

2. Se baja la herramienta a un nivel inmediatamente encima de las perforaciones (Mínimo la herramienta debe tener dos sensores para efectos de control de calidad de los datos).
3. Abrir el pozo para producir a rata constante y registrar continuamente la P_{wf} .

La duración de una prueba de declinación puede ser unas pocas horas o varios días, dependiendo de los objetivos de la prueba y las características de la formación. Pruebas de declinación extensas o pruebas límite (reservoir limit test, RLT) se corren para delimitar el yacimiento o estimar el volumen de drenaje del pozo.

Otros objetivos son: Hallar k , s , WBS, ϕ , forma del yacimiento y tamaño del yacimiento. Idealmente, el pozo se cierra hasta que alcance la presión estática del yacimiento antes de la prueba. Este requisito se consigue en yacimientos nuevos, pero a menudo es difícil o impráctico de lograr en yacimientos.

Factores que complican la prueba de presión Drawdown

Uno de los factores que pueden afectar es que se debe mantener una tasa constante durante un largo periodo de tiempo, igualmente otros factores que afectan son el efecto de almacenamiento, el daño a la formación, la presión de fondo medida en condiciones pobres de funcionamiento. La forma de la curva también puede ser afectada por la interface roca-fluidos contacto agua-petróleo, y fluido lateral a heterogeneidades de la roca.

Métodos de análisis para pruebas de declinación de presión

Método de Horner

Se ha utilizado extensamente para analizar las pruebas de incremento de presión en pozos que producen a ~~gasto~~ **una tasa de flujo** constante. En el análisis del incremento de presión los pozos que presentan un comportamiento variable decreciente del gasto de tipo exponencial previamente al cierre, el método de Horner considera al último gasto de producción como el valor del gasto constante equivalente, es exacto para pruebas cortas en pozos.

Se establece que para flujo de estado no estable (transiente) se cumple la Ecuación de Horner, 1951.

Comentario [S7]: El termino gasto es propio de ing civil , deben referirse a tasa de flujo

$$P_{ws} = P_i - \frac{162.6Q_o\mu B}{Kh} \left[\log \frac{(t_p + \Delta t)}{\Delta t} \right]$$

Ecuación 6

Dónde:

P_{ws} = Presión de fondo durante la declinación de presión, lpc.

Δt = Tiempo (horas)

La Ecuación de Horner sugiere que la relación entre p_{ws} y $(t_p + \Delta t) / \Delta t$ es una línea recta en escala semi-log.

$$P_{ws} = a - m \log \left[\frac{(t_p + \Delta t)}{\Delta t} \right]$$

Ecuación 7

Dónde:

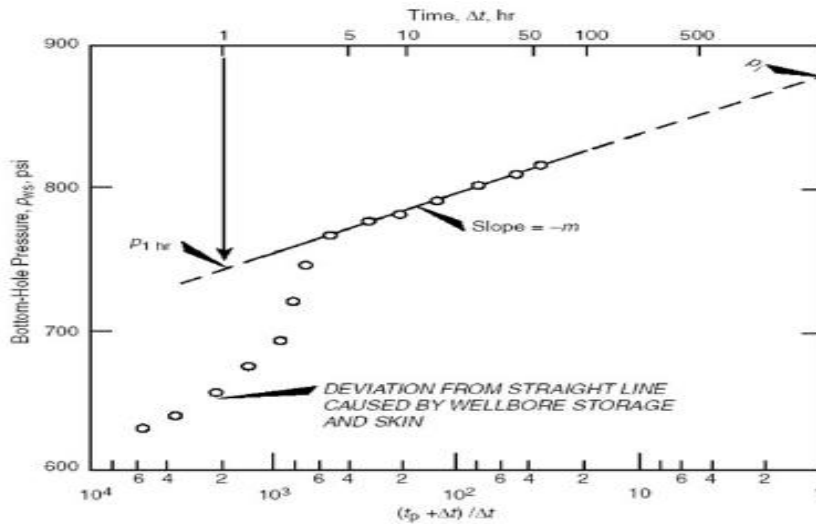
$$a = P_i \quad (\text{intersección})$$

Ecuación 8

$$m = \frac{162.6Q_o\mu B_o}{Kh} \quad (\text{Pendiente lpc/ciclo})$$

Ecuación 9

Gráfico 1. Análisis de una prueba de declinación de presión para el periodo transitorio por el método de Horner.



Fuente: Araujo et al. (2015). Análisis de Pruebas de Presión.

La presión inicial se puede estimar al extrapolar el tiempo de cierre Δt para valores muy grandes ($\Delta t \rightarrow$ infinito).

Para un Δt muy grande, la relación $[(tp + \Delta t) / \Delta t]$ tiende a 1.

Esta suposición solo es válida si el pozo es cerrado cuando el yacimiento posee poco tiempo de producción.

Curvas Tipo Gringarten

La Curva tipo de Gringarten et al., introducida en 1979, representa un paso muy importante dentro del análisis de pruebas de pozos. Presentaron una Curva tipo con indicación del final del efecto de llene, el comienzo de la línea recta semilog y cualitativamente, y cuantitativamente se podía obtener indicación sobre la condición del pozo. Gringarten desarrolló la Curva tipo para un pozo con efecto de llene y daño, produciendo a una tasa constante, donde la PD se graficó en función de TD/CD, con el parámetro CD. Caracterizando las diferentes curvas.

Comentario [S8]: Señalar que es PD, TD y CD

Método de curvas tipo

Una metodología complementaria de mucha importancia en la obtención de la información confiable del horizonte estudiado. Son representaciones gráficas. El método consiste en encontrar, dentro de una familia de curvas, la curva teórica que mejor coteje con la respuesta real que se obtiene durante la prueba de presión. Este cotejo se realiza en forma gráfica, superponiendo la data real con la curva teórica.

Estas soluciones gráficas se presentan en función de variables adimensionales (pD, tD, rD, CD).

Comentario [S9]: Explicar si pD es igual a PD??' revisar nomenclatura

Se basan en las siguientes ecuaciones:

$$\log(P_D) = \log(\Delta p) + \log\left(\frac{kh}{141.2QB\mu}\right)$$

Ecuación 10

$$\log\left(\frac{t_D}{r_D^2}\right) = \log\left(\frac{0.0002637k}{\phi\mu c_t r^2}\right) + \log(t)$$

Ecuación 11

A continuación, se definen expresiones y sus ecuaciones, de los grupos adimensionales más utilizados en las curvas tipo:

Tiempo Adimensional.

$$t_D = 0,000264 K \Delta t \phi \mu C_t r_w^2$$

$$P_D = K h \Delta p / 141,2 q \mu B$$

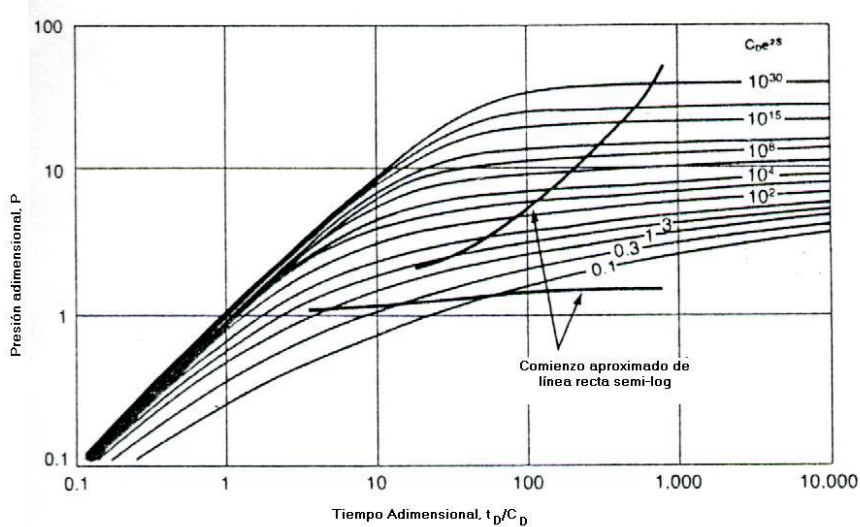
Radio Adimensional.

$$r_D = r_w$$

Constante de llenado Adimensional.

$$C_D = 0,8935 C \phi h C_t r_w$$

Gráfico 2. Curva tipo en semi-log para encontrar CD.



