



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

MÉTODOS DE INTERPRETACIÓN DE PRUEBAS CON UN PERIODO CORTO DE PRODUCCIÓN O INYECCIÓN PREVIO AL CIERRE

T E S I S

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO PETROLERO**

**P R E S E N T A:
VICTOR JUAN LÓPEZ HERNÁNDEZ**

DIRECTOR DE TESIS:

ING. ISRAEL CASTRO HERRERA





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Agradezco:

A mis padres, por su apoyo, motivación y comprensión en cada momento de mi vida. Siendo participes directa o indirectamente en cada logro y meta alcanzado(a), ya que cada consejo y palabra de aliento me ha servido para seguir progresando y me ha ayudado para formarme como persona de bien, siéntanse satisfechos de que su esfuerzo ha valido la pena.

A mis hermanos, por su apoyo y consejos, cuyo ejemplo ha sido un buen camino a seguir.

Al Ing. Israel Castro, por brindarme su apoyo como director de tesis.

A Bruno, “Roger”, “El Largo” y “Edermiro”, por su valioso aporte para el desarrollo de este trabajo.

A mis sinodales, por su apoyo para facilitar la revisión del trabajo.

A mis amigos y a todas aquellas personas con quienes he compartido grandes momentos de felicidad y satisfacción (uno que otro no tan feliz), porque han aguantando también mis delirios y enojos (aunque eso forma parte de la amistad....creo).

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I TIPOS DE PRUEBAS DE PRESIÓN	3
1.1 Prueba de presión transitoria	3
1.2 Prueba de decremento	4
1.3 Prueba de límite del yacimiento	5
1.4 Prueba multigasto	6
1.5 Prueba de incremento	6
1.6 Prueba de inyección	8
1.7 Prueba fall-off	9
1.8 Prueba de interferencia	10
1.9 Prueba de pulso	11
1.10 Prueba SRT	12
1.11 Prueba DST	14
1.12 Prueba Mini-Fall-Off (MFO)	15
CAPÍTULO II DESCRIPCIÓN DE MÉTODOS DE INTERPRETACIÓN DE PRUEBAS CON UN PERIODO CORTO DE PRODUCCIÓN O INYECCIÓN PREVIO AL CIERRE	17
2.1 Influencia del tiempo de producción en una prueba de incremento de presión	17
2.1.1 Prueba de incremento de presión	17
2.1.2 Diagnóstico de flujo	19
2.1.3 Tiempo de producción largo	20
2.1.4 Tiempo de producción intermedio	21
2.1.5 Tiempo de producción corto	21
2.1.6 Periodo de estabilización del flujo antes del cierre	23
2.1.7 Metodología general de interpretación	26

2.2	Métodos de interpretación	26
2.2.1	Método de Soliman	27
2.2.1.1	Modelo matemático	29
2.2.1.2	Modelo de flujo lineal	29
2.2.1.3	Modelo de flujo bilineal	29
2.2.1.4	Modelo de flujo radial	29
2.2.1.5	Aplicación del modelo de flujo radial	30
2.2.2	Análisis de pruebas de presión a través del uso del concepto de la respuesta de presión debida a una fuente instantánea	31
2.2.2.1	Respuesta de presión para un retiro instantáneo de fluido de una formación	31
2.2.2.2	Aplicaciones del análisis de pruebas de presión	33
2.2.3	Prueba de impulso	35
2.2.3.1	Antecedentes	36
2.2.3.2	Descripción	37
2.2.3.3	Principio de análisis	37
2.2.3.4	Método de análisis	37
2.2.3.5	Discusión del análisis de impulso	39
2.2.3.6	Consideraciones prácticas	39
2.2.3.7	Puntos de énfasis	40
CAPÍTULO III PRUEBA MINI-FALL-OFF		41
3.1	Introducción	41
3.2	Descripción de una prueba MFO	41
3.3	Diseño de una prueba MFO	42
3.4	Información del pozo	43
3.5	Selección del fluido, duración del periodo de flujo y del tiempo de cierre	43
3.6	Ejecución de una prueba MFO	44
3.7	Interpretación de una prueba MFO	44

CAPÍTULO IV APLICACIONES DE CAMPO	45
4.1 Métodos de interpretación que se aplican en campo	45
4.2 Pasos a seguir durante la interpretación	45
4.2.1 Método de Soliman	45
4.2.2 Método de impulso	46
4.3 Caso teórico	47
4.3.1 Datos de la prueba	47
4.3.2 Método de Soliman	48
4.3.3 Método de impulso	53
4.3.4 Análisis de resultados	59
4.4 Caso 1: Pozo Bicentenario-1	60
4.5 Caso 2: Pozo Centenario-1	64
4.6 Compendio	69
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	70
BIBLIOGRAFÍA	72
TABLA A	73
TABLA B	91

INTRODUCCIÓN

Hoy en día, a pesar del aumento y la necesidad de sustituir el uso de combustibles fósiles por energías renovables, el petróleo sigue siendo el combustible con mayor consumo en el mundo; debido a esto, existe una gran necesidad de mantener el abastecimiento de hidrocarburos a nivel global.

Dentro de este entorno, México no es la excepción, ya que siendo éste un país petrolero, y teniendo como soporte principal de su economía la comercialización de hidrocarburos, se ha visto en la necesidad de mantener una producción que satisfaga los requerimientos de su propio consumo y el de sus demandantes.

Por otro lado, debido a la inevitable caída de la producción en la Región Marina, que involucra la declinación del gigante Cantarell, México ha tenido que asumir la tarea de sustituir y reducir el ritmo de declinación de la producción. Para esto, ha sido necesario invertir en exploración, reinvertir en campos maduros con procesos de recuperación secundaria y/o mejorada y comenzar a explotar yacimientos que involucran grandes retos técnicos y económicos; tal es el caso de la incursión en aguas profundas o del indescifrable Chicontepec.

El proyecto ATG, antes Chicontepec, cuyo VO (Volumen Original) ha sido estimado en más de 135 000 mmbbl, superando por mucho el yacimiento Akal, cuyo VO fue estimado en casi 30 500 mmbbl, es un amplio recurso de hidrocarburos y podría sustituir el volumen de hidrocarburos que declina día con día. Sin embargo, dadas sus complejas características geológicas, siendo los yacimientos en Chicontepec de baja permeabilidad y generalmente arenas lenticulares con intercalaciones de lutitas, su explotación rentable puede ser difícil y costosa, ya que sólo se tiene una reserva probada de 501 mmbbl de aceite y de casi 825 mmpc de gas, lo cual no representa ni el 1% del VO (CNH, 2010).

Dentro de la necesidad de buscar nuevas tecnologías infromación y técnicas de explotación, se encuentra el uso de las pruebas de presión, las cuales han sido usadas desde hace años para estudiar y describir el comportamiento de los yacimientos, ayudando a la caracterización de un gran número de parámetros. Tal es el caso de la prueba Mini-Fall-Off, la cual es una gran herramienta técnica, económica y eficiente, cuya interpretación difiere de los métodos convencionales, ya que debe ser analizada mediante métodos desarrollados para pruebas con un periodo corto de producción o inyección previo al cierre, tal como el método de Soliman, la

técnica de respuesta de presión debida a una fuente instantánea y la prueba de impulso, debido a la particularidad de tener un periodo corto de inyección previo al cierre. Los métodos de interpretación antes mencionados, también pueden ser aplicados a pruebas de incremento que cumplan con la condición análoga, un periodo corto de producción previo al cierre.

El objetivo de este trabajo es explicar los métodos para interpretar pruebas que tienen un periodo corto de producción o inyección previo al cierre, mostrando también, mediante casos de campo, la aplicación y análisis de dichos métodos a pruebas MFO y pruebas de incremento.

CAPITULO I

TIPOS DE PRUEBAS DE PRESIÓN

En el mejor de los casos, el tipo de prueba que se realizará está gobernada por los objetivos de la prueba. En otros casos, la selección es gobernada por limitaciones prácticas, por ejemplo: el equipo que será empleado, la experiencia del personal, el tiempo que será requerido para llevar a cabo la prueba, etcétera.

A continuación se muestran los principales tipos de prueba que se realizan en la industria.

1.1 Prueba de presión transitoria

Una prueba de presión transitoria es una prueba de flujo llevada en pozos para obtener datos del pozo y del yacimiento. La prueba consiste esencialmente en cambiar el gasto del pozo y medir la respuesta de la presión del pozo como una función del tiempo, ya sea en el mismo pozo o en un pozo vecino. En ambos casos, los datos de presión pueden ser analizados para obtener la información del yacimiento o del pozo requerido. La respuesta de la presión del pozo sujeta al cambio del gasto es función de las propiedades de la roca, propiedades de los fluidos y de la geometría de flujo. Por esa razón debería ser posible estimar algunas de esas propiedades a partir de la respuesta de presión.

Los datos medidos de gasto, respuesta de presión durante la prueba, las propiedades de la roca y de los fluidos son requeridos a través de otras fuentes para analizar los datos de la prueba.

En la **Figura 1.1** se muestra la vista del sistema de una prueba de presión transitoria.

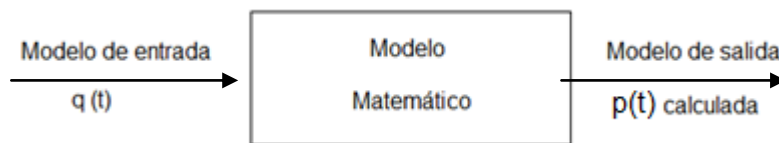


Figura 1.1: Vista del sistema de una prueba de presión transitoria (Horne, 1990)

Con el uso de las pruebas de presión transitoria ha sido posible estimar un gran número de parámetros de la formación, tales como:

- Permeabilidad de la formación (k)
- Presión promedio del yacimiento (\bar{p})
- Volumen de poros conectados (Vp)

- Grado del daño a la formación o estimulación (S)
- Distancia a una falla, si ésta se presenta (L)
- Coeficiente de almacenamiento (C)
- Detectar heterogeneidades del yacimiento tales como fracturas, capas y cambios de movilidad
- Propiedades de una fractura (Tamaño de la fractura, conductividad de la fractura, etcétera)

La aplicación de las pruebas de presión dependerá, por ejemplo:

- 1) Dependiendo de, si el pozo es productor o inyector
- 2) Dependiendo de, si el pozo está produciendo o está cerrado durante la prueba, y
- 3) Si más de un pozo está involucrado en la prueba

A continuación se describirán las pruebas de presión transitoria más comunes.

1.2 Prueba de decremento

En una prueba de decremento, un pozo que está estático, estable y cerrado es abierto al flujo. Para los propósitos del análisis tradicional, el gasto es supuesto como constante (q_o), y la presión estática (p_{ws}) es medida antes de poner el pozo a producir.

La presión de fondo fluyendo y el gasto de producción son medidos como una función del tiempo ($p_{wf}(t)$ o $q_o(t)$) por varias horas o días, dependiendo de la respuesta de las propiedades del yacimiento y objetivos de la prueba. La presión medida y la historia de producción pueden ser analizadas para estimar la permeabilidad de la formación, el factor de daño, distancia a una falla en caso de estar presente y las propiedades de la fractura.

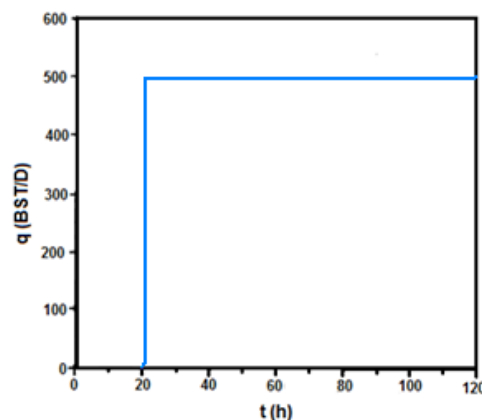


Figura 1.2: Historia de gasto de una prueba de decremento (Horne, 1990)

En la **Figura 1.2** se muestra el gasto típico para una prueba de decremento, la **Figura 1.3** muestra el comportamiento de la presión que se tendría para un gasto típico.

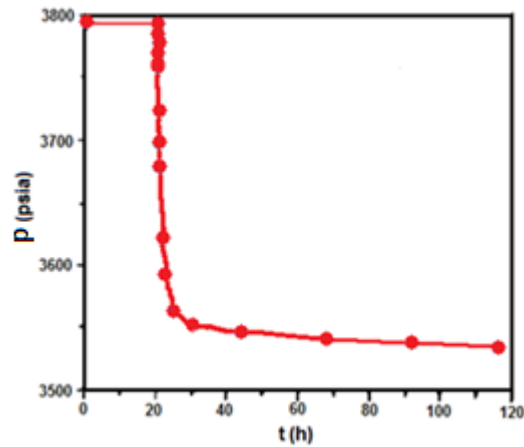


Figura 1.3: Historia de presión de una prueba de decremento (Horne, 1990)

En la práctica, una prueba de decremento podría tener ciertas dificultades para llevarse a cabo bajo las intenciones previstas. En particular:

- a) Es difícil hacer que el pozo fluya a gasto constante, incluso después de haberse estabilizado y
- b) Las condiciones iniciales, estática o estable, especialmente si fue recientemente perforado o ha sido puesto a fluir previamente

1.3 Prueba de límite del yacimiento

Es un tipo especial de prueba de decremento, en la cual, la prueba es llevada a cabo por un periodo grande de tiempo, durante el cual, los cambios que operan en el gasto son menos significantes sobre tales tiempos grandes. La historia de presión es afectada por las fronteras del yacimiento, esta, puede ser analizada para estimar el volumen de poros interconectados del yacimiento (V_p). La **Figura 1.4** muestra la estimación de la distancia a una falla, empleando doble pendiente, es punto de inflexión indica el momento en que se ha alcanzado la falla.

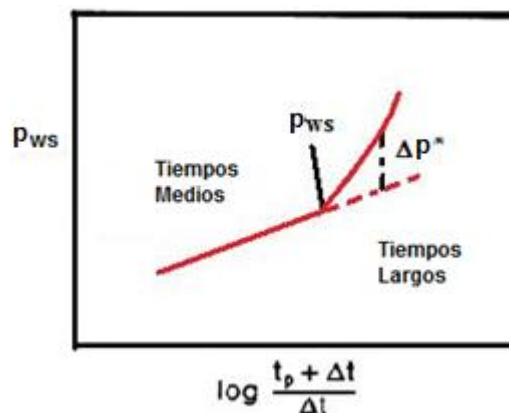


Figura 1.4: Estimación de la distancia a una falla empleando doble pendiente (John Lee, 1982)

1.4 Prueba multigasto

Esta es otro tipo de prueba de decremento, en la cual, el gasto es cambiado a manera de intervalos y la respuesta de presión de fondo es medida como una función del tiempo.

Esto es de gran ayuda, ya que una prueba de decremento requiere un gasto constante y a menudo es impráctico o imposible mantenerlo el tiempo suficiente para completar una prueba. En este tipo de situación, una prueba de gasto variable puede ser aplicable.

Las respuestas de la presión y del gasto de producción pueden ser analizadas para estimar la permeabilidad de la formación, el factor de daño y la presión promedio del yacimiento.

Una prueba de gasto variable, podría tener un rango de aplicación, desde un gasto no controlado, un gasto variable, hasta una serie de gastos constantes, para probar una presión de fondo fluyendo constante con un cambio de gasto continuo.