Fuente: Valencia, R. (2008). Análisis moderno de pruebas de presión. Pág. 14.

En esta grafica se puede describir el comportamiento de la presión en un pozo con efecto de almacenamiento y skin, durante el período de flujo transiente.

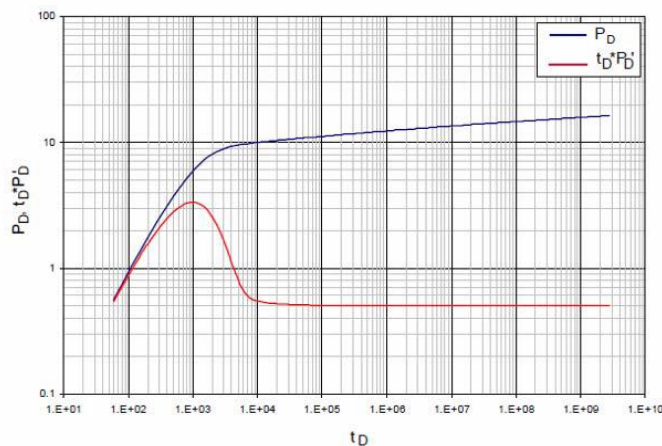
Método Log-Log o Derivada

El empleo de la derivada ha revolucionado los análisis de pruebas de pozos ya que empleando el gráfico de la derivada se puede analizar no sólo la variación de la presión con el tiempo, sino también cómo la derivada de la presión cambia con el tiempo. La derivada ayuda a identificar el modelo y el proceso de obtención de parámetros, ya que enfoca la respuesta de la presión. La derivada no añade información extra del yacimiento por sí misma, sino que ayuda a observar el verdadero comportamiento de la presión que se oculta en la curva de presión en función del tiempo, y es una especie de lente de aumento que revela tendencias características del reservorio.

Para poder obtener la derivada de la presión, primero se debe tener una precisa y frecuente medición de la presión con respecto el tiempo y segundo desarrollar una

metodología para calcular esa derivada. Existen diferentes curvas tipos las cuales son utilizadas para identificar y/o diagnosticar el modelo de yacimiento estudiado (homogéneo, doble porosidad, presencia de límites), mediante una prueba de presión diseñada y ejecutada adecuadamente. Cuando los datos reales cotejan adecuadamente con una curva tipo, se supone que el modelo del yacimiento es similar al utilizado para desarrollar dicha curva tipo. Sin embargo, este principio no es infalible, puesto que varios tipos de yacimientos pueden desarrollar una respuesta de presión con características similares.

Gráfico 3. Curvas Tipo en Log-Log.



Fuente: Humberto, F. (2003). Análisis moderno de presiones de pozos. Pág. 68.

Derivada de Presión Analítica para un Yacimiento Homogéneo e Infinito

Bourdet definió la Derivada de la Presión Adimensional como la derivada de p_D respecto a t_D/C_D .

Para la gráfica de $p_D'(t_D/C_D)$ vs. (t_D/C_D) en log-log, será una línea recta de pendiente $m=1$, durante el período dominado por almacenamiento. Por otro lado, durante el período transiente, para tiempos largos, se cumple que:

Con formato: Justificado

$$p_D = \frac{1}{2} \left[\ln \left(\frac{t_D}{C_D} \right) + 0.80907 + \ln(C_D e^{2s}) \right]$$

Ecuación 12

Derivando de nuevo con respecto a t_D/C_D

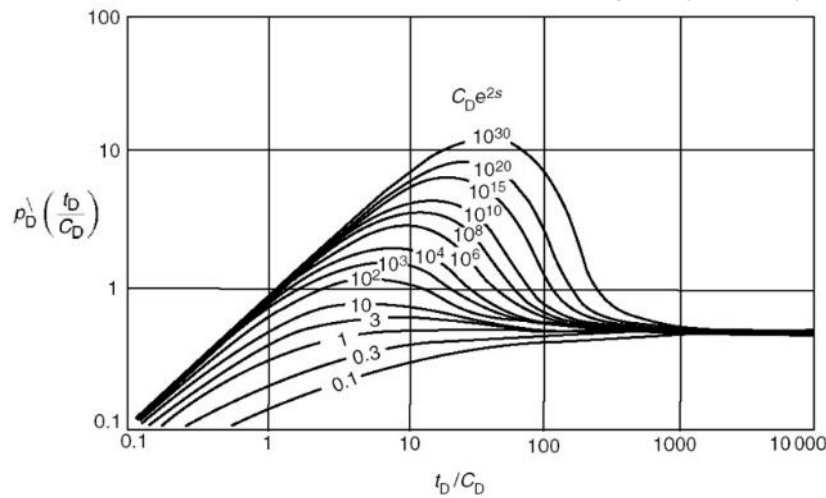
$$\frac{d(p_D)}{d(t_D/C_D)} = p_D' = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{(t_D/C_D)} \right]$$

Ecuación 13

$$p_D'(t_D/C_D) = \frac{1}{2}$$

Ecuación 14

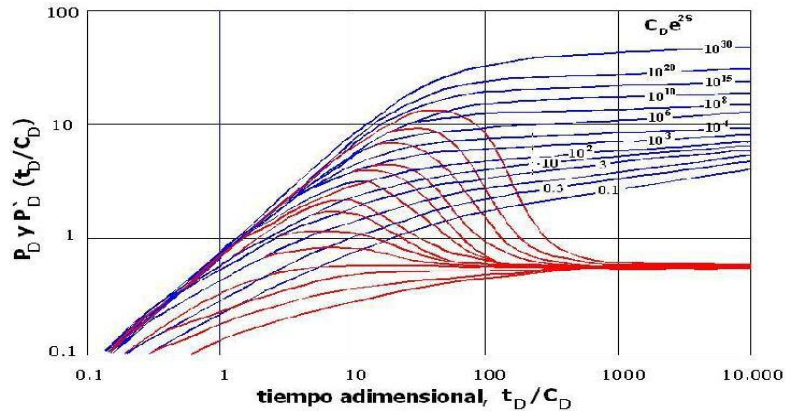
Gráfico 4. Curva de la Derivada de Presión Adimensional. $p_D'(t_D/C_D)$ vs (t_D/C_D) en log-log.



Fuente: Valencia, R. (2008). Análisis moderno de pruebas de presión. Pág. 21.

Será una línea recta horizontal de valor $p_D'(t_D/C_D) = 1/2$, durante el periodo transiente (radial infinito).

Gráfico 5. Curvas tipo (de Bourdet et. al. 1983)



Fuente: Valencia, R. (2008). Análisis moderno de pruebas de presión. Pág. 23.

Pasos a seguir según las formulas a utilizar

Calculo de la pendiente:

$$m = \frac{\Delta p_2 - \Delta p_1}{\log(t_2) - \log(t_1)}$$

Ecuación 15

Calculo de la permeabilidad:

$$K = 162.6 \frac{q\mu B}{mh}$$

Ecuación 16

Calculo del factor Skin:

$$S = 1.151 \left[\frac{P_i(1hr) - P_{wf}(\Delta t = 0)}{m} - \log \frac{k}{\phi\mu c_t r_w^2} + 3.23 \right]$$

Ecuación 17

Diferencial de presión:

$$\Delta p = 0.87ms$$

Ecuación 18

Eficiencia de flujo:

$$EF = \frac{P_i(1hr) - P_{wf}(\Delta p = 0) - \Delta p}{P_i(1hr) - P_{wf}(\Delta p = 0)}$$

Ecuación 19

SISTEMA DE VARIABLES

Variables independientes

Para Arias (2012:59), las variables independientes “son las causas que generan y explican los cambios en la variable dependiente”. En este sentido la variable independiente la integra la hoja de cálculo.

Con formato: Justificado

Variables dependientes.

Arias (2012:59), las variables dependientes “son aquellas que se modifican por acción de la variable independiente”. Por consiguiente, las variables dependientes son las técnicas de análisis de declinación de presión.

Con formato: Justificado

MAPA DE VARIABLES

Tabla 1. Mapa de Variables.