Sin embargo, es necesario tener buenos datos de los cambios del gasto, ya que de no ser así, no sería posible tener un buen análisis de la prueba.

La prueba multigasto, tiene la ventaja de proveer datos temporales de la prueba, mientras la producción continúa. Esto lleva a minimizar los cambios en el coeficiente de almacenamiento y los efectos de segregación de fase (cambios entre patrones), proveyendo así, buenos resultados cuando una prueba de incremento o decremento no lo harían.

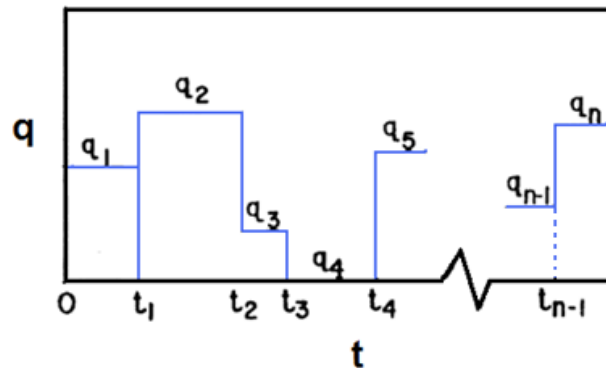


Figura 1.5: Historia de producción de una prueba de gastos múltiples (John Lee, 1982)

En la **Figura 1.5** se muestran los cambios que pueden ocurrir en el gasto durante la toma de la prueba

1.5 Prueba de incremento

En una prueba de incremento, un pozo el cual ya ha estado fluyendo (idealmente a gasto constante) se cierra, usualmente en superficie, y es medida la caída de presión antes del cierre, así como el incremento de presión posterior al cierre.

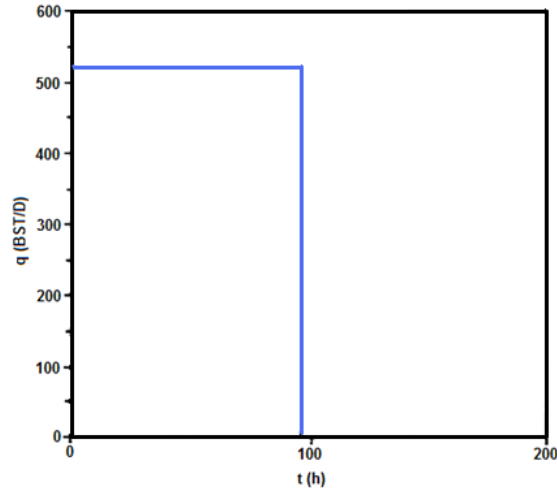


Figura 1.6: Gasto típico de una prueba de incremento (Horne, 1990)

Como se observa en la **Figura 1.6**, el gasto se mantiene constante hasta antes del cierre, posterior al cierre el gasto será nulo.

El incremento de la presión de fondo es registrado por varias horas o días, dependiendo de la difusividad hidráulica (η) y del objetivo de la misma. La **Figura 1.7** muestra este incremento, que se registra después del cierre, el cual ocurre aprox. Cuando $t=100$ (h).

El registro de las presiones puede ser analizado para estimar la permeabilidad, el factor de daño, la presión promedio del yacimiento, la distancia a una falla (si está presente), tamaño de la fractura y conductividad de la fractura ($k_f w_f$).

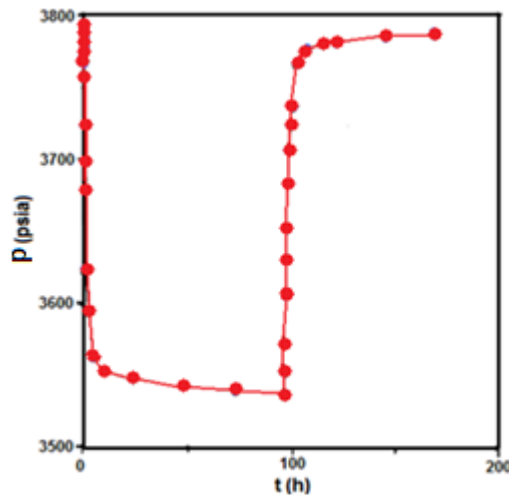


Figura 1.7: Historia de presión de una prueba de incremento (Horne, 1990)

El análisis de una prueba de incremento, a menudo requiere únicamente pequeñas modificaciones de las técnicas usadas para interpretar pruebas de decremento a gasto constante.

La ventaja práctica de una prueba de incremento es, que la condición de gasto constante es más fácil de obtener (desde que el gasto es cero).

Una de las desventajas que tiene una prueba de incremento es la dificultad por obtener un gasto constante previo al cierre. Además, podría ser necesario cerrar el pozo brevemente para introducir la herramienta al agujero lo cual implicaría no tener producción, por lo que esto representaría pérdidas económicas

1.6 Prueba de inyección

Una prueba de inyección es conceptualmente idéntica a una prueba de decremento, excepto que el fluido va al interior, en lugar de al exterior de la formación.

El fluido es inyectado al pozo a gasto constante, el gasto de inyección y la presión de fondo fluyendo son medidos como una función del tiempo. La respuesta de presión puede ser analizada para estimar la permeabilidad de la formación y el factor de daño. Esta prueba en particular, es de gran importancia cuando se va a realizar o se está realizando una prueba de inyección o un método de recuperación secundaria. Cuando un pozo es destinado para recibir una cantidad grande de fluido, su habilidad para aceptar ese fluido uniformemente por un tiempo grande, es importante para economizar proyectos de recuperación secundaria. En particular, un incremento del daño en la vecindad del pozo debe ser detectado para corregirlo lo más pronto posible.

Los gastos de inyección pueden ser controlados más fácilmente que los gastos de producción, sin embargo, el análisis de los resultados de la prueba pueden complicarse por los efectos multifásicos del fluido, para evitar esto, es recomendable que el fluido inyectado sea igual al fluido de la formación. En la **Figura 1.8** se observa un gasto típico de una prueba de inyección, en la cual el fluido va hacia la formación, por lo que se considera que el gasto es negativo.

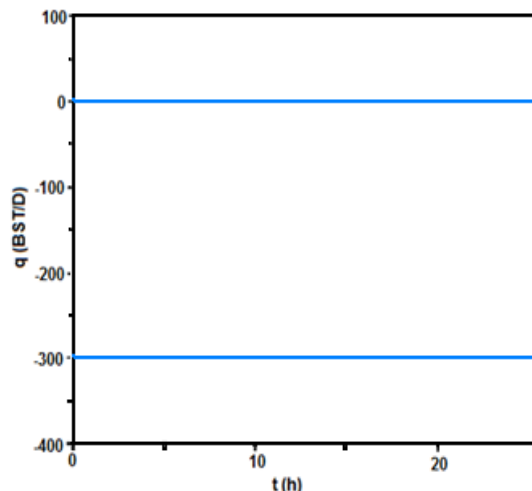


Figura 1.8: Gasto típico de una prueba de inyección (Horne, 1990)

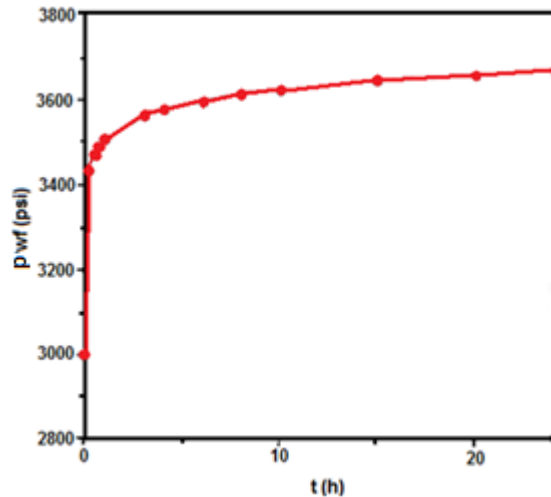


Figura 1.9: Historia de presión de una prueba de inyección (Horne, 1990)

La **Figura 1.9** muestra el incremento de presión que se obtiene durante una prueba de inyección.

1.7 Prueba fall-off

Una prueba fall-off mide la declinación de la presión subsecuente al cierre de una inyección, involucra cerrar el pozo después de un período de inyección a gasto constante y medir el decremento de la presión resultante en función del tiempo.

Los datos de presión tomados inmediatamente antes y durante el periodo de cierre son analizados como datos de incremento de presión.

Conceptualmente es idéntica a una prueba de incremento, y de igual manera, el fluido inyectado debe ser idéntico a los fluidos de la formación para evitar complicaciones. En la **Figura 1.10** se puede observar el momento en el que el pozo es cerrado, después de la inyección.

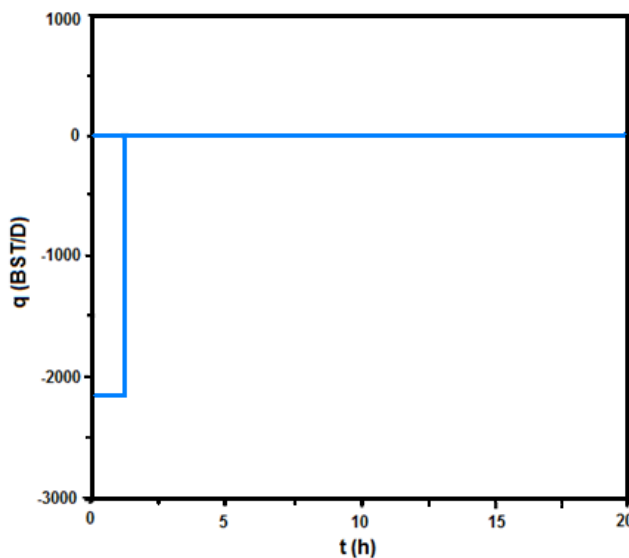


Figura 1.10: Gasto típico de una prueba fall-off (Horne, 1990)

La **Figura 1.11** muestra el decremento de la presión que se tiene posterior a la inyección de fluido.

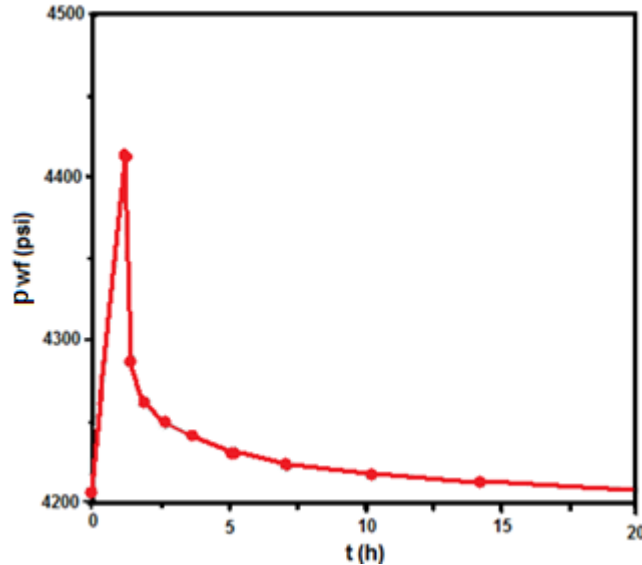


Figura 1.11: Historia de presión de una prueba fall-off (Horne, 1990)

1.8 Prueba de interferencia

En una prueba de interferencia, un pozo es puesto a producir y la presión es observada en un pozo diferente (o pozos).

Este tipo de prueba se utiliza principalmente para determinar si uno o más pozos están comunicados a través de la presión del yacimiento, cuando esta existe, provee un estimado de la permeabilidad y del producto de la porosidad y la compresibilidad (ϕC_t) en la vecindad de los pozos probados.

Una prueba de interferencia monitorea los cambios de presión que ocurren en un pozo de observación, el cual se mantiene cerrado durante la prueba, desde un pozo productor. Así, una prueba de interferencia podría ser útil para caracterizar propiedades del yacimiento sobre escalas de longitud más grandes que las pruebas a pozos individuales. Los cambios de presión a una distancia desde el productor son mucho más pequeños que en el mismo pozo productor, así las pruebas de interferencia requieren herramientas sensibles a los cambios de presión y podrían tomar mucho tiempo para realizarse.

El pozo cerrado, puede permanecer en observación durante varias horas o incluso días, dependiendo de las propiedades del yacimiento y del espaciamiento entre pozos.

La historia de presión medida, puede ser analizada para estimar la permeabilidad y porosidad interpozos. Si las respuestas de presión son medidas en varios pozos en observación, pueden ser analizadas para estimar la dirección de la permeabilidad.

1.9 Prueba de pulso

La prueba de pulso tiene el mismo objetivo que una prueba de interferencia convencional, para determinar si un par de pozos tienen comunicación hidráulica, estimar k y ϕC_t en el área de prueba de los pozos. La prueba es conducida a través de una señal enviada o secuencia de pulsos desde un pozo activo (productor o inyector) a un pozo cerrado en observación. La secuencia de pulso es creada por la producción (o inyección) desde el pozo activo, entonces cerrándolo, y repitiendo esa secuencia con un patrón regular.

Las pruebas de pulso tienen varias ventajas sobre las pruebas de interferencia convencionales:

- 1.- Afectan menos las operaciones normales que las pruebas de interferencia, dura un mínimo de tiempo que podría ser desde algunas horas hasta algunos días
- 2.- Hay menos problemas de interpretación causados por el ruido y por la tendencia de la presión del yacimiento cuando ellos afectan la respuesta en pozos de observación
- 3.- El análisis de las pruebas de pulso usualmente puede estar basado en soluciones simples de las ecuaciones de flujo

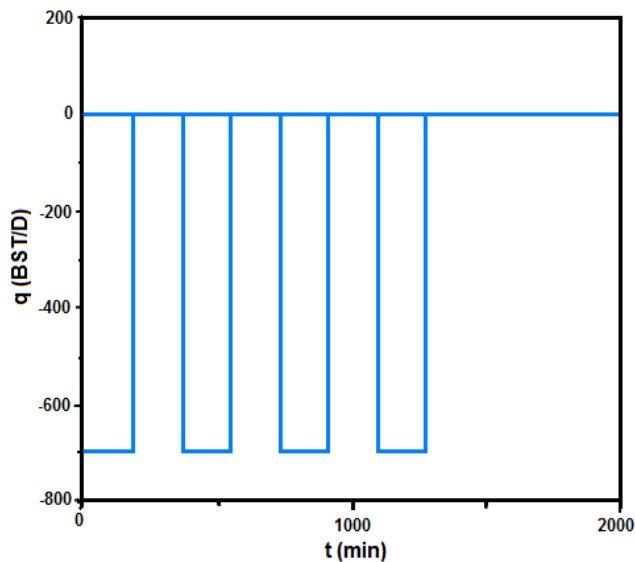


Figura 1.12: Gasto típico de una prueba de pulso para un pozo pulsante (Horne, 1990)

La **Figura 1.12** muestra las variaciones en el gasto de inyección durante los diferentes “pulsos” de la prueba.

La principal razón para tener una secuencia de pulsos de presión es, que rápidamente se pueden determinar los efectos de un pozo activo sobre un pozo en observación. Usualmente son requeridos sensores de alta resolución para detectar esos pequeños pulsos, los cuales podrían tener magnitudes menores que 0.1 psi.

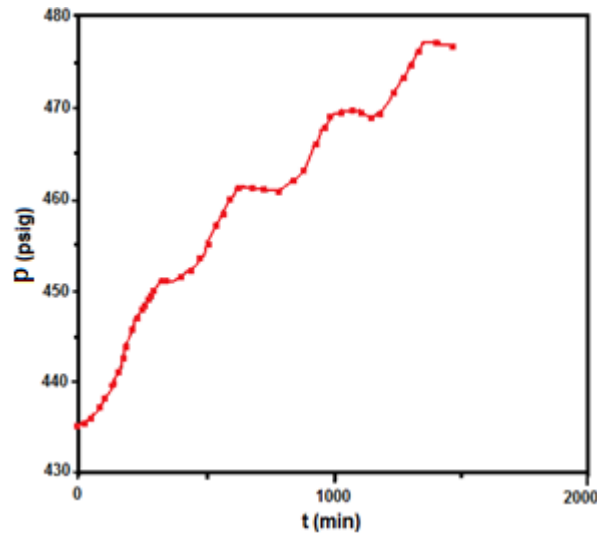


Figura 1.13: Historia de presión de una prueba de pulso para un pozo observador (Horne, 1990)

La **Figura 1.13** muestra los diferentes incrementos de presión que se tendrían con cada variación pulso durante la prueba.

1.10 Prueba SRT

Una prueba SRT (Step Rate Test) es una prueba llevada a cabo en un pozo inyector para determinar el gradiente de fractura de la formación, el gasto de inyección dentro del pozo es incrementado a manera de paso sobre intervalos iguales de tiempo cada vez que la presión de fondo de inyección es medida. Los datos de presión y de gasto de inyección pueden ser analizados para determinar el gradiente de fractura de la formación.

La **Figura 1.14** muestra una gráfica típica de los datos de una prueba SRT para determinar el gradiente de fractura de la formación.

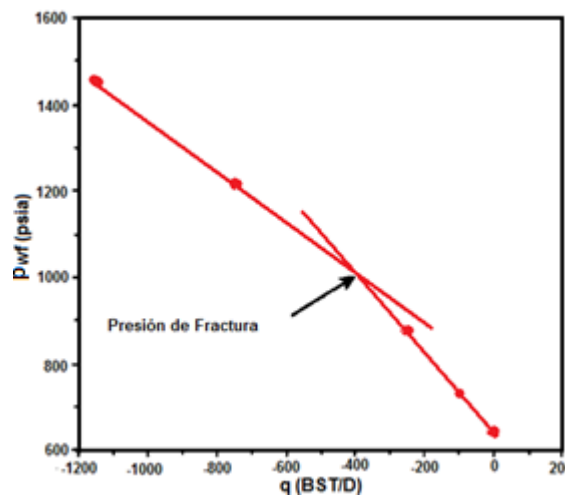


Figura 1.14: Gráfica de presión contra gasto de una prueba SRT (Horne, 1990)

La **Figura 1.15** muestra un gasto típico para una prueba SRT.

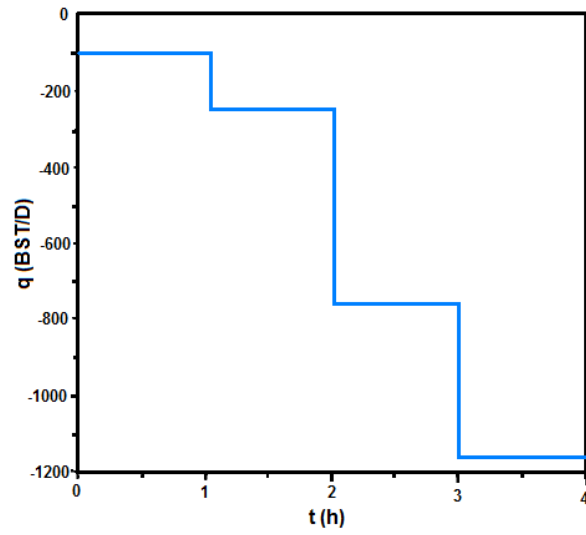


Figura 1.15: Gasto típico de una prueba SRT (Horne, 1990)

La **Figura 1.16** muestra la historia de presión para una prueba SRT.

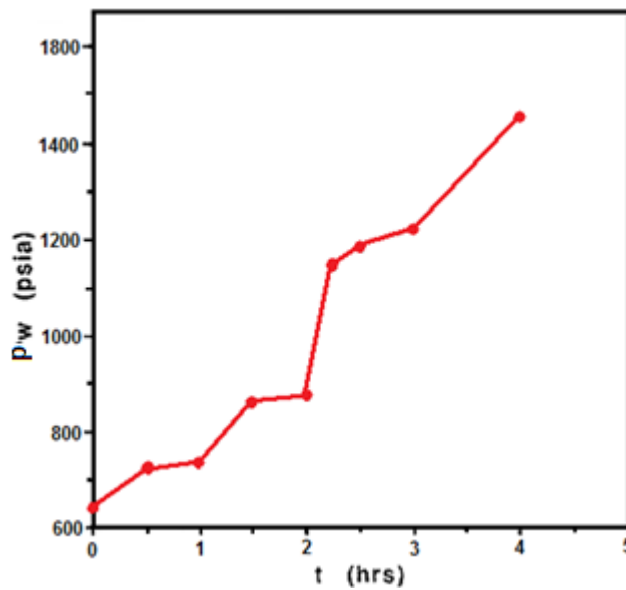


Figura 1.16: Historia de presión de una prueba SRT (Horne, 1990)

1.11 Prueba DST

Un DST (Drill Stem Test) es una prueba que usa una herramienta especial colocada al final de la sarta de perforación. Es una prueba comúnmente usada para probar pozos recientemente perforados y de los cuales normalmente no se conoce su potencial, debido a eso únicamente puede ser llevada a cabo cuando la sarta está dentro del agujero. Aunque algunas veces se realiza en zonas productoras conocidas de pozos para desarrollo.

El DST provee una terminación temporal del intervalo a probar. Un buen DST proporciona una muestra del tipo de fluido presente en el yacimiento, indica el gasto y da una medida de la presión estática y de la presión de fondo fluyendo.

El DST ayuda a determinar la posibilidad de una producción comercial, ya que los fluidos recuperados y el gasto son observados. El análisis de los datos del DST en periodo de flujo transitorio puede proveer una estimación de las propiedades de la formación y del daño. Estos datos podrían ser usados para estimar el potencial del pozo con una terminación regular que use técnicas de simulación para remover el daño e incrementar el diámetro efectivo de la vecindad.

En un DST, el pozo es abierto al flujo por una válvula en la base de la herramienta, y los fluidos del yacimiento fluyen hacia la sarta de perforación (la cual esta usualmente vacía al empezar). La prueba tiene comúnmente una secuencia: se produce por un periodo corto de tiempo, se cierra por un periodo corto (inicio del incremento), se produce nuevamente por un periodo más largo (segundo periodo de flujo) y se cierra nuevamente por un periodo más largo de tiempo (incremento final). En la **Figura 1.17** se pueden observar los diferentes intervalos del gasto durante el desarrollo del DST.

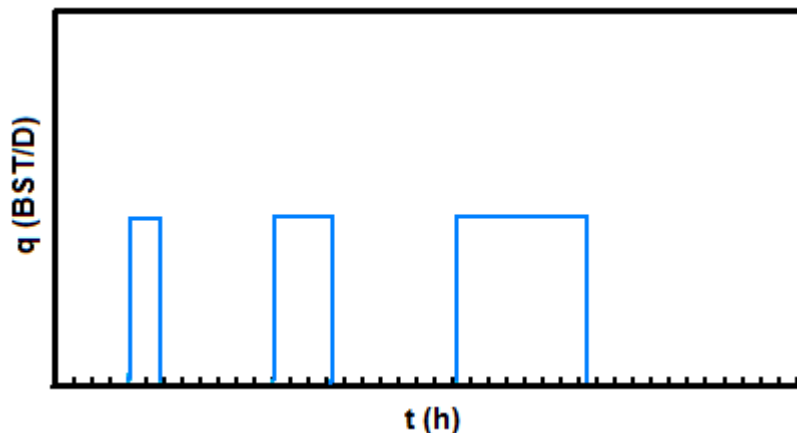


Figura 1.17: Gasto típico de una prueba DST (Horne, 1990)

La prueba DST puede ser bastante corta con el cierre positivo de la válvula al fondo del pozo, evitando así los efectos de almacenamiento.

Podrían surgir ciertas complicaciones, desde los efectos de momentum y fricción, hasta el hecho de que las condiciones del pozo sean afectadas por operaciones de perforación y terminación influenciando los resultados.

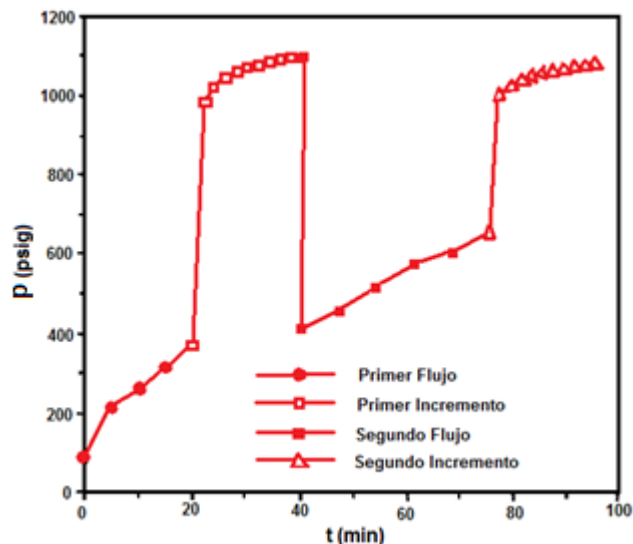


Figura 1.18: Típica historia de presión para una prueba DST (Horne, 1990)

En la **Figura 1.18** se muestra el cambio de presión que ocurre durante los diferentes periodos de flujo de la prueba.

1.12 Prueba Mini-Fall-Off (MFO)

En muchos casos, la imposibilidad del pozo para producir después de ser perforado, hace el escenario a veces muy difícil de solucionar.

Una prueba Mini-Fall-Off es una solución técnica, económica y eficiente para resolver este problema, proveyendo un excelente punto de inicio para entender mecanismos no convencionales y optimizar el proceso de entrada de una técnica de fracturamiento hidráulico.

El periodo después del cierre que sigue de una prueba de inyección MFO y del cierre, contiene los periodos de flujo pseudo-lineal y pseudo-radial. Un análisis del periodo de flujo pseudo-radial proporciona la transmisibilidad del yacimiento (kh/μ) y la presión inicial del yacimiento (p_i) empleando métodos convencionales de interpretación, tal como la técnica de Horner. Se debe destacar que esta técnica solo determina la presión y la transmisibilidad de cuerpos de arena individuales.

Una prueba Mini-Fall-Off consiste en:

- 1- La inyección de un pequeño volumen de agua para crear una fractura corta y
- 2- Un periodo de cierre (tiempo de declinación) después de la inyección para registrar la presión.

Una de las particularidades de esta prueba, es su periodo corto de inyección, por lo que su interpretación deberá ser realizada de manera distinta a los métodos convencionales, ya que requerirá de técnicas de interpretación para pruebas con un periodo de cierre mayor al periodo de inyección.

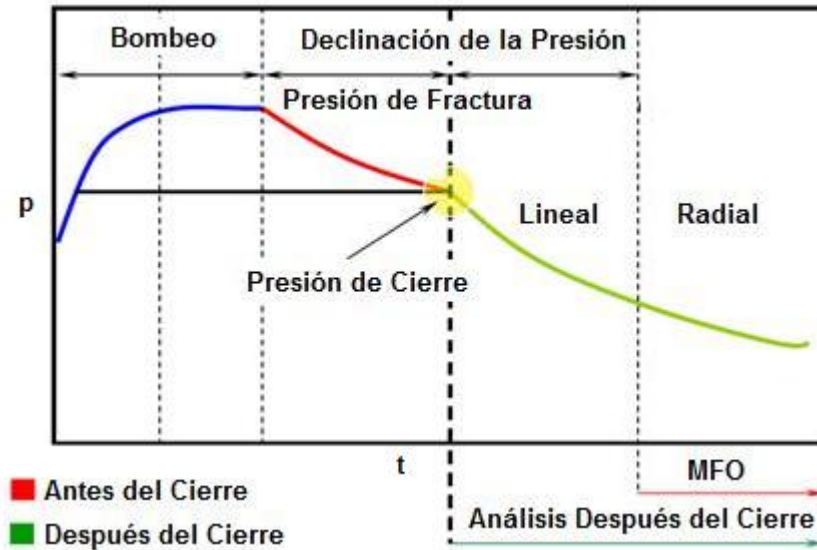


Figura 1.19: Prueba MFO (Ceccarelli et al, 2009)

La **Figura 1.19** muestra la aplicación de la prueba MFO para determinar el gradiente de fractura de una formación.

CAPÍTULO II

DESCRIPCIÓN DE MÉTODOS DE INTERPRETACIÓN DE PRUEBAS CON UN PERIODO CORTO DE PRODUCCIÓN O INYECCIÓN PREVIO AL CIERRE

2.1-Influencia del tiempo de producción en una prueba de incremento de presión

Como se explicará posteriormente, la influencia del tiempo de producción es muy importante debido a que la respuesta de presión estará en función del tiempo que el fluido sea inyectado o extraído.

2.1.1-Prueba de incremento de presión

Como se comentó en el Capítulo I, una prueba de incremento de presión consiste en cerrar un pozo después de un periodo de producción (t_p) o inyección (t_i) para medir la presión de fondo (p_{ws}) como una función del tiempo de cierre (Δt) (Figura 2.1).

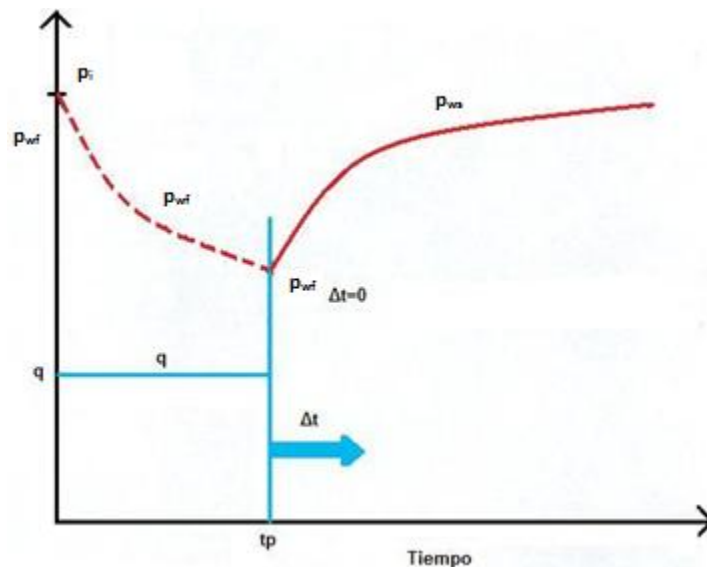


Figura 2.1: Prueba de incremento (Cinco Ley et al, 1990)

Si el gasto se mantiene constante antes de la prueba, la caída de presión durante el incremento estará dada por:

$$p_{ws}(\Delta t) = p_i - q\Delta p_1(t_p + \Delta t) + q\Delta p_1(\Delta t) \quad 2.1$$

En donde Δp_1 es la función influencia, que representa la respuesta de presión que el sistema exhibe para un gasto unitario. Es decir, la función influencia es la caída de presión que se tendría en el pozo para un gasto de producción unitario.