Objetivo General: Desarrollar una hoja de cálculo que permita evaluar parámetros de un yacimiento infinito de flujo radial a través de técnicas de análisis de pruebas de declinación de presión de forma automática.

Objetivos Específicos	Variable	Definición Operacional	Indicadores
1. Analizar los métodos más utilizados en la declinación de presión del yacimiento (Drawdown).	Prueba de Declinación de presión	Se refiere a la presión de fondo de un pozo medida luego de haber sido cerrado por un periodo tiempo hasta haber alcanzado una tasa de producción estable.	Tiempo Presión Pozo Tasa de producción
2. Definir los parámetros petrofísicos más importantes para la caracterización de un yacimiento.	Parámetros petrofísicos	Se refiere a las propiedades y cualidades de las rocas y los fluidos, que permiten describir un yacimiento, proporcionando un mejor entendimiento del yacimiento y de su comportamiento para un buen respaldo de su explotación.	Propiedades de las rocas y los fluidos Yacimiento Comportamiento dinámico
3. Establecer un algoritmo y planilla <u>planilla</u> de cálculo que permita obtener de una forma precisa los cálculos petrofísicos de un yacimiento.	Planilla de calculo	Es una herramienta diseñada para manipular datos y números, desarrollada en base a una hoja cuadriculada, utilizándose para la resolución de cálculos matemáticos o para presentar datos en tablas.	Aplicación Datos Tablas Formulas Sistema operativo Algoritmo

<p>4. Evaluar el funcionamiento y la eficacia del algoritmo y parilla <u>planilla</u> de cálculo que permitan calcular los parámetros petrofísicos del yacimiento.</p>	<p>Eficacia</p>	<p>Capacidad de lograr el efecto que se desea o se espera.</p>	<p>Resultados obtenidos Resultados previstos</p>
---	-----------------	--	--

Fuente: Arevalo L & Paiva Y (2022)

NORMATIVA Y ASPECTOS LEGALES

La presente investigación se basa en los siguientes documentos:

Constitución de la República Bolivariana de Venezuela

Artículo 102. “La educación es un derecho humano y un deber social fundamental, es democrática, gratuita y obligatoria. El estado lo asumirá como función indeclinable y de máximo interés en todos sus niveles y modalidades, y como instrumento del conocimiento científico, humanístico y tecnológico al servicio de la sociedad. Su finalidad es desarrollar el potencial creativo de cada ser humano”.

Art. 108. “El Estado garantizará servicios públicos de radio, televisión y redes de bibliotecas y de informática, con el fin de permitir el acceso universal a la información. Los centros educativos deben incorporar el conocimiento y aplicación de las nuevas tecnologías, de sus innovaciones, según los requisitos que establezca la Constitución”.

Art. 110. “El Estado reconocerá el interés público de la ciencia, la tecnología, el conocimiento, la innovación y sus aplicaciones y los servicios de información necesarios por ser instrumentos fundamentales para el desarrollo económico, social y político del país, así como para la seguridad y soberanía nacional. Para el fomento y desarrollo de esas actividades, el Estado destinará recursos suficientes y creará el sistema nacional de ciencia y tecnología de acuerdo con la ley. El sector privado deberá aportar recursos para los mismos. El Estado garantizará el cumplimiento de los principios éticos y legales que deben regir las actividades de investigación científica, humanística y tecnológica. La ley determinará los modos y medios para dar cumplimiento a esta garantía”.

Como puede observarse, el estado venezolano en su preocupación por estar al ritmo de los avances que se suscitan continuamente en la sociedad de la información y el conocimiento, al mismo tiempo consciente que debe responder a su propia especificidad histórica cultural y los espacios geográficos que la rodean en las dimensiones ética, política, cultural y económica, garantiza como un derecho el acceso a todos los servicios informáticos, telemáticos y educativos a todos los

ciudadanos, con el fin de promover cambios en el uso de las nuevas tecnologías, permitiendo una mejora en el desarrollo de la formación de los estudiantes, y futuros profesionales de la nación.

Ley orgánica de ciencia, tecnología e innovación

Art. 1. “Este artículo tiene como objeto desarrollar los principios orientadores que en materia de ciencia, tecnología e innovación y sus aplicaciones establece la constitución de la República Bolivariana de Venezuela , organizar sistema nacional de ciencia, tecnología e innovación definir los lineamientos que orientaran las política y estrategias para la actividad científica, tecnológica de innovación y sus aplicaciones, a fin de fomentar la capacidad para la generación uso y circulación de conocimiento”.

Así mismo el presente artículo apoya todo avance en materia de educación, que permita el progreso de las industrias tanto en tecnología como en la optimización de sus procesos, para el cumplimiento de todas las metas planteadas de manera eficiente.

Ley de hidrocarburos

Art. 5. “Las actividades reguladas por esta Ley estarán dirigidas a fomentar el desarrollo integral, orgánico y sostenido del país, atendiendo al uso racional del recurso y a la preservación del ambiente. A tal fin se promoverá el fortalecimiento del sector productivo nacional y la transformación en el país de materias primas provenientes de los hidrocarburos, así como la incorporación de tecnologías avanzadas. Los ingresos que en razón de los hidrocarburos reciba la Nación propenderán a financiar la salud, la educación, la formación de fondos de estabilización macroeconómica y a la inversión productiva, de manera que se logre una apropiada vinculación del petróleo con la economía nacional, todo ello en función del bienestar del pueblo”.

Art. 9. “Las actividades relativas a la exploración en busca de yacimientos de los hidrocarburos comprendidos en esta Ley, a la extracción de ellos en estado

natural, a su recolección, transporte y almacenamiento iniciales, se denominan actividades primarias a los efectos de esta Ley. De conformidad con lo previsto en el artículo 302 de la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela, las actividades primarias indicadas, así como las relativas a las obras que su manejo requiera, quedan reservadas al Estado en los términos establecidos en esta Ley”.

Art. 19. “Las personas que realicen las actividades a las cuales se refiere esta Ley, deberán hacerlo en forma continua y eficiente, conforme a las normas aplicables y a las mejores prácticas científicas y técnicas disponibles sobre seguridad e higiene, protección ambiental y aprovechamiento y uso racional de los hidrocarburos, la conservación de la energía de los mismos y el máximo recobro final de los yacimientos”.

Art. 26. “Las empresas operadoras podrán establecer o contribuir al mantenimiento de institutos de experimentación, investigación, desarrollo tecnológico y universidades, que sirvan de soporte técnico a sus operaciones, así como crear y mantener centros de entrenamiento de personal vinculado a las actividades contempladas en esta Ley, debidamente armonizados con el funcionamiento y desarrollo de otros centros e institutos que con similares propósitos existan en el país”.

En el mismo orden de ideas, la ley de hidrocarburos, apoya y garantiza el avance de los estudios de los yacimientos de petróleo y su comportamiento, así como el desarrollo de las nuevas prácticas tecnológicas que permitan un aumento en la producción y la optimización de los procesos, de igual forma promueve la buena educación de los estudiantes que puedan en un futuro trabajar de manera eficiente y al mismo tiempo, logrando un balance en la preservación del medio ambiente.

Ley del Plan de la Patria 2019-2025

Objetivo 1.2.4. “Promover y estimular la investigación científica y el desarrollo tecnológico, con el propósito de asegurar las operaciones medulares de la actividad productiva de hidrocarburos”.

Objetivo 1.6.3. “Impulsar el desarrollo y uso de equipos electrónicos y aplicaciones informáticas basados en tecnologías libres y estándares abiertos”.

En este sentido, la presente ley apoya el crecimiento, innovación y creación de nuevas prácticas tecnológicas, en cuanto a los estudios de hidrocarburos. así también impulsa a todos los estudiantes e investigadores a que usen las herramientas tecnológicas e informáticas necesarias para el cumplimiento de todas sus investigaciones, ya que, de esa manera contribuirían al mejoramiento del ámbito científico y petrolero de la nación.

CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO

TIPO DE INVESTIGACIÓN

Esta investigación se enmarca en el tipo cuantitativo, de acuerdo con esto, Palella y Martins (2004), predetermina el “uso de instrumentos de medición y comparación, que proporcionan datos cuyo estudio necesita la aplicación de modelos matemáticos y estadísticos”. Con relación a los objetivos planteados, el estudio se ajustó en este enfoque, ya que teniendo en cuenta que las variables que abordan el tema en estudio son medibles y, por lo tanto, analizables con estadística descriptiva.