La respuesta de presión durante la prueba de incremento incluye, como lo indica la **ec. 2.1**, la función influencia evaluada en dos tiempos distintos, Δt y $t_p + \Delta t$; lo cual, si el sistema exhibe diferentes geometrías de flujo a tiempos distintos, generará una combinación de estas.

Se puede demostrar, como se indica en la **Figura 2.2**, que la respuesta de presión durante una prueba de incremento depende de la historia del gasto. Esto es, a tiempos pequeños de cierre p_{wf} estará gobernada por el último gasto; a tiempos intermedios p_{wf} es función de la historia de gastos y del tiempo de producción.

Finalmente, a tiempos largos, los datos de presión de cierre dependen de la producción acumulada Q únicamente.

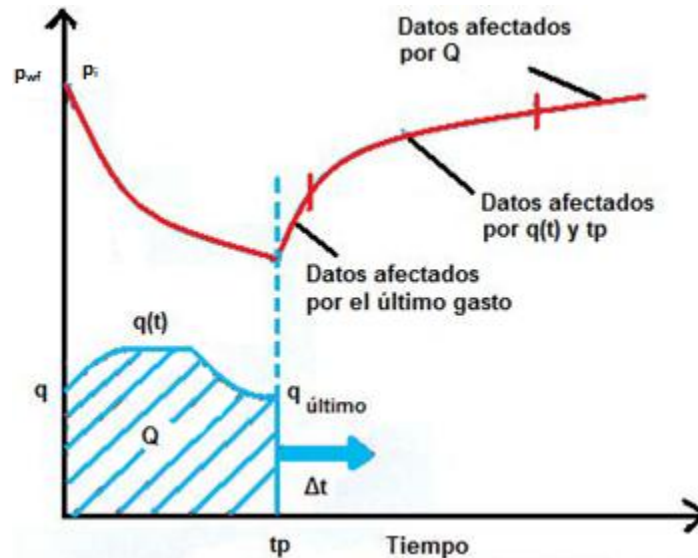


Figura 2.2: Datos de una prueba de incremento de presión (Cinco Ley et al, 1990)

Lo anterior es una consecuencia de que las variaciones fuertes de la función influencia Δp_1 ocurren a tiempos cortos, como se indica en la **Figura 2.3**.

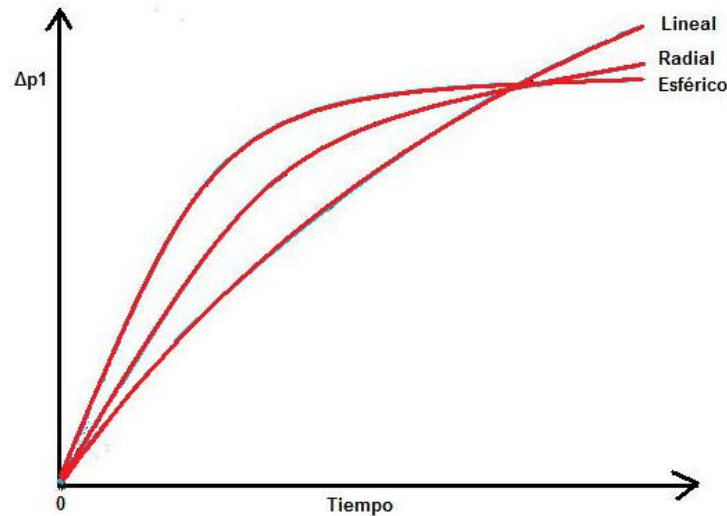


Figura 2.3: Función influencia para diversas geometrías de flujo (Cinco Ley et al, 1990)

Es evidente que obtener una interpretación confiable de una prueba de incremento de presión, no es tan simple como se pretende con los métodos convencionales de análisis; especialmente en sistemas que exhiben varias geometrías de flujo (pozos parcialmente penetrados, pozos hidráulicamente fracturados, yacimientos naturalmente fracturados, etc.) aún cuando el gasto durante el periodo de flujo se mantenga constante, es necesario aplicar un proceso de diagnóstico de los tipos de flujo exhibidos por el sistema durante la prueba.

2.1.2-Diagnóstico de flujo

La detección de los diversos tipos de flujo presentes en una prueba se logra analizando la función influencia, que es la respuesta más simple que se puede tener en el sistema.

Uno de los medios más efectivos para el diagnóstico de flujo es la función de derivada $t \frac{d\Delta p_1}{dt}$ definida por Bourdet y colaboradores. Así, una gráfica doble logarítmica de esta función contra la correcta función del tiempo permite determinar el(los) tipo(s) de flujo de una prueba. En la **Figura 2.4** se muestra que datos en diferentes tipos de flujo exhiben líneas rectas de pendientes diferentes; esto es, las líneas rectas presentan pendientes de 1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, 0 y $-\frac{1}{2}$ para flujo pseudoestacionario o almacenamiento, lineal, bilineal, radial y esférico respectivamente.

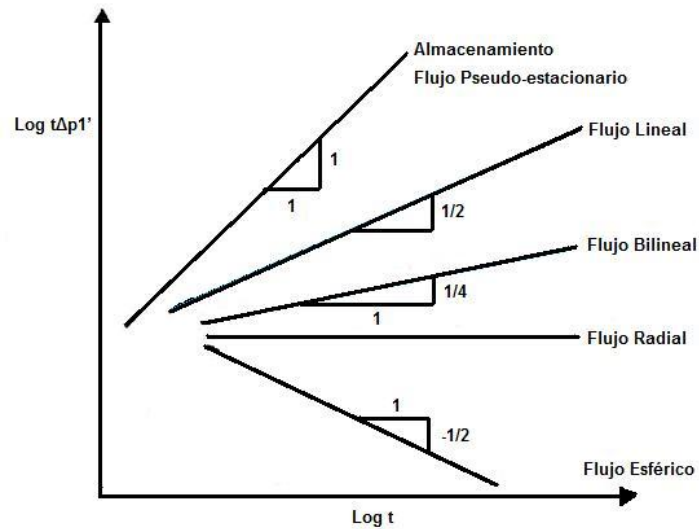


Figura 2.4: Diagnóstico de flujo (Cinco Ley et al, 1990)

Es necesario hacer hincapié en el hecho de que los periodos de flujo no se traslapan; es decir, un dato de presión no puede caer dentro de dos periodos de flujo distintos.

2.1.3-Tiempo de producción largo

Si el gasto se mantuvo esencialmente constante durante un periodo largo antes del cierre $\Delta p_1(t_p + \Delta t) \approx \Delta p_1(t_p)$ y de acuerdo con **ecuación 2.1**:

$$\Delta p_1(\Delta t) = \frac{p_{ws}(\Delta t) - (p_{wf})_{t=0}}{q} \quad 2.2$$

Esto es válido si $t_p \geq 10 \Delta t$.

Se debe señalar que la derivada de la función influencia se calcula usando cualquier método de diferencias finitas.

Es conveniente destacar que el uso de la derivada no estará afectado por un dato erróneo de la presión de fondo fluyendo antes del cierre; ya que el cálculo de la derivada no depende de esta presión.

La naturaleza de la función influencia depende de la localización del punto de cierre del pozo. Esto es, si el pozo se cierra en superficie Δp_1 incluye el efecto de almacenamiento total del pozo; por otro lado, si el pozo se cierra en el fondo, Δp_1 solo incluye el almacenamiento del pozo correspondiente a la zona debajo del punto de cierre.

2.1.4-Tiempo de producción intermedio

Si el tiempo de producción es del orden del tiempo de cierre ($0.1t_p < \Delta t < 2t_p$) el cálculo de Δp_1 se logra a partir de la siguiente ecuación:

$$p_{ws}(t) = p_i - \int_0^t q(\tau) \Delta p_1'(t - \tau) d\tau \tag{2.3}$$

La solución de la **ec.2.3** requiere datos del gasto $q(\tau)$ y de la presión de fondo fluyendo $p_{wf}(t)$. Si esta información se desconoce, la evaluación de Δp_1 será incompleta; ya que en este caso habrá más incógnitas que ecuaciones.

2.1.5-Tiempo de producción corto

Es importante mencionar que en este punto se definirá la importancia y la influencia de tener un tiempo de producción corto y se explicará gráficamente la aplicación de la derivada de la función influencia.

Para este caso, si $\Delta t \geq 2t_p$ la derivada de la función influencia puede aproximarse a:

$$\left. \frac{\partial \Delta p_1}{\partial t} \right|_{\Delta t + t_p/2} = \frac{1}{24Q} (p_i - p_{ws}(\Delta t)) \tag{2.4}$$

Lo cual será definido más adelante.

La **Figura 2.5** muestra el concepto de la **ecuación 2.4** gráficamente.

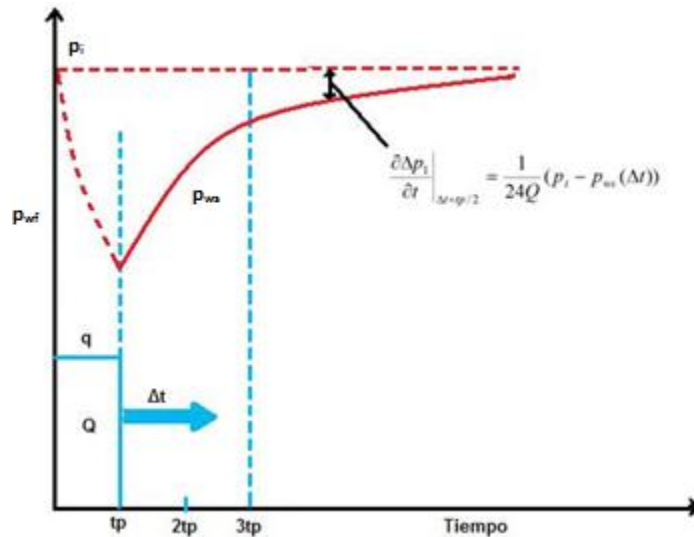


Figura 2.5: Datos de incremento de presión para tiempo de producción corto (Cinco Ley et al, 1990)

En donde Q será la producción acumulada obtenida durante el periodo de flujo. Cabe hacer notar que la estimación de $\Delta p'_1$ para tiempos pequeños e intermedios requiere de datos de $q(t)$, así, discretizando el gasto (**Figura 2.6**) y usando el principio de superposición:

Para $\Delta t < 2t_p$

$$\frac{\partial \Delta p_1}{\partial t}(\Delta t_k + t_p - t_{N-1/2}) = \frac{1}{q_N \partial t} \left[p_i - p_{ws}(\Delta t_k) - \sum_{j=1}^{N-1} q_j \partial t \frac{\partial \Delta p_1}{\partial t}(\Delta t_k + t_p - t_{j-1/2}) \right] \quad 2.5$$

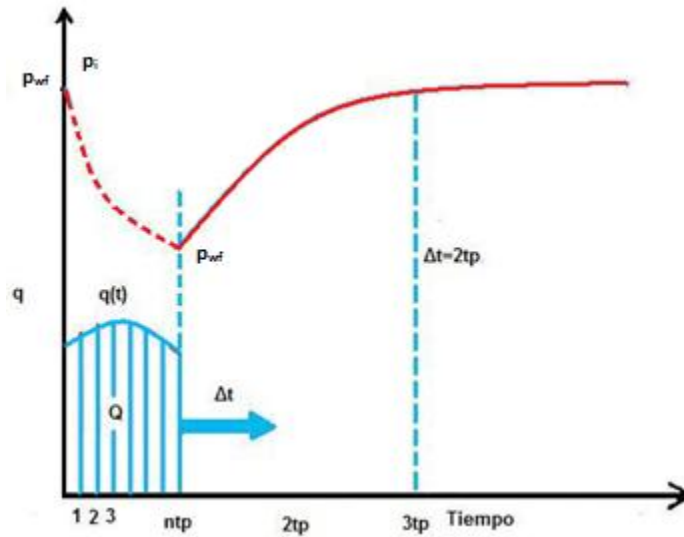


Figura 2.6: Datos de incremento de larga duración con gasto variable en el periodo de flujo (Cinco Ley et al, 1990)

Es conveniente dividir el periodo de flujo en un número de intervalos $n > 20$, de tal forma que la función influencia se pueda calcular para todo tiempo a través de las **ecuaciones 2.2, 2.4 y 2.5**.

Las **ecuaciones 2.4 y 2.5** requieren el valor de presión inicial de la formación antes del periodo de flujo. En ocasiones no se cuenta con una medición confiable de p_i ; en este caso, se puede calcular la segunda derivada de la función influencia como sigue:

Para $\Delta t \geq 2t_p$

$$\left. \frac{\partial^2 \Delta p_1}{\partial t^2} \right|_{\Delta t + t_p/2} = -\frac{1}{24Q} \frac{\partial p_{ws}}{\partial t}(\Delta t) \quad 2.6$$

Y para $\Delta t < 2t_p$

$$\frac{\partial^2 \Delta p_1}{\partial t^2} (\Delta t_k + t_p - t_{N-1/2}) = -\frac{1}{q_N \delta t} \left[\frac{\partial p_{ws}}{\partial t} (\Delta t_k) + \sum_{j=1}^{N-1} q_j \delta t \frac{-\partial^2 \Delta p_1}{\partial t^2} (\Delta t_k + t_p - t_{j-1/2}) \right] \quad 2.7$$

Debe mencionarse que las **ecuaciones 2.4, 2.5, 2.6 y 2.7** dan procesos estables de cálculo; es decir, el error introducido en cálculos iniciales no crece y por el contrario tiende a desaparecer. Lo anterior es consecuencia de que la función influencia varía cada vez menos a medida que el tiempo crece y los cálculos se llevan a cabo en tal orden que el tiempo decrece.

Los procedimientos que se han discutido para la estimación de la función influencia son generales y válidos para cualquier tipo de flujo (radial, lineal, esférico, bilineal, pseudoestacionario, etcétera).

Para analizar la primer derivada se usa la función $t \Delta p_1'$ como se muestra en la **Figura 2.4** y para analizar la segunda derivada se calcula la función $t^2 \Delta p_1''$ como se señala en la **Figura 2.7**. Aquí se observa que los flujos lineal, bilineal, radial y esférico son caracterizados por líneas rectas de pendiente 1/2, 1/4, 0 y -1/2, respectivamente. La función de segunda derivada es igual a cero para el almacenamiento y el flujo pseudoestacionario.

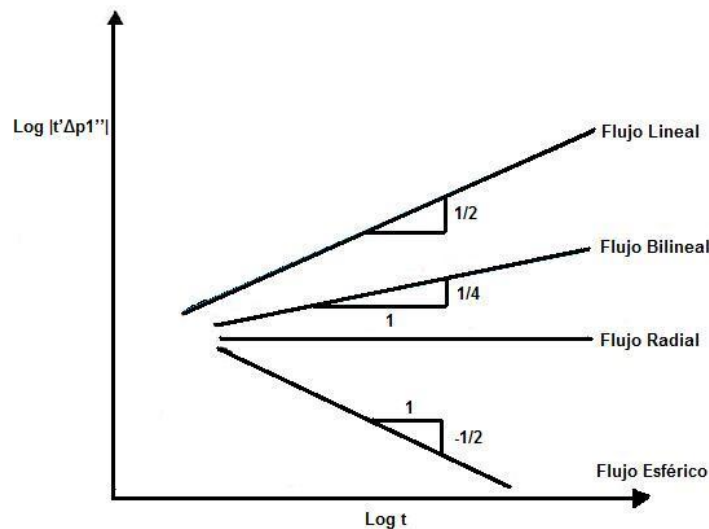


Figura 2.7: Diagnóstico de flujo con la segunda derivada (Cinco Ley et al, 1990)

2.1.6-Periodo de estabilización del flujo antes del cierre

Es práctica común estabilizar el flujo durante un cierto periodo antes del cierre, generalmente el gasto para el periodo de estabilización no necesariamente es igual al gasto que tenía el pozo. La diferencia entre el gasto inicial y el gasto estabilizado puede ser causada por la resistencia al flujo que presenta el sensor dentro del pozo.

La **Figura 2.8** muestra lo que ocurre en el pozo durante una prueba de incremento con periodo de “estabilización”. Inicialmente el pozo produjo con un gasto q_i durante un tiempo de producción t_{p1} ; enseguida se estabiliza el flujo a un gasto q_{est} durante un periodo t_{est} .

Posteriormente el pozo se cierra para tomar una prueba de incremento de presión, p_{wft} será la presión de fondo fluyendo que se hubiese observado si no hubiera cambiado el gasto.

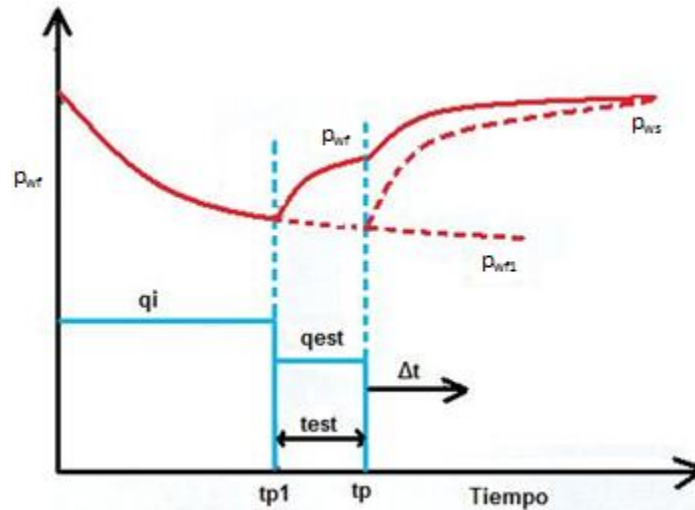


Figura 2.8: Prueba de incremento con periodo de estabilización de flujo (Cinco Ley et al, 1990)

Las circunstancias en que lo anterior ocurre originan que la interpretación de los datos de incremento generalmente sea errónea; esto debido a que los primeros datos de cierre están dominados por q_{est} y los últimos por q_i .

La **Figura 2.9** muestra el final del periodo dominado por el gasto “estabilizado” para flujos lineal, radial, esférico y bilineal. Se observa que q_{est} controla el comportamiento de presión durante un rango mayor de tiempo para flujo esférico. El menor rango de tiempo de control se tiene para flujo lineal.

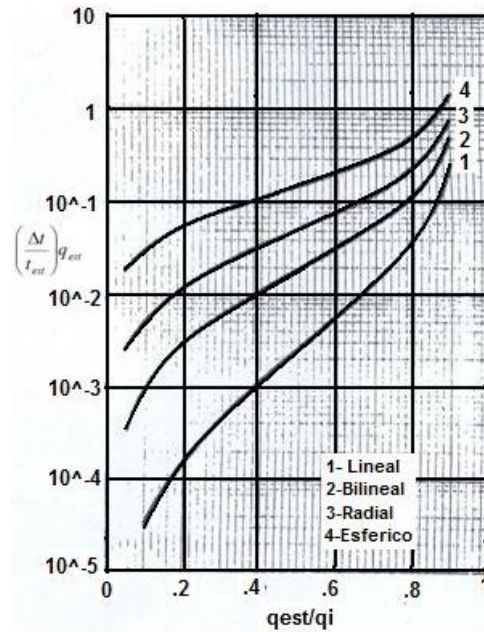


Figura 2.9: Tiempo de dominio del gasto estabilizado (Cinco Ley et al, 1990)

La **Figura 2.10** muestra el comienzo del periodo controlado por el gasto inicial q_i . En este caso se observa que para el flujo lineal el periodo controlado comienza a tiempos más pequeños; lo contrario ocurre para flujo esférico.

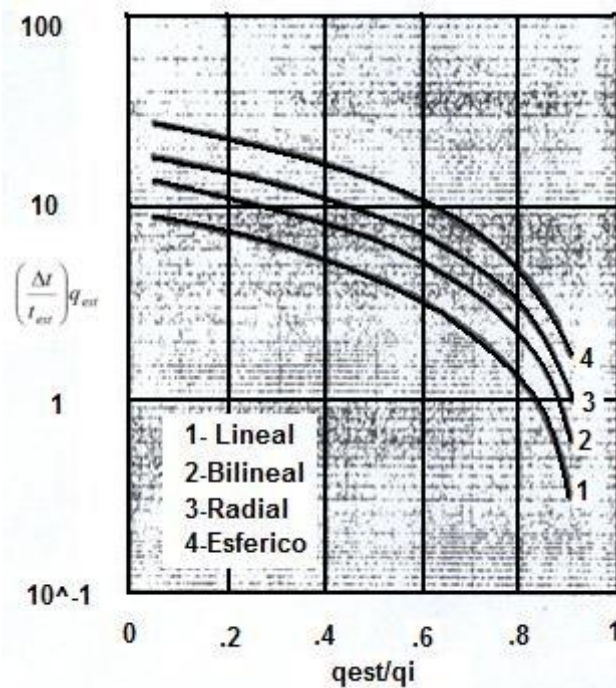


Figura 2.10: Tiempo de dominio del gasto inicial (Cinco Ley et al, 1990)

En la **Figura 2.10** se observa que el periodo de dominio del gasto estabilizado puede ser insignificante como sucede en el caso cuando q_{est} es pequeño, comparado con el gasto inicial ($10^{-4} \leq (\Delta t/t_{est})q_{est} \leq 10^{-2}$).

Por otro lado, el periodo de dominio del gasto inicial puede ocurrir a tiempos de cierre excesivamente grandes ($10 \leq (\Delta t/t_{est})q_i \leq 30$). Lo anterior es decisivo en el diseño de una prueba de incremento debido a que los datos de presión dentro del periodo comprendido entre $(\Delta t/t_{est})q_{est}$ y $(\Delta t/t_{est})q_i$ no son analizables de una manera general.

2.1.7-Metodología general de interpretación

Una técnica general de análisis de pruebas de incremento debe minimizar el número de suposiciones sobre las características del yacimiento. Por ejemplo, es conveniente no suponer la geometría de flujo en el área de drene para no introducir errores de concepto en la estimación de parámetros.

De acuerdo con la experiencia y limitaciones prácticas, una metodología general de interpretación de pruebas de incremento debe incluir las etapas siguientes:

- Revisión y suavización de datos
- Calculo de la función influencia y sus derivadas
- Diagnóstico de la geometría y tipo de flujo
- Aplicación de gráficas específicas o compuestas y curvas tipo
- Estimación de parámetros
- Validación de la interpretación

Cabe mencionar que el análisis de una prueba puede arrojar como resultado uno o varios modelos de interpretación aplicables. La definición del modelo correcto se logra tomando en cuenta información adicional sobre la formación, como la obtenida a través de registros de pozos.

Otro aspecto importante en el diseño de una prueba, es la definición del punto de cierre en el pozo, ya que con la tecnología actual es posible cerrarlo en cualquier punto. En los casos en que el efecto de la parte del yacimiento que se desea investigar ocurre a tiempos pequeños, es necesario llevar a cabo el cierre en el fondo para minimizar los efectos de almacenamiento, evitando así la distorsión de los datos de interés.

2.2- Métodos de interpretación

En esta sección se describirán los métodos que se han implementado para evaluar y analizar pruebas con un periodo corto de producción o inyección previo al cierre, tales como el método de

Soliman, técnica de fuente instantánea y prueba de Impulso, explicando su principio de análisis, así como sus consideraciones prácticas.

2.2.1-Método de Soliman

La gráfica log-log o grafica de Soliman fue especialmente diseñada para pruebas de incremento con un tiempo corto de producción o inyección. Esta, permite al usuario determinar fácilmente el tipo de geometría de flujo presente (lineal, bilineal o radial).

La **Figura 2.11** muestra el valor de la pendiente para flujo lineal, bilineal o radial, en una gráfica de $\log \Delta p$ vs $\log tp+\Delta t$.

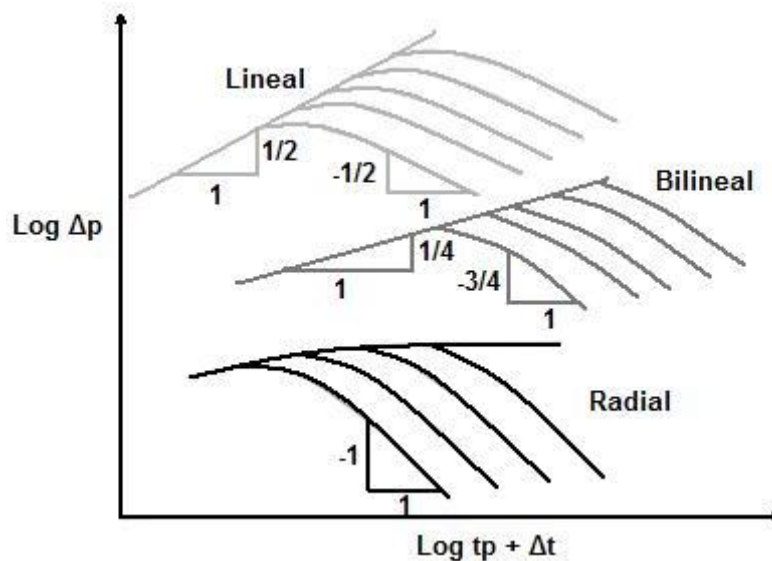


Figura 2.11: Muestra el valor de la pendiente para los diferentes regímenes de flujo (Cinco Ley, 2002)

Consecuentemente, puede ser usada para calcular la permeabilidad de la formación o la conductividad de la fractura en una manera similar al método semilog.

En una prueba de incremento, un periodo de producción de un pozo es seguido por un periodo de cierre. Usando la aproximación logarítmica en tiempos grandes y el principio de superposición, Horner llevo a la bien conocida ecuación para una prueba de incremento.

$$p_{ws} = p_i - \frac{162.6qB\mu}{kh} \log \frac{t_p + \Delta t}{\Delta t} \tag{2.8}$$

La **ec.2.8** puede ser graficada como una línea recta en una gráfica semilog, porque la ecuación es una solución para tiempos grandes para un yacimiento ideal, parecería que la línea recta debería estar colocada en el borde extremo de los datos de presión/tiempo. Esto no siempre es correcto,

debido a que una prueba de campo podría ser terminada antes de que la aproximación logarítmica pueda ser aplicable o que los efectos de frontera dominen los datos de tiempo tardío. También, los datos de incremento podrían no tener una línea recta si el coeficiente de almacenamiento es grande.

Así, la determinación de la localización de la línea semilog correcta podría llegar a ser difícil. Esta dificultad puede ser superada con el uso de curvas tipo de decremento para localizar la línea recta en escala semilog. Estas curvas tipo pueden ser usadas únicamente cuando el tiempo de producción es grande. Cuando el tiempo de producción es corto, las curvas tipo de decremento no serán aplicables, ya que los datos de presión/tiempo para una prueba de incremento con un tiempo de producción corto aún se parecerán a la curva tipo de decremento, sin embargo, esto dará un empalme incorrecto y consecuentemente malos parámetros del yacimiento.

Para resolver este problema, Agarwal presento una nueva función del tiempo que llamo "tiempo efectivo." El concepto de tiempo efectivo transforma los datos de los puntos de presión con respecto al tiempo en una nueva curva que coincide con la curva tipo de decremento. Aunque este método es realmente usado, tiene algunas limitaciones. Debido a la naturaleza de la transformación del tiempo, el límite superior del tiempo efectivo es el valor del tiempo de producción antes del cierre. Así, si el tiempo de producción es muy corto, Los datos transformados podrían llegar a ser demasiado cortos para un empalme confiable de curva tipo.

La aproximación de Soliman desarrollada especialmente para pruebas de incremento con un tiempo corto de producción difiere del método previo, el cual no cuenta con una técnica de empalme de curva tipo. Sin embargo, este método requiere del conocimiento de la presión inicial del yacimiento.

La aproximación clásica visualiza una prueba de incremento como una prueba en dos partes. En la primera parte, el pozo está fluyendo; en la segunda parte, el pozo está cerrado. La prueba es entonces simplificada con el uso del principio de superposición.

La prueba teóricamente llega a ser la combinación de un periodo de producción e inyección. La solución para tal prueba es la suma de las soluciones de ambas, el periodo de producción e inyección. Esta aproximación produce muchos resultados valiosos para una prueba de incremento con tiempo grande de producción. Sin embargo, esto podría ocultar algunas de las soluciones características para una prueba con un tiempo corto de producción.

Para investigar esta posibilidad, la prueba de incremento se observa como un conjunto. Los efectos de tiempos de producción y de cierre están incluidos en la condición de frontera interna de la ecuación diferencial gobernante.

2.2.1.1-Modelo matemático

Seis consideraciones son necesarias para el desarrollo de los modelos de flujo:

- 1) El pozo produce desde un yacimiento isotrópico, homogéneo, con permeabilidad k , porosidad \emptyset , espesor h , y situado en un yacimiento que actúa como infinito;
- 2) El yacimiento contiene un fluido ligeramente compresible, de compresibilidad c y viscosidad μ , independientes de la presión;
- 3) Los efectos gravitacionales y los gradientes de presión son despreciables en todo el yacimiento;
- 4) El yacimiento tiene una presión uniforme antes del inicio de la prueba;
- 5) El flujo de la formación es laminar y
- 6) Son considerados los efectos de daño y almacenamiento.

2.2.1.2-Modelo de flujo lineal

Este tipo de flujo usualmente ocurre en tiempo temprano, en un yacimiento fracturado, en donde la fractura es grande y de conductividad infinita. Para simular una prueba de incremento con este modelo, el flujo del fluido se asume que sigue un patrón estrictamente lineal. Si los efectos de ambos, almacenamiento (C) y daño (S), son considerados, el modelo puede ser fácilmente formulado y resuelto.

2.2.1.3-Modelo de flujo bilineal

El mismo concepto que es usado en el modelo de flujo lineal es aplicado nuevamente para un pozo que intercepta una fractura vertical con conductividad finita.

2.2.1.4-Modelo de flujo radial

Consideramos una prueba de incremento de un pozo localizado en un yacimiento infinito, la prueba será modelada con la aproximación discutida en las dos secciones previas.

Para modelar esta prueba se tiene la siguiente ecuación, la cual considera la presión en psi y el tiempo en horas.

$$\frac{kh}{70.6qB\mu} \Delta p = \frac{t_p}{t} \quad 2.9$$

$$\log \Delta p = \log \frac{70.6qB\mu t_p}{kh} - \log t \quad 2.10$$

En donde se tiene que q es el gasto de inyección o producción previo al cierre, dado en $Bls/día$, B es el factor volumen del aceite dado en $Bls@c.y/Bls@c.s$, μ es la viscosidad del aceite en cp , t_p es igual al tiempo de producción o inyección (t_i), k es la permeabilidad en mD , h es el espesor neto de la formación dado en pies y Δp es el diferencial de presión dado en psi .