No obstante, con el fin de alcanzar los objetivos planteados, aunado al tipo de investigación, este trabajo es del tipo descriptivo, según Arias (2004), los estudios tipo descriptivo, son aquellos “que permiten obtener minuciosos datos sobre los fenómenos que se investigan, usando técnicas e instrumentos predeterminados para ofrecer una visión aproximada de la realidad”. Así mismo, la investigación descriptiva, es aquella que consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento.

En el caso del presente estudio, lo anterior se puede observar, ya que el mismo se basó en la descripción de las características de un grupo de variables independientes tales como la permeabilidad, presiones del yacimiento, daño, almacenamiento, entre otros; permitiendo observar el comportamiento de una variable con respecto a los cambios que sufre la otra.

METODOLOGÍA

La presente investigación coincide con las características del modelo de proyecto factible, donde se propone la implementación de una herramienta informática, que permita obtener parámetros de un yacimiento por medio de pruebas de declinación de presión. Teniendo esta perspectiva, un proyecto factible según Arias (2006), "se trata de una propuesta de acción para resolver un problema práctico

o satisfacer una necesidad. Es indispensable que dicha propuesta se acompañe de una investigación, que demuestre su factibilidad o posibilidad de realización” (p.134).

Con respecto a lo anterior, un proyecto factible es aquel que consiste en un conjunto de actividades vinculadas entre sí, con la finalidad de resolver problemas básicos sustentado en una investigación que manifieste su factibilidad, a fin de atender la necesidad que pueda tener una institución o grupo social. De igual forma este trabajo pretende resolver un problema o necesidad a corto plazo, sustentado en una investigación que afirme su factibilidad.

DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Según Arnau (1995), define el diseño de investigación como “un plan estructurado de acción que, en función de unos objetivos básicos, está orientado a la obtención de información o datos relevantes a los problemas planteados” (p. 27).

En este sentido, la investigación se orientó en un diseño documental, donde para Arias (1999), “la investigación documental es una modalidad de investigación científica que se propone responder interrogantes mediante la búsqueda y el análisis de todo tipo de material informativo”.

En base a esto, se llevó a cabo una amplia revisión bibliográfica, en donde se pudo obtener información por medio de libros, trabajos de grado, tesis, publicaciones técnicas, documentos multimedia publicados en la red, entre otros. con el fin de determinar tanto las bases teóricas como los análisis posteriores de la investigación.

Igualmente, el diseño se torna no experimental ya que no se tiene un control total de las variables independientes y de igual manera no se construye una situación en específica si no que se observa las que existen. Según Palella y Martins (2010), “El diseño no experimental es el que se realiza sin manipular en forma deliberada ninguna variable. —El investigador no sustituye intencionalmente las variables independientes. Se observan los hechos tal y como se presentan en su contexto real y en un tiempo determinado o no, para luego analizarlos” (p.87).

POBLACIÓN Y MUESTRA

La población son aquellos individuos o elementos en los que se desea estudiar un fenómeno. Para Arias (2012: 81), la población es el “Conjunto finito o infinito de elementos con características comunes, para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación. Está queda limitada por el problema y por los objetivos del estudio”. En tal sentido, la población objeto de estudio, quedo conformada por tres profesores que imparten la materia de yacimiento, e ingeniería de gas en la UNELLEZ

La muestra forma parte de la población, es por ello que para Arias (2012: 83), “La muestra es un subconjunto representativo y finito que se extrae de la población accesible”. En esta investigación, debido a que la población es pequeña, se tomó como unidad de estudio e indagación la misma población.

TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Para Arias (1999), “las técnicas de recolección de datos son las distintas formas de obtener información”. Por su parte Palella y Martins, (2017), definen los instrumentos de recolección de datos como “cualquier recurso del cual pueda valerse el investigador para acercarse a los fenómenos y extraer de ellos información”.

Objetivo específico nro. 1. Analizar los métodos más utilizados en la declinación de presión del yacimiento (Drawdown test).

Revisión bibliográfica

Según Hart (1998), la revisión bibliográfica se define como “la selección de los documentos disponibles sobre el tema, que contienen información, ideas, datos y evidencias por escrito sobre un punto de vista en particular para cumplir ciertos objetivos o expresar determinadas opiniones sobre la naturaleza del tema y la forma en que se va a investigar, así como la evaluación eficaz de estos documentos en relación con la investigación que se propone”.

Así mismo para llevar a cabo esta etapa se hizo una búsqueda y recolección de información relacionada con las pruebas de presión, enfocándonos aún más en la

información acerca de las pruebas de declinación de presión y en los diferentes métodos usados por diversos autores. Para el cumplimiento de la investigación, se revisaron en su mayoría trabajos de grados, tesis, libros, manuales técnicos, y revistas científicas.

Comentario [S10]: Cual es el texto más utilizado en este trabajo de grado??

Observación

Es un procedimiento empírico por excelencia, el más primitivo y al mismo tiempo uno de los más usados. A través de este método se establece una relación concreta e intensiva entre el investigador y el hecho social o los actores sociales, a través de los cuales se obtienen datos que luego se sintetizan para desarrollar la investigación.

Al respecto Arias (2012: 69), “La observación consiste en visualizar o captar mediante la vista, en forma sistemática, cualquier hecho, fenómeno o situación que se produzca en la naturaleza o en la sociedad, en función de unos objetivos de investigación preestablecidos”. Esta técnica se implementó al evaluar cada una de las distintas pruebas de presión, para así lograr la selección de las más significativas y poder desarrollarlas. Esto se hizo con la ayuda de la revisión bibliográfica donde se pudo observar el funcionamiento de las pruebas de declinación de presión aplicadas a diferentes escenarios.

Van Dalen y Meyer (1981), consideran que “la observación juega un papel muy importante en toda investigación porque le proporciona uno de sus elementos fundamentales; los hechos”.

Objetivo específico nro. 2. Definir los parámetros petrofísicos más importantes para la caracterización de un yacimiento.

Revisión documental

De acuerdo a Jiménez y Carrera (2002), la señalan como Observación documental refiriéndose a “la utilización de los documentos para obtener datos y/o para analizarlos como objeto de estudio, pudiéndose decir, que existen dos tipos de documentos, aquellos que muestran los datos y los que en sí mismos son vistos como hechos” (p. 37).

En este sentido, se utilizó una variedad de libros, trabajos de grados, tesis, y fuentes multimedia, para obtener la información pertinente a los parámetros petrofísicos del yacimiento, y poder seleccionar los más adecuados, para su evaluación.

Observación directa

Para Sierra y Bravo (1984), la observación consiste en “la inspección y estudio realizado por el investigador, mediante el empleo de sus propios sentidos, con o sin ayuda de aparatos técnicos, de las cosas o hechos de interés social, tal como son o tienen lugar espontáneamente”.

En relación con eso, a través de la información obtenida en la revisión documental se pudo realizar un análisis para lograr determinar los parámetros del yacimiento más importantes dentro de las pruebas de declinación de presión.

Objetivo específico nro. 3. Establecer un algoritmo y planilla de cálculo que permita obtener de una forma precisa los cálculos petrofísicos de un yacimiento.

Diseño del programa en Excel

El programa para el cálculo de los parámetros del yacimiento consta de las siguientes características:

Página de Métodos: esta sección representa la página principal del programa, en donde en la parte central se encuentran ubicadas las tablas de datos de pruebas de presión, y datos del yacimiento. A su vez, los datos serán ingresados con la ayuda de los botones correspondientes para cada tabla, ubicados en el extremo derecho de la página.

Página de gráficas: dentro de esta hoja se encuentran ubicadas las gráficas correspondientes a los métodos de Horner, Gringarten y Bourdet. Así mismo, por el lado derecho de cada gráfica están ubicadas unas tablas de datos que se deben llenar de acuerdo a la información que se puede extraer de los gráficos tales como la pendiente, P_{1hr} , los puntos de ajuste, etc. De igual forma, debajo de cada tabla de datos están ubicados los botones necesarios para acceder a los resultados de los

parámetros de cada método. Y en su extremo inferior derecho se encuentra ubicado el botón para comparar los resultados de cada método.