Las **ec. 2.9** y **2.10** pueden ser graficadas como líneas rectas. La **ec. 2.10** sin embargo, tiene la ventaja de tener la línea recta con una pendiente conocida (pendiente negativa unitaria). Aunque cualquiera de las dos **ec. 2.9** y **2.10** puede ser usada en el análisis de datos, únicamente la **ec. 2.10** será usada.

2.2.1.5- Aplicación del modelo de flujo radial

El modelo radial desarrollado es una aproximación en el análisis de pruebas de incremento con tiempo de producción corto. La presencia de una línea recta con pendiente negativa unitaria en la grafica propuesta, indica el inicio de una línea recta semilog en la gráfica de Horner. Esta observación puede ser demostrada cuando la **ec. 2.10** es reescrita de la forma siguiente:

$$p_i - p_{ws} = \frac{-70.6qB\mu}{kh} \ln\left(1 - \frac{t_p}{t_p + \Delta t}\right) \quad 2.11$$

Si Δt es mucho más grande que t_p , entonces la **ec. 2.11** se aproxima a la **ec. 2.12**.

$$p_i - p_{ws} = \frac{70.6qB\mu}{kh} \frac{t_p}{t_p + \Delta t} \quad 2.12$$

La **ec. 2.12** es la misma que la **ec. 2.9**. La diferencia entre las **ecuaciones 2.11** y **2.12** decrece cuando $\Delta t/t_p$ llega a ser grande. Si $\Delta t/t_p = 10$, la diferencia relativa entre las dos ecuaciones es 4.8%. La diferencia entre la **ec. 2.12** y la solución exacta (expresada en la forma de integral exponencial) es incluso más pequeña.

Así, con el uso de la **ecuación 2.10**, se puede determinar el modelo que se requerirá para analizar los datos de presión y tiempo, logrando así, una buena estimación de la permeabilidad. Sirviendo esta para otro tipo de análisis.

Note que el desarrollo del modelo requiere bastante exactitud de la estimación de la presión inicial del yacimiento. En algunos casos, la diferencia entre dicha presión y la de cierre puede ser

muy pequeña, como consecuencia, el método propuesto podría requerir mucha exactitud en la presión inicial del yacimiento.

2.2.2-Análisis de pruebas de presión a través del uso del concepto de la respuesta de presión debida a una fuente instantánea

Esta técnica, desarrollada por Cinco ley, Samaniego y cols. Se basa en la respuesta de la presión debida a una fuente instantánea y provee un medio para calcular la primera y segunda derivada de la función influencia (respuesta de gasto unitario) del sistema pozo-yacimiento. Dicha información es básica para identificar los regímenes de flujo ocurridos durante la prueba. El método elimina el efecto de tiempo de producción sobre los datos de incremento de presión.

Muchos de los métodos desarrollados para analizar pruebas de incremento de presión asumen flujo radial; en la práctica, esto no siempre es válido. Por ejemplo: un pozo penetrado parcialmente y un pozo fracturado exhiben regímenes diferentes al flujo al radial.

Para identificar los regímenes de flujo presentes en una prueba es requerido el cálculo de la función influencia.

Una vez que la función influencia es calculada, pueden ser aplicados métodos de identificación de regímenes de flujo como se indico previamente.

La técnica también permite eliminar el efecto de ambos, tiempo de producción y gasto variable previo al cierre, para una prueba de incremento.

2.2.2.1-Respuesta de presión para un retiro instantáneo de fluido de una formación

El concepto de “fuente instantánea” implica una rápida extracción o inyección de fluido a la fuente, creando un cambio de presión a través del sistema (**Figura 2.11**).

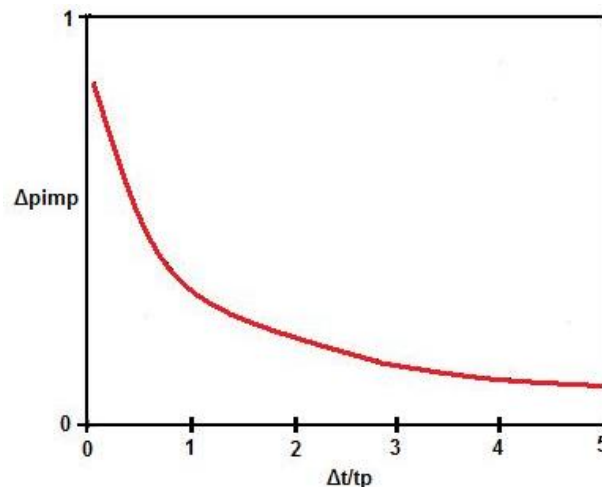


Figura 2.11: Caída de presión causada por una fuente instantánea (Cinco Ley et al, 1986)

La **Figura 2.12** muestra este comportamiento para flujo radial.

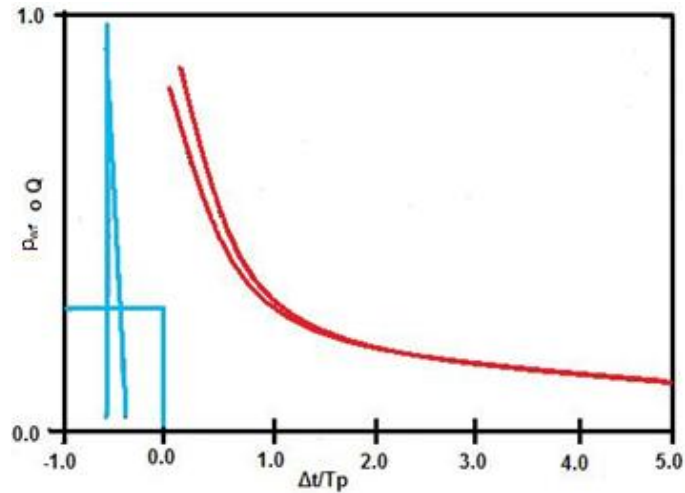


Figura 2.12: Caída de presión causada por una fuente instantánea (Cinco Ley et al, 1986)

La respuesta de presión después de remover fluido depende de la geometría del sistema, en algunos casos, una respuesta de presión puede incluir varios regímenes de flujo como se indicó antes.

Para las **Figuras 2.13** y **2.14**, la diferencia entre la respuesta de presión es menor que 2.5% para $\Delta t > 2t_p$ y decrece como el tiempo de cierre incrementa.

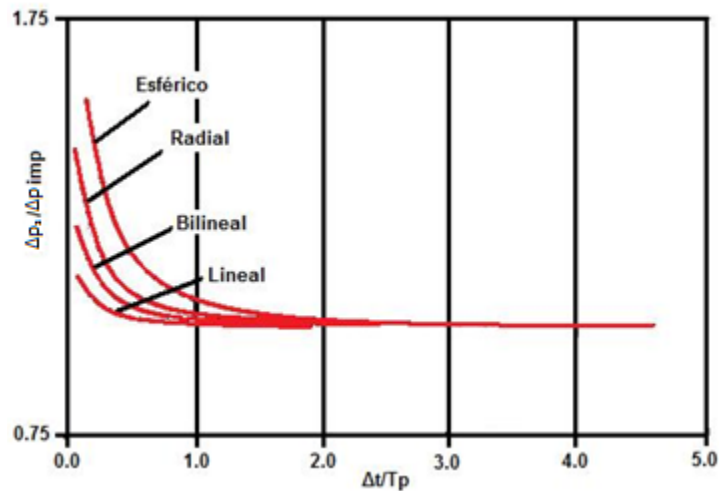


Figura 2.13: Relación de la caída de presión para diferentes regímenes de flujo (Cinco Ley et al, 1986)

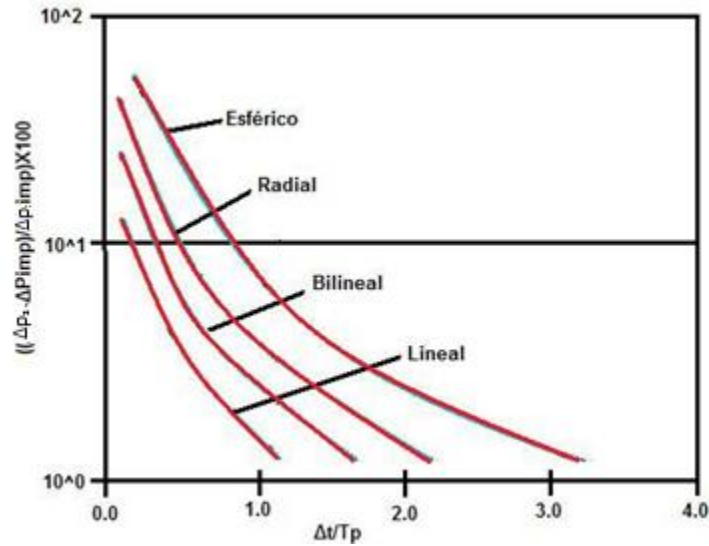


Figura 2.14: Diferencias de porcentaje en caídas de presión entre las respuestas de una fuente instantánea para diferentes regímenes de flujo (Cinco Ley et al, 1986)

La **expresión 2.13**, es usada por Cinco Ley para el análisis de la prueba de impulso:

$$\frac{\partial \Delta p_1}{\partial t} \approx \frac{1}{Q} \Delta p_p \quad 2.13$$

2.2.2.2-Aplicaciones del análisis de pruebas de presión

La estimación de la derivada de la función influencia a partir de la medición de la presión, usando la aproximación de fuente instantánea, se emplea por ser apropiada para el análisis de tiempos grandes de cierre de incremento de presión y datos fall-off. La **ec. 2.13** puede ser aplicada para este propósito con tiempos de cierre tan grandes como dos veces el tiempo de producción, como sigue:

$$\frac{\partial \Delta p_1}{\partial t} (\Delta t + t_p / 2) = \frac{1}{24Q} (p_i - p_{ws}(\Delta t)) \quad 2.14$$

En donde Δp_1 es expresada en *psi/STB/día* y Q esta dado en *STB*

La **Figura 2.15** ilustra la aplicación de esta técnica para calcular la derivada de la función influencia de una prueba de incremento, posteriormente, esta función puede ser analizada usando una curva tipo de decremento.

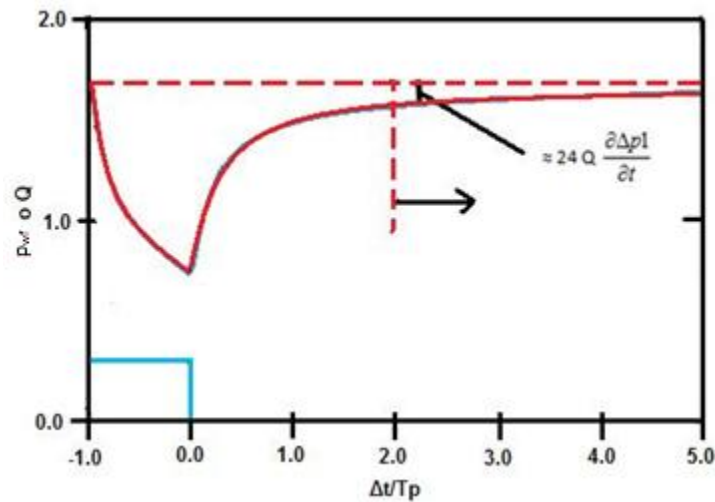


Figura 2.15: Aproximación de la primera derivada de la función influencia (Cinco Ley et al, 1986)

Aunque este método es simple, los aspectos siguientes deben ser tomados en cuenta cuando se aplique:

- La presión inicial debe ser conocida;
- La derivada de la función influencia debe ser evaluada al tiempo $\Delta t + t_p/2$;
- La producción acumulada antes del cierre debe ser medida;
- El análisis es válido para tiempos grandes de cierre ($\Delta t > 2t_p$);
- El análisis es válido para cualquier tipo de régimen (lineal, bilineal, radial, esférico, etcétera).

Una vez que la derivada de la función influencia se conoce, y aplicando la función de derivada $t \frac{d\Delta p_1}{dt}$ definida por Bourdet, puede ser hecho un diagnóstico como se indica en la **Figura 2.4**.

A continuación se describirán brevemente las ventajas de aplicar el método de fuente instantánea:

- 1- Este método reduce el efecto del tiempo de producción de tal forma que se puedan aplicar curvas tipo de decremento;
- 2- El método se basa en la respuesta de presión de una fuente instantánea y puede tomar en cuenta las variaciones del gasto antes del cierre;
- 3- El método permite determinar el régimen de flujo presente durante la prueba;

4- Esta técnica no asume ningún tipo de régimen de flujo y puede ser aplicada siempre que el principio de superposición sea válido para cualquier tipo de sistema pozo-yacimiento (homogéneo, doble porosidad, pozo fracturado, penetración parcial, etcétera);

5- Si la presión inicial del yacimiento es conocida, la primera derivada de la función influencia del sistema puede ser estimada directamente desde su nivel de presión;

6- Si la presión inicial del yacimiento es desconocida, entonces la segunda derivada de la función influencia puede ser calculada de la primer derivada del cierre;

7- Este procedimiento aplicará siempre que el tiempo de cierre sea al menos dos veces el tiempo de producción;

8- El cálculo de la presión inicial será posible si la prueba incluye un régimen de flujo definido (radial, bilineal, lineal o flujo esférico).

2.2.3-Prueba de impulso

Como ya se ha comentado, las pruebas de presión son el único medio para evaluar las características de yacimientos de aceite y gas bajo condiciones dinámicas. Los procedimientos de las pruebas están establecidos para pozos fluyentes y para tiempos grandes (varias horas o varios meses), ciertos análisis que se han desarrollado, tales como el método de la derivada de la presión, la derivada de la función influencia, la función de Bourdet, etc. Han aumentado las técnicas de interpretación. Además, el uso de computadoras in-situ para la adquisición de datos y análisis, aseguran que las pruebas se conduzcan eficientemente hacia el alcance de sus objetivos.

Cuando el flujo hacia la superficie no es posible o no es el deseado, la interpretación de la prueba puede llegar a ser difícil o inconclusa.

El método se enfoca en pozos que no fluyen a la superficie o en donde la duración del periodo de flujo podría no ser la deseada, por ejemplo: problemas de arenas, formaciones extremadamente vugulares y compactas en donde las pruebas con línea de acero fallarían en su operación.

La técnica requiere del conocimiento de la presión inicial del yacimiento y de los parámetros resultantes incluidos kh y S . La prueba de impulso puede también ser usada para detectar y evaluar heterogeneidades del yacimiento cercanas al pozo.

De la misma manera que el método de fuente instantánea, la formación es sometida a un impulso del gasto creado por un periodo corto de producción o inyección. El método requiere medir la cantidad de fluido producido o inyectado y las variaciones de presión correspondientes como una función del tiempo.

El procedimiento de una prueba de impulso es una forma fácil y extremadamente rápida de una prueba de pozo. El pozo es primero puesto a producir o inyectar por 3 o 4 minutos y después es cerrado por un periodo en donde Δt debe ser mayor que dos veces el tiempo de producción o inyección ($\Delta t > 2tp$).

Únicamente una pequeña cantidad de fluido es removida o inyectada a la formación durante el periodo de impulso, así los disturbios de presión asociados serán pequeños.

Aunque se requieren medidores de presión de alta resolución para estudiar exactamente los pequeños cambios en la respuesta de presión del yacimiento durante el periodo de cierre, la profundidad de investigación de una prueba de impulso es relativamente pequeña en comparación con las pruebas convencionales. Esto es debido a la corta duración del impulso y de los periodos de cierre, también como los pequeños cambios desarrollados durante la prueba. Por tal motivo, la prueba de impulso es más apropiada para ser usada en la detección de características cercanas al pozo.

2.2.3.1-Antecedentes

La posición de la zona de hidrocarburos es comúnmente probada mediante la medición del decremento de la presión y gastos como una función del tiempo durante una secuencia de abrir y cerrar el pozo, también son evaluadas las características físicas de los fluidos. Esas mediciones son analizadas in-situ durante el desarrollo de la prueba, para lo cual se pueden emplear diferentes métodos de interpretación. El más conocido es el método de Horner; en el cual, una parte de los datos se encuentran en flujo radial y mostrando una línea de tendencia lineal que es usada para determinar las características físicas de la formación. Las curvas tipo representan la respuesta de presión global de pozos fluyendo o cerrados, estas, también son usadas para una variedad de configuraciones del yacimiento; las graficas log-log dan el comportamiento de un yacimiento y la identificación de los diferentes regímenes de flujo, tales como el flujo radial.

Por otro lado, el análisis de la derivada de la función influencia con respecto a la apropiada función del tiempo es de gran ayuda, este emplea una gráfica log-log para analizar el patrón de flujo que se tendría en el pozo.

Los beneficios de este método partiendo de las ventajas de ambos análisis log-log y semilog, son que provee en una gráfica simple un análisis de la respuesta global con una gran claridad y exactitud, porque la derivada incrementa pequeños fenómenos de interés y da una excelente indicación del comportamiento del yacimiento.

2.2.3.2-Descripción

La prueba de impulso consiste en un periodo corto de inyección o producción, seguido de un periodo de caída (fall off) o incremento (build up). Requiere mediciones exactas de la variación de la presión respecto al tiempo y de la cantidad total de fluido inyectado o producido.

2.2.3.3-Principio de análisis

Cuando una formación se somete a una fuente instantánea de fuerza unitaria o Delta de Dirac (**Figura 2.12**), las variaciones de la presión resultante respecto al tiempo son dadas por las funciones de Green, las cuales han sido usadas en la literatura petrolera por varios autores. Matemáticamente, las funciones de Green son las derivadas respecto al tiempo de las clásicas soluciones adimensionales desarrolladas como curvas tipo. Eso lleva a que si sometemos una formación a una fuente instantánea de unidad de fuerza, las variaciones de presión subsecuentes (no sus derivadas) ajustaran directamente sobre la curva apropiada de la derivada de la presión.

Por otro lado, si se analiza la gráfica log-log de la función de derivada de la función influencia contra la correcta función del tiempo, empleando la función de derivada definida por Bourdet et al. Y empleando un análisis semilog, se pueden obtener los regímenes de flujo presentes en la prueba.

2.2.3.4-Método de análisis

La teoría del método de impulso asume que un volumen unitario de fluido es instantáneamente removido o inyectado de o a la formación durante el periodo de impulso. La teoría muestra que los cambios de presión resultantes en el yacimiento son proporcionales a la derivada de la respuesta de la caída de presión en el yacimiento.

En la práctica, el periodo de impulso no es instantáneo porque la remoción o inyección del fluido toma un periodo finito de tiempo, el volumen de fluido que se extrae o que se inyecta debe ser tal que pueda crear un disturbio de presión lo suficientemente largo para ser medible. Los cambios de presión en el yacimiento producidos por este cambio en el volumen de fluido inicialmente no siguen la teoría y no empalman con la curva de la derivada de la presión. Afortunadamente estos efectos se disipan rápidamente una vez que la duración del impulso llega a ser pequeño, comparado con la extensión de la prueba. Generalmente la respuesta de presión empalma con la curva de la derivada de la presión una vez que el cierre excede dos veces el tiempo de impulso.

Cuando esta condición es satisfecha o cuando la duración del impulso es instantánea, la respuesta de la presión puede ser escrita como:

$$(p_i - p)\Delta t = \frac{3388.8Q_i\mu}{kh} p_D \text{ para } \Delta t \gg t_p \quad 2.15$$

Durante el periodo de producción, las variaciones de presión son dadas por la ecuación clásica:

$$p_i - p = \frac{141.2qB\mu}{kh} p_D \text{ para } \Delta t \leq t_p \quad 2.16$$

Si multiplicamos las variaciones de presión durante el periodo de impulso por la duración del impulso, tenemos que:

$$(p_i - p)t_p = \frac{3388.8Q_i\mu}{kh} p_D \text{ para } \Delta t \leq t_p \quad 2.17$$

Las **ec. 2.15** y **2.17** indican el uso de los grupos de presión sobre los resultados del lado izquierdo en el mismo macheo del grupo de presión para los datos de producción o inyección y para el siguiente buildup/falloff. Siguiendo eso, multiplicando las variaciones de presión durante el periodo de impulso por la duración del periodo:

$$(p_i - p)t_p \quad \text{Para } \Delta t \leq t_p \quad 2.18$$

Y los cambios de presión durante el cierre subsecuente por los tiempos que han pasado desde el inicio de la prueba:

$$(p_i - p)\Delta t \quad \text{Para } \Delta t \geq t_p \quad 2.19$$

Resulta una gráfica *log-log* que puede ser empalmada directamente sobre las curvas tipo existentes de presión y de la derivada de la presión.

Siendo así, cualquier impulso creara una señal que teóricamente llevará toda la información con la cual se podrá caracterizar el yacimiento. En la práctica, sin embargo, únicamente algunas partes de la señal pueden ser medidas debido a los límites de resolución de la herramienta para medir la presión.

En otras palabras, el análisis de los datos de la prueba de impulso requiere mediciones exactas de la cantidad de fluido removido o inyectado y las modificaciones de la respuesta de presión medidas, así, estas pueden ser macheadas directamente con el desarrollo de curvas tipo. Los datos son modificados multiplicando el cambio de presión observado durante el periodo de cierre por el tiempo transcurrido desde el final del periodo de impulso, de igual manera los cambios de presión durante el periodo de impulso son multiplicados por la duración de este periodo.

Una gráfica *log-log* de la transformada de datos de presión contra el tiempo de cierre podrá ser macheada con las curvas tipo de decremento seleccionadas o empleando un análisis semilog para obtener los parámetros del yacimiento.

2.2.3.5-Discusión del análisis de impulso

Frecuentemente, el gasto no es constante durante el periodo corto de flujo y el macheo en el tiempo temprano no es exacto. En estos casos, la respuesta es definida únicamente durante el régimen de flujo radial en el periodo de cierre, con una estabilización de la respuesta de presión sobre la línea de derivada de $\frac{1}{2}$. El coeficiente de almacenamiento C y el parámetro $C_D e^{2s}$ de la curva tipo son difíciles de definir, y el cálculo del daño es aproximando.

Para un análisis exacto de la prueba de impulso, la presión inicial debe ser conocida. Cuando la p_i es desconocida, Cinco et al. (1986) propuso empezar por analizar la derivada del impulso, con la segunda derivada de la curva tipo.

La derivada de la función influencia por la respectiva función del tiempo tampoco comprime la escala del tiempo. Cuando la respuesta de la derivada puede ser definida exactamente, esto ofrece la mejor alternativa para el análisis de las pruebas de incremento, no importando la duración del periodo de flujo t_p y el tiempo de cierre Δt . El análisis de la derivada no es afectado por un posible error en la presión inicial, y la curva de presión puede ser usada para estimar el daño exactamente.

2.2.3.6-Consideraciones prácticas

La técnica de análisis es ventajosa para varios impulsos cortos idealmente instantáneos, que en la práctica podrían ser algunos minutos. Las técnicas convencionales podrían ser usadas, pero la gráfica de Horner podría comprimir los datos y los cálculos del daño serán incorrectos a menos que el flujo radial se obtenga durante el periodo de producción. El ajuste de la clásica curva tipo también llegaría a ser difícil sin el apoyo de un software, debido a que en los periodos cortos de flujo las curvas tipo de incremento son completamente diferentes de las curvas tipo de decremento normalmente usadas.

Para agregar confiabilidad, una combinación del impulso con otras técnicas de análisis es recomendado cuando sea posible.

El método de impulso ha sido también usado para analizar pruebas de incremento después de periodos de producción relativamente grandes (Cinco et al., 1986), cuando $\Delta t \gg t_p$, el cambio de presión ($p_i - p_{ws}$) es analizado contra $t_p + \Delta t$ y así evitando el efecto de compresión del tiempo de Horner sobre el análisis de la gráfica.

Como se vio anteriormente, Soliman propuso una gráfica de $(p_i - p_{wf})$ vs $(t_p + Dt)$, uso esta gráfica para detectar líneas rectas representando un flujo radial ($m = -1$) y flujo lineal ($m = -0.5$). Estos resultados pueden ser predichos directamente cuando la derivada de la presión con respecto al tiempo es usada, porque la derivada muestra las características de las líneas rectas mencionadas arriba. En los casos donde el tiempo de producción es grande, se puede desaprovechar

información significativa con la pérdida de datos de tiempo temprano, y un tiempo más grande sería requerido para llegar a la línea de flujo radial. El uso del método de derivada de la presión entonces ofrecería una mejor alternativa.

La amplitud de las variaciones de presión durante y después de la producción del impulso dependerá de las características de la formación y de la cantidad total de fluido producido o inyectado, por ejemplo: una alta transmisibilidad del yacimiento requerirá una cantidad más grande de fluido producido o inyectado para crear una amplitud medible de variación de presión. Por tal razón, la prueba de impulso podría ser difícil para yacimientos con muy alta transmisibilidad.

2.2.3.7-Puntos de énfasis

1. La interpretación técnica es ventajosa para un impulso muy corto. A medida que la duración del impulso llega a ser significativa, es recomendable que el procedimiento de impulso se combine con otros métodos siempre que sea factible. Esto requerirá buenas mediciones de gasto e incrementará la veracidad de los análisis;

2. La aplicación de la técnica es general y se puede adaptar bien a pruebas en pozos nuevos siempre de que el flujo a la superficie no fuese el deseado por una duración significativa. El método provee una evaluación de bajo costo del yacimiento y condiciones en la vecindad del pozo antes de la terminación;

3. Este tipo de prueba puede ser analizada siempre de que sean usados medidores de alta resolución. En el caso de formaciones con muy alta transmisibilidad, la amplitud podría caer rápidamente por debajo del nivel de resolución del medidor.

Aunque un análisis cuantitativo podría no ser posible en tales casos, los datos aún indicarán cualitativamente las condiciones en la vecindad y un gasto de formación.

CAPÍTULO III

PRUEBA MINI-FALL-OFF

3.1-Introducción

En algunos casos, para yacimientos no convencionales de gas y/o aceite, comúnmente es difícil obtener resultados confiables a través del análisis de una prueba de incremento convencional, porque el tiempo requerido para alcanzar el FRAI (Flujo Radial que Actúa en un Yacimiento Infinito) podría ser mucho más largo que el tiempo normal permitido para las operaciones, en otros casos, la imposibilidad del pozo para producir después de ser perforado, hace el escenario a veces muy difícil de solucionar.

Dentro de éste entorno una prueba Mini-Fall-Off (MFO) juega un papel de gran relevancia, ya que nos proporcionará un excelente punto de inicio para estimar ciertos parámetros de la formación, tales como la permeabilidad (k), transmisibilidad (kh/μ) y el gradiente de fractura.

El periodo de cierre que sigue después de una prueba MFO contiene los periodos de flujo pseudolineal y pseudoradial. Por lo que, si se realiza un análisis del periodo pseudoradial, este nos proporcionará la transmisibilidad del yacimiento (Kh/μ) y la presión inicial del yacimiento (p_i), empleando para esto el análisis de Horner o una técnica similar. Estos dos parámetros jugarán un papel crucial en la optimización del diseño de una fractura y en la predicción del gasto.

Por otro lado, el comportamiento de la presión después del cierre es independiente de las propiedades físicas que gobiernan a la propagación de la fractura y dependen únicamente del fluido de filtración, del tamaño de la fractura y de los parámetros del yacimiento.

Se debe destacar que esta técnica solo determina la presión y la transmisibilidad de cuerpos de arena individuales.

3.2-Descripción de una prueba MFO

Una prueba MFO consiste en:

- 1- La inyección de un pequeño volumen de fluido para crear una fractura corta y
- 2- Un periodo de cierre (tiempo de declinación) después de la inyección para registrar la presión

El periodo después del cierre (presión transitoria del yacimiento cercana al pozo) proporciona:

- a) Periodo de flujo pseudolineal: El cual puede ser empleado para determinar el tiempo de cierre, el incremento de la pérdida de fluido y el tamaño de la fractura;

b) Periodo de flujo pseudoradial: La presencia de éste periodo depende del tiempo de declinación que se le permita al pozo. El tiempo tardío de declinación de la presión en el periodo pseudo-radial puede ser analizado en una manera similar a los métodos tradicionales de pruebas de pozo para determinar la transmisibilidad y presión del yacimiento.

La declinación de la presión en tiempo tardío involucra desde el periodo de flujo pseudolineal hasta el periodo de flujo pseudoradial permitiendo que la presión del yacimiento y la transmisibilidad sean determinadas usando métodos similares al análisis de Horner. El flujo radial después del cierre será una función del volumen inyectado, de la presión del yacimiento, de la transmisibilidad y del tiempo de cierre.

3.3-Diseño de una prueba MFO

Con la premisa de obtener los parámetros del yacimiento con la mayor exactitud posible y planear una aplicación exitosa de una prueba MFO, se tiene un requerimiento mínimo de información, tal como sigue:

a.- Información del yacimiento: Un conocimiento previo de la presión asegura una correcta planeación de la prueba MFO y valida la solución analítica obtenida. Esta información podría ser obtenida durante la fase de registros en agujero abierto, correlacionando pozos cercanos, de la presión de fondo fluyendo estabilizada antes del bombeo, etcétera;

b.- Información de los estratos: Es necesaria la información acerca de la complejidad del yacimiento. La técnica MFO es recomendada para un solo estrato con solo un intervalo perforado para eliminar soluciones ambiguas;

c.- Fracturas naturales: Cualquier información que contemple la presencia de fracturas naturales es necesaria, debido a que el comportamiento de la presión dependiente del fluido de inyección, incrementará la filtración a la formación y esto dará una sobre y/o baja estimación de la permeabilidad de la matriz durante la interpretación;

d.- Estimación de la Presión de Cierre: Una estimación de la presión de cierre es requerida para planear una selección de los equipos superficiales;

e.- Estimación de la Permeabilidad del Yacimiento: Con el propósito de diseñar un buen programa de bombeo (fracturamiento hidráulico y MFO) una estimación de la permeabilidad es requerida aún si la prueba MFO proporcionara éste parámetro.

3.4- Información del pozo:

- a) Terminación del pozo: Es necesario calcular el volumen de la vecindad que tiene el pozo. Teniendo en cuenta que la terminación debe realizarse con base en la máxima presión en la cabeza que pueda “matar” a la formación;
- b) Tipo de fluido dentro del pozo: Se debe tener un fluido conocido en la vecindad del pozo;
- c) Intervalo Perforado: Podría ser el intervalo donde se tendrá el fluido de filtración;
- d) Registro de la presión antes y después de la perforación: Esta información es requerida para ejecutar la prueba MFO en un yacimiento sin disturbio de presión;
- e) Pozo existente o nuevo: Configuración del pozo y operaciones a la formación;
- f) Equipos en la Cabeza del Pozo: Los equipos de cabeza de pozo deben soportar la presión para “matar” el pozo.