Página Horner: la obtención de los parámetros del yacimiento (K , S , ΔP_{sKin} , EF , DF , Q_{ideal}) por el método de Horner están ubicados en esta página, en donde se reflejan de manera automática.

Página Gringarten: en esta sección se reflejan, por el método de Gringarten, los parámetros del yacimiento (PD , K , C , S) de forma automática.

Página Bourdet: esta página, está diseñada para lograr observar los resultados de los parámetros del yacimiento (K , C , S) automáticamente.

Página comparación: el diseño de esta página está basado en un cuadro comparativo que permite reflejar los resultados obtenidos de los parámetros del yacimiento por cada método de análisis.

Funcionamiento de botones:

Figura 3. Ingresar datos del yacimiento



Fuente: Arevalo & Paiva (2022)

Permite abrir una ventana, para ingresar los datos necesarios del pozo y del yacimiento.

Figura 4. Ingresar Datos de Presión



Fuente: Arevalo & Paiva (2022)

Se utiliza para abrir una ventana donde se pueden ingresar los datos obtenidos de las pruebas de presiones.

Figura 5. Reflejar Graficas



Fuente: Arevalo & Paiva (2022)

Este botón permite abrir la página de gráficas.

Figura 6. Resultados Por Horner



Fuente: Arevalo & Paiva (2022)

Permite al usuario abrir la página de Horner.

Figura 7. Resultados Por Gringarten



Fuente: Arevalo & Paiva (2022)

Permite abrir la página de Gringarten.

Figura 8. Resultados Por Bourdet



Fuente: Arevalo & Paiva (2022)

Al accionar este botón permite abrir la página de Bourdet.

Figura 9. Ver Resultados



Fuente: Arevalo & Paiva (2022)

Este botón dirige al usuario a la página de comparación, donde se puede observar los valores de los parámetros obtenidos en el método de Horner, Gringarten y la Derivada de Bourdet.

Figura 10. Limpiar



Fuente: Arevalo & Paiva (2022)

Al oprimir este botón se eliminan todos los valores obtenidos en la página correspondiente.

Figura 11. Gráficas



Fuente: Arevalo & Paiva (2022)

Su accionamiento permite regresar a la página de gráficas.

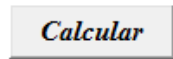
Figura 12. Inicio



Fuente: Arevalo & Paiva (2022)

Este botón envía al usuario a la página principal métodos.

Figura 13. Calcular



Fuente: Arevalo & Paiva (2022)

El uso de este boton es para calcular el diferencial de presión

Figura 14. Insertar



Fuente: Arevalo & Paiva (2022)

Se utiliza para insertar los datos del yacimiento y de las pruebas de presión dentro de las tablas de datos.

Figura 15. Limpiar



Fuente: Arevalo & Paiva (2022)

Permite borrar todos los datos ingresados en la ventanas de datos del yacimiento y de pruebas de presión.

Objetivo nro. 4. Evaluar el funcionamiento y la eficacia del algoritmo y planilla de cálculo que permitan calcular los parámetros petrofísicos del yacimiento.

Aplicación del software Excel para el análisis de pruebas de declinación

Una vez designados los métodos de análisis de las pruebas de declinación de presión, se procede al desarrollo de cada uno de los métodos seleccionados, con la ayuda de la plataforma Excel. En este programa se diseñó un algoritmo que permite calcular estimaciones de los parámetros petrofísicos de un yacimiento tales como: permeabilidad, daño, almacenamiento, eficiencia de flujo, etc.

Los cálculos de los parámetros serán realizados por tres métodos: el método de Horner que es uno de los más utilizados en la actualidad, el método de curvas tipo de Gringarten y el método de la derivada de Bourdet que también son métodos muy representativos.

Así mismo, se tomará como ejemplo un modelo matemático del libro de Análisis moderno de presiones de pozos, 2003, capítulo 2, p.123, de pruebas de declinación de presión para la ejecución de cada uno de los métodos, ya que de esa manera se comprobará su funcionamiento y la eficacia al desarrollar cada uno de los cálculos de los parámetros planteados. Para el modelo matemático se necesitará como base los datos de campo, así como los datos arrojados por las pruebas de presiones que se hayan aplicado al pozo, permitiendo así la construcción de cada uno de los gráficos, y poder sustituir los resultados en las ecuaciones concernientes a cada método.

Ejecución del programa en la herramienta Excel

Para la ejecución del programa se utilizó el siguiente problema, donde se suministran los datos necesarios arrojados por una prueba de presión.

Comentario [S11]: de donde sale este problema –señalar la fuente o el libro

Tabla 2. Datos del yacimiento y del pozo

Datos del yacimiento y del pozo
$P_i (\Delta t=0) = 2733$ lpc
$h = 16$ pies
$\phi = 18\%$
$r_w = 0.266$ pies
$C_t = 26.4 \times 10^{-5}$ psi-1
$\mu = 1.2$ cps
$B = 1.229$ bbl/BF
$q = 250$ BPD

Fuente: Escobar, H. (2003). Análisis moderno de presiones de pozos. p.123.

Tabla 3. Datos de prueba de presión

P, lpc	T	Δp	$t^* \Delta p'$
2733	0	0	
2703	0,1	30	31,05
2672	0,2	61	58,95
2644	0,3	89	84,14
2616	0,4	117	106,3
2553	0,65	180	129,7
2500	1	233	135,15
2440	1,5	293	151,9
2398	2	335	127,26
2353	3	380	102,1
2329	4	404	81,44
2312	5	421	65,42
2293	7	440	35,32
2291	9,6	442	5,86
2290	12	443	5,85
2287	16,8	446	7,63
2282	33,6	451	7,99
2279	50	454	7,94
2276	72	457	10,5
2274	85	459	12,18
2272	100	461	13,36

Fuente: Escobar, H. (2003). Análisis moderno de presiones de pozos. p.123

Paso 1.

En este paso se ingresan los datos de las pruebas de presión y del yacimiento, para ello, se debe oprimir los botones correspondientes a cada tabla de datos.

Figura 16. Ventana de ingreso de datos del yacimiento

The screenshot shows a window titled "Datos_Yacimiento" with a close button (X) in the top right corner. The window contains eight input fields arranged in two columns. The left column contains fields for Q , \emptyset , μ , and Ct . The right column contains fields for rw , h , Bo , and Pi . Below the input fields are two buttons: "Insertar" and "Limpiar".

Fuente: Arevalo & Paiva

Figura 17. Ventana de ingreso de datos de pruebas de presión.

The screenshot shows a window titled "Datos_Presión" with a close button (X) in the top right corner. The window contains four input fields labeled "Presión", "Tiempo", "t*P'", and "DP". Below the input fields are three buttons: "Calcular", "Insertar", and "Limpiar".

Fuente: Arevalo & Paiva

Figura 18. Página principal Métodos.

Cálculo de parámetros de un yacimiento de flujo radial infinito utilizando técnicas de análisis de pruebas de declinación de presión por medio la herramienta Excel

Datos de la prueba de presión			
P, lpc	t	Δp	$t^* \Delta p'$
2733	0	0	
2703	0,1	30	31,05
2672	0,2	61	58,95
2644	0,3	89	84,14
2616	0,4	117	106,3
2553	0,65	180	129,7
2500	1	233	135,15
2440	1,5	293	151,9

Datos del yacimiento y el pozo		
q	250	BPD
ϕ	0,18	
μ	1,2	cp
Ct	2,64E-04	psi ⁻¹
rw	0,266	ft
h	16	ft
B	1,229	BN/D
Pi ($\Delta r=0$)	2733	psi

1. Ingresar Datos del Yacimiento

2. Ingresar Datos de Presión

3. Reflejar Graficas

Limpiar

Fuente: Arevalo & Paiva

Paso 2.

Una vez ingresados todos los datos necesarios se proceden a reflejar todas las gráficas de cada método de análisis.

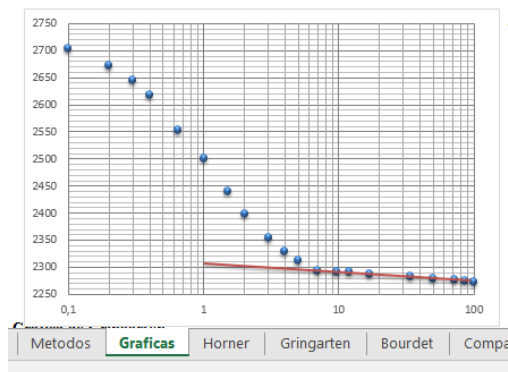
Paso 3.

A partir de las gráficas se calculan las pendientes y se obtienen los puntos de ajuste.

Paso 4.

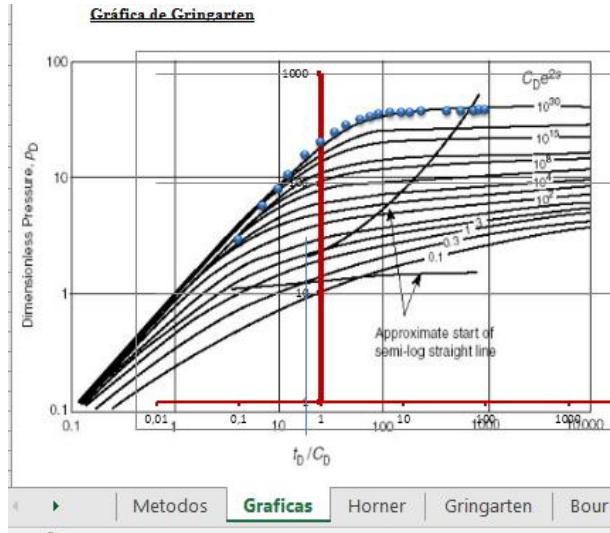
Se exponen los resultados de cada método de análisis, para luego interpretarlos y obtener sus debidas conclusiones.

Gráfico 6. Gráfica de Horner



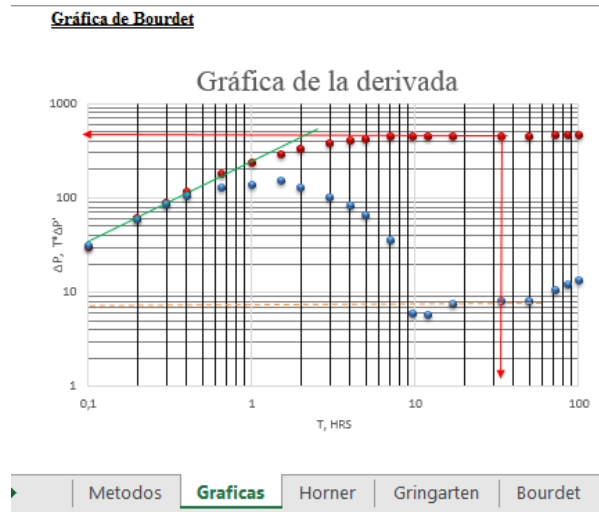
Fuente: Arevalo & Paiva

Gráfico 7. Gráfica de Gringarten



Fuente: Arevalo & Paiva

Gráfico 8. Gráfica de la derivada de Bourdet.



Fuente: Arevalo & Paiva

CAPITULO IV

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Objetivo específico 1. Analizar los métodos más utilizados en la declinación de presión del yacimiento (Drawdown test).

Como se ha expuesto en el marco teórico, las pruebas de presiones son de gran importancia dentro de la industria petrolera, ya que a través de ella se puede obtener valiosa información acerca del pozo y del yacimiento. Dentro de los tipos de pruebas de presión, destacan las pruebas de formación, pruebas de declinación de presión Drawdown, pruebas de restauración de presión, y las pruebas multitasas. Sin embargo, una de las pruebas más implementadas son las pruebas Drawdown, ya que, por medio de estas pruebas se puede describir el comportamiento de un yacimiento, conocer los límites del yacimiento, y obtener distintos parámetros petrofísicos del mismo.

Según la revisión bibliográfica, los métodos de análisis de las pruebas Drawdown más significativos se encuentran el método de Horner, que consiste en un análisis de gráfica semilogarítmica, donde principalmente se debe encontrar el valor de la pendiente dentro de la gráfica, y posteriormente sustituirlo en las formulas consecuentes para poder determinar cada parámetro del yacimiento.

El método de las curvas tipo de Gringarten consiste en un análisis de gráfico log-log, en el cual se debe encontrar la curva tipo indicada, para así poder evaluar distintos parámetros del yacimiento. Y Finalmente, otro método de análisis muy importante es el de la derivada de Bourdet, este método se basa en el comportamiento de la derivada de presión en función del tiempo. Analizándola por medio de graficas logarítmicas se puede conocer el comportamiento de un yacimiento, así como sus límites y el tipo de flujo que pueda estar presente.

Objetivo específico 2. Definir los parámetros petrofísicos más importantes para la caracterización de un yacimiento.

De acuerdo a la información recabada en la observación documental, se pudo definir como parámetros simples en la descripción de un yacimiento, la porosidad, presiones, tiempo, viscosidad, tasa de producción, espesor, radio del pozo, factor volumétrico, y compresibilidad. A su vez, las uniones de dos o más parámetros simples permiten crear los parámetros compuestos.

Los parámetros compuestos establecidos en esta investigación son: la pendiente, permeabilidad, efecto daño de la formación, almacenamiento, caudal ideal, y eficiencia de flujo. Todos estos parámetros en conjunto permiten la caracterización de un yacimiento.

Objetivo específico 3. Diseñar un algoritmo y planilla de cálculo que permita obtener de una forma precisa los cálculos petrofísicos de un yacimiento.

Para lograr el desarrollo del programa en Excel, se implementaron la mayoría de las funciones de esta herramienta, destacando entre ellas la opción de Visual Basic Excel (VBA). A partir de esta función, se establecieron los algoritmos necesarios para poder ejecutar cada una de las formulas, y procedimientos para el cálculo de cada uno de los parámetros petrofísicos seleccionados. Conjuntamente a VBA se utilizó la opción de las Macros, a través de ella se pudo grabar el funcionamiento de cada botón indicativo, de manera que al presionarlo pudiese cumplir con la acción que se le ha asignado.

Otras opciones tomadas en cuenta fue el uso de formularios, por medio de estas funciones, se crearon las pestañas que permitían el ingreso de datos del pozo y de pruebas de presión. Aunando a las opciones principales anteriores, se utilizaron los diferentes métodos de diseño de página para poder crear las tablas de datos, tabla de resultados, y la creación de las gráficas, al igual que el uso correcto de los colores implementados, para así poder darle un aspecto más personalizado.

Objetivo específico 4. Evaluar el funcionamiento y la eficacia del algoritmo y planilla de cálculo que permitan calcular los parámetros petrofísicos del yacimiento.

Al ejecutar el programa y generar las gráficas del método de Horner, Gringarten y la derivada de Bourdet, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 4. Datos obtenidos del gráfico de Horner.

ΔP_2	2272
ΔP_{1hr}	2308
$\log(t_2)$	100
$\log(t_{1hr})$	1
P_{1hr}	2308

$m=$	18
------	----

Fuente: Arevalo & Paiva

Tabla 5. Datos obtenidos del gráfico de Gringarten.

Δt	0,8
tD/CD	20
$CD e^{2s}$	1,00E+30
ΔP	100

Fuente: Arevalo & Paiva

Tabla 6. Datos obtenidos del gráfico de Bourdet.

ΔP_r	451
t_r	33,6
t_N	0,2
Δp_N	58,95
$(t^* \Delta p')_r$	7,8
m	18

Fuente: Arevalo & Paiva

Los datos obtenidos en la tabla 3, tabla 4, y tabla 5, fueron utilizados para sustituirlos en las formulas correspondientes de cada parámetro del yacimiento escogido.

Tabla 7. Resultados por método de Horner.

CALCULO	FORMULA
PERMEABILIDAD	$k = 162.6 \frac{q_{iB}}{mh}$ $K = 208.16 \text{ md}$
FACTOR DE DAÑO	$s = 1.151 \left[\frac{P_{ws}(1 \text{ hora}) - P_{ws}(\Delta t = 0)}{m} - \log \frac{k}{\phi \mu C_{tr} r_w^2} + 3.23 \right]$ $S = 22.112$
VARIACION DE PRESION CON EL DAÑO INCLUIDO	$\Delta P_{sKin} = 0.87 * m * S$ $\Delta P_{sKin} = 344.79$

Graficas **Horner** Gringarten Bourdet Comparación

Fuente: Arevalo & Paiva

Tabla 8. Resultados por método de Horner.

EFICIENCIA DE FLUJO	$EF = 1 - \Delta P_{sKin} / \Delta P$ $EF = 0.8482$
DEFICIENCIA DE FLUJO	$DF = 1 - EF$ $DF = 0.1518$
TASA IDEAL	$Q_{ideal} = \frac{Q}{EF}$ $Q_{ideal} = 294.73$

Graficas **Horner** Gringarten Bourdet Comparación (+)

Fuente: Arevalo & Paiva

Comentario [S12]: señalar unidades en la tasa ideal

Tabla 9. Resultados por el método de Gringarten.

CALCULO	FORMULA
PRESION ADIMENSIONAL	$P_D = \frac{kh}{141.2 qB A'} \Delta P$ $P_D = 6.337545$
PERMEABILIDAD	$K = 141.2 \frac{q\mu B}{h} \left(\frac{P_D}{\Delta P} \right)_M$ $K = 208.162 \text{ md}$
CONSTANTE DE ALMACENAMIENTO	$C = 0.000295 \frac{kh}{\mu} \left(\frac{\Delta t}{t_D / C_D} \right)_M$ $C = 0.0328 \text{ BY/Lpc}$
FACTOR DE DAÑO	$s = \frac{1}{2} \ln \left[\frac{\phi h C_v t_w^2 C_D e^{2s}}{0.8936 C} \right]$ $s = 31.3832343$

Graficas | Horner | **Gringarten** | Bourdet | Comparación

Comentario [S13]: corregir error ortográfico : ADIMENSIONAL

Fuente: Arevalo & Paiva

Tabla 10. Resultados por el método de Bourdet.

CALCULO	FORMULA
PERMEABILIDAD	$k = \frac{70.6 q \mu B}{h (t^* \Delta P^*)_r}$ $k = 208.58 \text{ md}$
FACTOR DE DAÑO	$s = 0.5 \left[\frac{\Delta P_r}{(t^* \Delta P^*)_r} - \ln \left(\frac{k t_r}{\phi \mu c_v r_w^2} \right) + 7.43 \right]$ $s = 21.89$
CONSTANTE DE ALMACENAMIENT	$C = \frac{qB}{24 (P_i - P_{wf})_r} \frac{t_r}{\mu}$ $C = 0.0434 \text{ BY/Lpc}$

Graficas | Horner | Gringarten | **Bourdet** | Comparació

Fuente: Arevalo & Paiva

Tabla 11. Comparación de resultados de los métodos de análisis.

<u>Comparacion de los resultados</u>				<u>Condición del pozo según S</u>
Parametros	Horner	Gringarten	Bourdet	
K	208.16	<u>208.162</u>	<u>208.58</u>	DAÑADO
S	22.02	<u>31.38929428</u>	<u>21.99</u>	ESTIMULADO
ΔPs_{kin}	344,7853			NO DAÑADO
EF	<u>0.252093</u>			
DF	<u>0.747907</u>			
Q_{ideal}	<u>991.6987</u>			
PD		<u>6.397545</u>		
C		<u>0.0328</u>	<u>0.0434</u>	

Fuente: Arevalo & Paiva

A través de la tabla 11, se puede distinguir el valor de los parámetros calculados por cada método de análisis, permitiendo observar la diferencia de los valores obtenidos de algunos parámetros.

Comentario [S14]: porque en la tabla solo 11 aparece EF en un solo método

El porcentaje de diferencia de los valores obtenidos en los parámetros K, S y C por cada método de análisis se puede observar en la tabla 12.

Tabla 12. Porcentaje de diferencia de los parámetros K, S, C

Parámetros	Horner	Gringarten	Bourdet	Horner vs Gringarten (%)	Horner vs Bourdet (%)	Gringarten vs Bourdet (%)
K	208,16	208,16	208,58	0,00	0,1987	0,1987
S	22,02	31,39	21,99	42,57	0,0013	29,95
C		0,03	0,04			0,33

Fuente: Elaboración propia

Comparando los valores de los parámetros petrofísicos obtenidos en el programa [o en la hoja de cálculo ¿?](#) con respecto a los del modelo matemático se logra obtener la diferencia de resultados mostradas en la tabla 13 y tabla 14.

Tabla 13. Diferencia de resultados en método de Horner

Parámetros	Programa	Modelo matemático	Diferencia de resultados %
K	208,162	208	0,08
S	22,017	22,03	0,06
ΔP_{Skin}	344,785	354	2,60
EF	25,21	23,21	8,61
DF	74,79	76,8	2,62
Qideal	991,70	1000	0,83

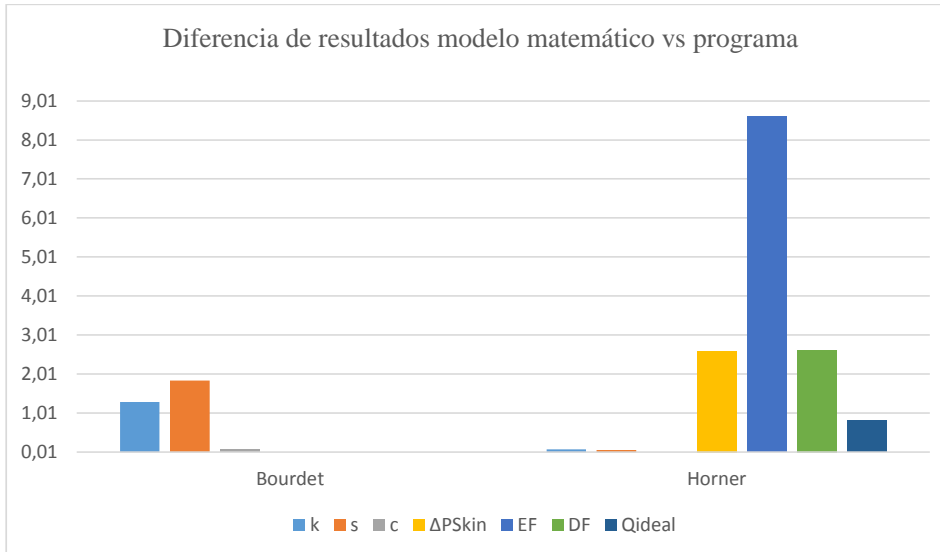
Fuente: elaboración propia

Tabla 14. Diferencia de resultados en método de Bourdet

Parámetros	Programa	Modelo matemático	Diferencia de resultados %
K	208,58	211,3	1,29
S	21,99	22,4	1,84
C	0,0434	0,0434	0,078

Fuente: elaboración propia

Gráfico 9. Diferencia de resultados, modelo matemático vs programa



Fuente: elaboración propia

Al obtener el porcentaje de la diferencia de resultados del programa con respecto a los del modelo matemático, se logra estimar la eficacia del programa con la siguiente formula:

$$Eficacia = (\sum Resultado alcanzado * 100) / (\sum Resultado previsto)$$

$$Eficacia = (18,97 * 100) / (19,17)$$

$$Eficacia = 98,93\%$$

En este sentido, el programa presenta en promedio una eficacia de 98,93% en relación al modelo matemático, difiriendo los resultados principalmente por los valores obtenidos en ΔPSkin, EF, y DF.

Muchacos, Se necesita reforzar este capítulo con razonamientos desde el punto de vista petrolero, NO MATEMÁTICO . Qué tipo de yacimiento están usando??? Que significa cada valor en ingeniería de petróleo ,por ejemplo un S= 22 que significa eso ¿?? Es bueno o es malo . hay que explicar el porque de las

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. Se evidenció que las pruebas de declinación de presión Drawdown forman parte importante dentro de las pruebas de presión para el análisis de un yacimiento, además, los análisis semilogarítmicos de Horner, las curvas tipo y el método de la derivada de Bourdet son excelentes métodos de análisis, ya que proveen resultados confiables. Los parámetros petrofísicos más importantes que se lograron obtener por los tres métodos de análisis son permeabilidad, presión del yacimiento, daño de formación y almacenamiento, y eficiencia de flujo.
2. La creación del programa representa un gran aporte a la universidad, puesto que fue diseñado bajo la premisa de un software de libre acceso, y con bajo presupuesto. Evitando de tal manera, que la institución genere gastos en cuanto a la adquisición de licencias en otros softwares de análisis. Vale destacar, que el programa aprovecha el tiempo en gran medida al generar los resultados de los parámetros en un corto periodo de tiempo.
3. Se observó que el método de Horner es uno de los métodos más confiables, y por el cual se puede obtener una mejor caracterización del yacimiento.
4. El análisis de la prueba Drawdown realizado con el programa en Excel, proporciona los resultados de los parámetros petrofísicos de forma eficaz, afectados principalmente por los puntos de ajuste en las curvas tipo.

5. El diseño elaborado en Excel es de fácil acceso, con una metodología sencilla y comprensible para el usuario, además, puede ser usado de manera didáctica y profesional.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda encontrar un buen cotejo de la curva tipo, al igual que definir correctamente los puntos de ajuste, para que no difieran en gran manera los resultados.
2. Se recomienda utilizar el método de Bourdet únicamente para yacimientos con flujo radial, ya que las ecuaciones plasmadas son basadas en ese modelo de yacimiento, y los resultados podrían variar
3. En cuanto al diseño del programa es recomendable que se le puedan agregar mejoras adicionales agregándole más algoritmos y formulas, respecto a otros tipos de pruebas de presión.
4. Se recomienda que previo a la interpretación del análisis, se contenga la mayor información posible del yacimiento, para así poder realizar un análisis mucho más coherente y certero.
5. Complementar el uso del programa con otros softwares para evaluar las pruebas de presión, a través de la simulación del comportamiento de las pruebas, lo cual permite una interpretación más avanzada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ahmed, T., & McKinney, P. (2011). *Advanced reservoir engineering*. Elsevier.
2. Ahmed, T. (2018). *Reservoir engineering handbook*. Gulf professional publishing.
3. Alvarado, D. (2004). *Análisis de Pruebas de Presión*. Maracaibo, Venezuela: ESP OIL. Extraído de: <https://docplayer.es/93856380-Analisis-de-pruebas-de-presion-dictado-por-phd-douglas-alvarado.html>.
4. Alcalá, U. (2016). *Pruebas de presión de petróleo*. Extraído de: <https://es.slideshare.net/UliseAlcala/pruebas-de-presion-de-petroleo>
5. Arias, F. G. (2012). *El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica*. 6ta. Fidas G. Arias Odón. Extraído de: <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=W5n0BgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA11&ots=kYoKbltpk2&sig=tNDdc7rqR9dyAGT1i3gniEIZj5M#v=onepage&q&f=false>
6. Bravo, R. S. (1994). *Técnicas de investigación social: teoría y ejercicios* (Vol. 12). Madrid: Paraninfo.
7. Celis, A., & Moreno, M. (2018). *Análisis de yacimiento mediante la interpretación de*
8. *pruebas de restauración de presión de los pozos productores del campo el Triunfo* (Bachelor's thesis, Fundación Universidad de América). Extraído de: <https://hdl.handle.net/20.500.11839/6685>
9. CIED, F. D. (1997). *Análisis de Pruebas de presión, Nivel II*. Maracaibo, Venezuela
10. Chaudhry, A. (2004). *Oil well testing handbook*. Elsevier.
11. Colmont, G., & Pinoargote, C. (2018). *Flujo de fluidos en medios porosos*. Extraído de: <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/4293>
12. Chuico, V., Lapo, M., & Maldonado, R. (2013). *Interpretación de la Prueba de Buildup en un Pozo de Petróleo en Yacimientos Naturalmente Fracturados Mediante Uso del Software Saphir* (Bachelor's thesis). Extraído de: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/32292>
13. Dake, L. P. (1983). *Fundamentals of reservoir engineering*. Elsevier.
14. Da Prat, G. (2007). *Introducción al Análisis y Diseño de Pruebas de Presión*. Venezuela.

15. Escobar, F. (2003). *Análisis Moderno de Pruebas de Pozos*. Nevia, Huila, Colombia.
16. Escobar, F. (2000). *Fundamentos de ingeniería de yacimientos*. Universidad Surcolombiana.
17. Gonzales, J. (2014). *Daño a la formación en pozos petroleros* (Doctoral dissertation, Tesis de pregrado). Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería, México. Extraído de:
https://www.academia.edu/22440527/UNIVERSIDAD_NACIONAL_AUT%C3%93NOMA_DE_M%C3%89XICO?from=cover_page
18. Gómez, S. V. (2011). *Diseño de pruebas de presión en pozos exploratorios del campo Travi, ubicado al noroeste del Estado Monagas*. Extraído de:
<https://docplayer.es/22282840-Diseno-de-pruebas-de-presion-en-pozos-exploratorios-del-campo-travi-ubicado-al-noroeste-del-estado-monagas.html>
19. Horner, R. (1995). *Modern Well Test Analysis*. Palo Alto, California.
20. Huayas, J. (2016). *Presión del Yacimiento o Presión Estática del Fluido*. Extraído de:
<https://es.scribd.com/document/331216736/Presion-Del-Yacimiento-o-Presion-Estatica-Del-Fluido>
21. Lee, W. J. (1981). *SPE Text Book Series Vol-1, "Well Testing"*.
22. Macualo, F. H. E. (2012). *Fundamentos de Ingeniería de yacimientos*. Neiva-Huilia-Colombia: Universidad Surcolombiana.
23. Macualo, F., Cruz, Y., & Ruiz, M. (2020). *Análisis de la derivada de presión en yacimientos con tope y base abiertos al flujo*. *Revista Fuentes, El reventón energético*, 18(1), 7–16. Extraído de: <https://doi.org/10.18273/revfue.v18n1-2020002>
24. Manual, F. C. O. (1998). *Halliburton Energy Services*.
25. Matthews, C. S., & Russell, D. G. (1967). *Pressure buildup and flow tests in wells* (Vol. 1, p. 27). New York: Henry L. Doherty Memorial Fund of AIME.
26. McCain Jr, W. D. (1973). *Properties of petroleum fluids*.
27. Meza, K., & Villamar, M. (2013). *Parámetros petrofísicos compuestos en la caracterización de yacimientos*. Universidad Nacional Autónoma de México, México. Extraído de: <https://repositorio.unam.mx/contenidos/165805>

28. Morgner, R. (1978). Obtención De Parámetros Físicos Por Medio De Pruebas De Formación Aplicado A Los Diferentes Mecanismos De Producción Existentes En Yacimientos Del Oriente Ecuatoriano (Bachelor's thesis). Extraído de: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/44570>
29. Padín, L. (2008). Macros en excel. USERSHOP.
30. Padin, L. (2007). Excel 2007: manual del usuario. USERSHOP.
31. Palella Stracuzzi, S., & Martins Pestana, F. (2010). Metodología de la investigación cuantitativa. Caracas, Venezuela: FEDUPEL, Fondo Editorial de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador.
32. Patiño, R., & Rosero, S. (2017). Análisis de Presiones Transitorias (PTA) en el Campo Lago Agrio Mediante el Uso Del Software Saphir (Bachelor's thesis). Extraído de: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/40444>
33. Paris de Ferrer, M. (2009). Fundamentos de ingeniería de yacimientos. Maracaibo: Ediciones Astro Data.
34. Poggi, P. (2020). Introducción al análisis y visualización de datos utilizando una planilla de cálculo
35. Pilay, K., & Galarza, D. (2011). Análisis de Pruebas de Restauración de Presión en Yacimientos que Producen por Debajo del Punto de Saturación (Bachelor's thesis). Extraído de: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/16227>
36. Ramos, E. (2021). Presiones de Formación. Yucatán, México. Extraído de: <https://es.scribd.com/document/542184294/presion-de-formaciones>
37. Valencia, R. (2008). Análisis moderno de pruebas de presión. En: Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 12-23.
38. Valdez, E. (2019). SOFTWARE ANÁLISIS DE PRESION PARA LA ENSEÑANZA DE LA CÁTEDRA PRUEBA DE POZOS. Scientiarium, (2).
39. Valencia, R. (2008). Análisis e Interpretación convencional de pruebas de presión.