3.5- Selección del fluido, duración del periodo de flujo y del tiempo de cierre

- a) Selección del Fluido: Es indispensable un fluido incompresible. Se recomienda el uso de un fluido de terminación sin aditivos para el control de filtración. Esto excluye fluidos poliméricos o fluidos de alta viscosidad. Los datos de presión de tiempo tardío se relacionan con la movilidad total de los fluidos del yacimiento a la saturación original del yacimiento. El cambio de presión se puede controlar porque ocurre en el yacimiento, y no es afectado por el fluido de inyección, el cual es usado para crear el disturbio de presión;
- b) Gasto y Tiempo de Cierre: Para alcanzar el flujo pseudoradial una buena estimación del gasto y del tiempo de cierre podría ser obtenida con la siguiente relación:

$$q(bpm) < 5 \times 10^{-6} \frac{kh}{\mu} (p_c - p_r) \quad 3.1$$

En donde p_c es la presión al momento del cierre y p_r es la presión del yacimiento antes del bombeo, ambas en psi.

Para yacimientos con baja permeabilidad se debería bombear con un gasto bajo y poco volumen de fluido.

3.6-Ejecución de una prueba MFO

Los siguientes pasos son recomendados para evitar problemas durante la interpretación de la prueba MFO:

- a) Pozo Candidato: Un pozo candidato para un fracturamiento no significa un buen candidato para aplicar la técnica MFO. Para yacimientos con baja presión es difícil obtener información exacta y en la mayoría de los casos no son buenos candidatos para implementar una prueba MFO. Para el caso de un fracturamiento hidráulico, una prueba MiniFrac dará la información requerida para optimizar el fracturamiento;
- b) Equipos superficiales y sub-superficiales: Las herramientas para medir la presión de fondo fluyendo son sumamente recomendadas para registrar dicha presión. Al igual que el registro de la presión, es de igual importancia un registro del volumen inyectado al pozo;
- c) Volumen bombeado: Inyectar solo el volumen necesario para fracturar la formación con un gasto lo más bajo posible. Esto reducirá el tiempo de cierre para alcanzar el flujo pseudoradial (El tiempo de cierre es directamente proporcional al volumen inyectado);
- d) Nivel del Fluido del Pozo: Una columna llena (libre de gas) es lo más apropiado para minimizar la expansión del fluido durante el periodo de declinación. Esto facilitara la medición del volumen bombeado a la formación;
- e) Ruptura de la Formación: Después de romper la formación no es necesario tener una presión estabilizada para la interpretación de la prueba MFO;
- f) Periodo de Cierre: Durante la declinación de la presión en la cabeza y de la presión de fondo fluyendo se recomienda ir registrando dichas presiones;
- g) Interpretación en Tiempo Real: Es recomendable tener un ingeniero presente con experiencia para supervisar la operación completa y la interpretación de la prueba. Esto reducirá el tiempo operativo, optimizando el proceso completo de la prueba y/o del fracturamiento hidráulico en su defecto.

3.7-Interpretación de una prueba MFO

Como se ha descrito en el Capítulo II, existen diferentes métodos de interpretación para pruebas con un periodo corto de producción o inyección (método de Soliman, prueba de fuente instantánea, prueba de Impulso). En el Capítulo IV, se analizará el ejemplo de una prueba Mini-Fall-Off mediante los métodos descritos anteriormente.

CAPITULO IV

APLICACIONES DE CAMPO

4.1-Métodos de interpretación que se aplican en campo

Como se explico en el Capítulo II, existen diferentes métodos de interpretación para pruebas con un periodo corto de producción o inyección previo al cierre, tales como el método de Soliman, método de fuente instantánea y el método de Impulso. Con base en esto, se realizara la interpretación de tres casos de campo, empleando para ello el método de Soliman y el método de Impulso. Cabe destacar que el método de fuente instantánea actualmente no se aplica o se aplica con poca frecuencia, debido a que el método de Impulso tiene como base el concepto de respuesta de presión debida a una fuente instantánea, por lo tanto es más usual aplicar dicho método.

El análisis que se presentará, el cual puede ser llevado a cabo mediante diferentes tipos de software especializados en pruebas de presión, fue realizado empleando Microsoft Excel ya que en campo, es una forma fácil, de bajo costo y rápida de obtener los parámetros deseados.

4.2- Pasos a seguir durante la interpretación

Durante la aplicación de los métodos, se llevaron a cabo una serie de pasos que ayudaron a mantener un orden durante la aplicación de éstos, evitando así confusiones y errores durante su aplicación.

El análisis se realizo con los datos de p_{wf} y Δt al momento del cierre, por lo tanto, este será el punto de partida.

4.2.1- Método de Soliman

1.- **Graficar los datos de Δt vs p_{wf}** con el fin de observar gráficamente el tipo de prueba que se llevo a cabo, incremento o decaimiento, debido a que el número de datos puede ser muy grande y esto podría complicar su interpretación, también, es más fácil observar el tiempo de duración de la prueba y la caída o incremento de presión que se obtuvo.

2.- **Obtener los datos de $\Delta t+tp$ vs Δp** en horas y psi respectivamente, en donde $\Delta p = p_{wf} - p_i$.

3.- **Graficar los valores de $\Delta t+tp$ vs Δp en una grafica log-log**, y colocar una o más líneas de tendencia (dependiendo de la cantidad de geometrías de flujo que se detecten) procurando que el número de ciclos que se tiene en el eje de las abscisas ($\Delta t+tp$) sea igual al número de ciclos del eje de las ordenadas (Δp).

4.- **Realizar el diagnóstico de flujo**, una vez obtenida(s) la(s) línea(s) de tendencia se debe(n) obtener la(s) pendiente(s) de dicha(s) línea(s) y empleando la **Figura 2.11**, de donde se sabe que una pendiente con valor de $-1/2$, $-3/4$ y -1 corresponden a un flujo lineal, bilineal y radial respectivamente, se determina(n) el(los) patrón(es) de flujo que se presenta(n) durante la prueba, con el fin de identificar cual será el modelo que se empleará.

5.- **Aplicación del modelo**, una vez que se realiza el diagnóstico de flujo, se debe de determinar el modelo que se aplicará. El cual requiere de ciertos parámetros que deben ser conocidos previamente para su aplicación, tales como: p_i , q , B , t_p , μ , h_n .

4.2.2- Método de impulso

1.- **Graficar los datos de Δt vs p_{wf}** , con el fin de conocer la gráfica de la prueba que se realizó, el tiempo de duración de la prueba y la caída o incremento de presión que se obtuvo.

2.- Obtener los datos de Q , $\Delta p'_1$, t' y $t' \Delta p'_1|_{t_p/2+\Delta t}$ en donde:

$$Q = \frac{q * t_p}{24} \tag{4.1}$$

$$\Delta p'_1 = \frac{p_i - p_{ws}(\Delta t)}{24Q} \tag{4.2}$$

$$t' = \frac{t_p}{2} + \Delta t \tag{4.3}$$

$$t' \Delta p'_1|_{\frac{t_p}{2} + \Delta t} = t' \Delta p'_1 \tag{4.4}$$

Teniendo que $\Delta p'_1$ se define como la derivada de la función influencia y $t' \Delta p'_1$ es la función de la primera derivada valuada en $\frac{t_p}{2} + \Delta t$.

3.- **Graficar los valores de $t' \Delta p'_1$ vs $\frac{t_p}{2} + \Delta t$ en una grafica log-log**, y colocar una o más líneas de tendencia (dependiendo de la cantidad de geometrías de flujo que se detecten) procurando que el número de ciclos que se tiene en el eje de las abscisas ($tp/2+\Delta t$) sea igual al número de ciclos del eje de las ordenadas ($t' \Delta p'_1$).

4.- **Realizar el diagnóstico de flujo**, una vez obtenida(s) la(s) línea(s) de tendencia se debe(n) obtener la(s) pendiente(s) de dicha(s) línea(s) y apoyándose en la **Figura 2.4**, de donde se sabe que una pendiente con valor de 1 , $1/2$, $1/4$, 0 y $-1/2$ corresponde a un flujo pseudoestacionario o

almacenamiento, lineal, bilineal, radial y esférico respectivamente, se determina(n) el(los) patrón(es) de flujo que se presenta(n) durante la prueba.

5.- **Aplicación del método de Horner**, una vez realizado el análisis y conociendo el tipo de flujo que predomina, se determina el modelo a emplear, para el caso de los ejemplos se empleo el método

de Horner, para el cual se debe obtener la función $\frac{t_p + \Delta t}{\Delta t}$, una vez obtenido esto, se realiza una

grafica semilog de $\frac{t_p + \Delta t}{\Delta t}$ vs p_{wf} , en donde el parámetro $\frac{t_p + \Delta t}{\Delta t}$ estará en escala logarítmica,

siendo este el eje de las abscisas. Posteriormente, se traza una línea de tendencia sobre los datos correspondientes a la geometría de flujo radial y finalmente se determina la pendiente de dicha recta, la cual será igual a la caída de presión que se tienen en un ciclo (*psi/ciclo*).

4.3-Caso teórico

El siguiente ejemplo tiene como objetivo detallar la aplicación de los métodos que se mencionaron anteriormente, aunque solo se consideran 14 datos para este ejemplo, se observa claramente la existencia del flujo radial, por lo que se puede establecer una línea de tendencia con una pendiente bien definida, ya sea con el método de Soliman o el método de Impulso.

4.3.1-Datos de la prueba

En la **Tabla 4.1** se muestran los datos de Δt y p_{wf} , que indican la duración del periodo de cierre y la presión registrada durante el respectivo periodo de tiempo.

Δt (h)	p_{wf} (psi)
0.25	4287.8
0.5	4262.8
0.75	4249.6
1	4241.7
1.5	4232.1
2	4224.9
3	4218
4.0	4214.6
6.0	4211.3
8.0	4208.3
12.0	4206.8
16.0	4206.2
20.0	4205.6
24.0	4206.8

Tabla 4.1: Datos de Δt y p_{wf}

La **Tabla 4.2** muestra los datos de producción, indicando la presión inicial (p_i), el gasto de inyección (q_i), el factor volumen del aceite (B), la viscosidad (μ), el tiempo de inyección previo al cierre (t_p) y el espesor neto (h_n).

p_i (psi)	q_i (BPD)	B	μ (cp)	t_i (horas)	h_n (pies)
4203	2124	1.02	0.25	1.13	94.32

Tabla 4.2: Características del pozo

Como se puede observar en la **Tabla 4.2**, el tiempo de inyección es de corta duración, esta particularidad nos indica que se trata de una prueba MFO.

4.3.2- Método de Soliman

1.- Graficar los datos de Δt vs p_{wf} :

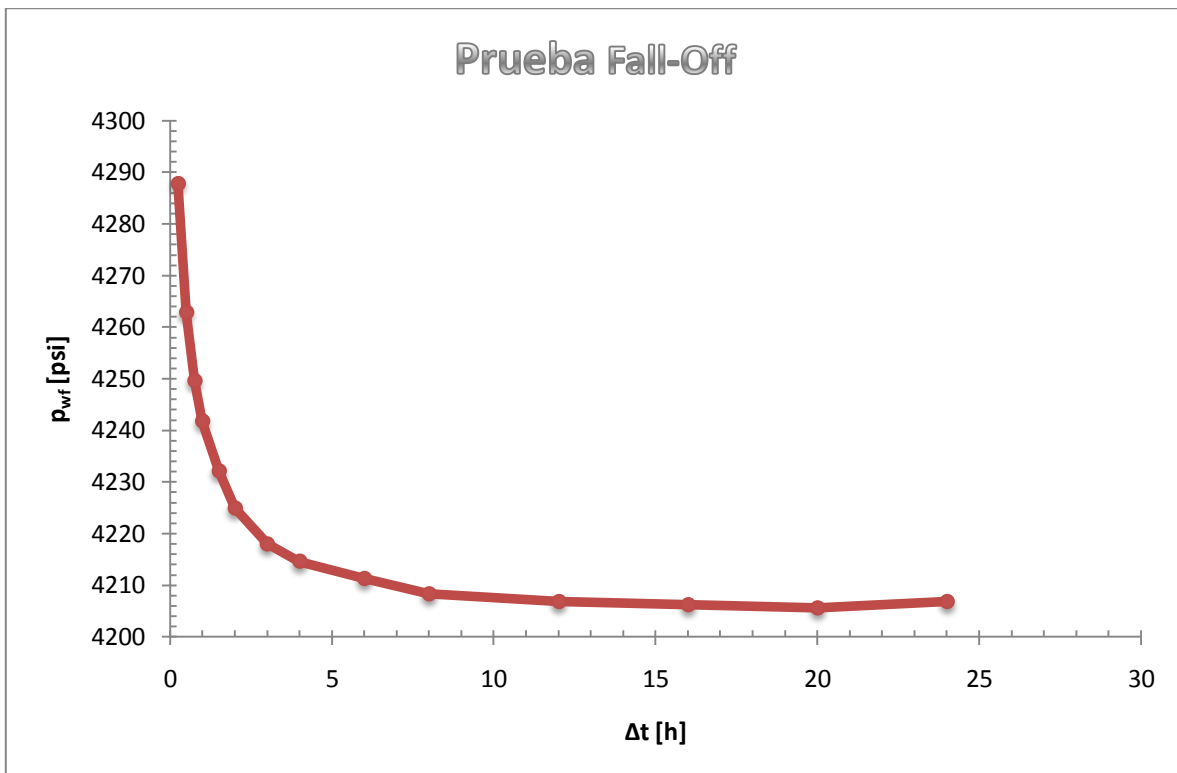


Figura 4.1: Gráfica de presión contra tiempo de cierre

En la **Figura 4.1** se observa la caída de presión que ocurre posterior al cierre, después de haber tenido un periodo de inyección de 1.13 horas, como se observa en la **Tabla 4.2**, La presión al

momento del cierre alcanza casi los 4290 psi, y comienza a descender hasta aproximarse al valor de la p_i , que es de 4203 psi.

Cabe destacar que los datos de una prueba MFO, se analizan como datos de una prueba de incremento, debido al comportamiento que tienen estos.

2.- Obtener los datos de $\Delta t + t_i$ y Δp :

Δt (h)	$(\Delta t + t_i)$ (h)	p_{wf} (psi)	Δp (psi)
0.25	1.38	4287.8	84.8
0.5	1.63	4262.8	59.8
0.75	1.88	4249.6	46.6
1	2.13	4241.7	38.7
1.5	2.63	4232.1	29.1
2	3.13	4224.9	21.9
3	4.13	4218	15
4.0	5.13	4214.6	11.6
6.0	7.13	4211.3	8.3
8.0	9.13	4208.3	5.3
12.0	13.13	4206.8	3.8
16.0	17.13	4206.2	3.2
20.0	21.13	4205.6	2.6
24.0	25.13	4206.8	3.8

Tabla 4.3: Valores obtenidos por el método de Soliman

La **Tabla 4.3** muestra los datos de $\Delta t + t_i$ y Δp , los cuales fueron obtenidos empleando el tiempo de inyección, que duro 1.13 horas, por lo que tendríamos:

$$\Delta t + t_i = \Delta t + 1.13$$

De tal forma que sólo Δt variará.

Para el caso de Δp se empleo una $p_i = 4203$ psi, donde:

$$\Delta p = p_{wf} - 4203$$

Por lo que p_i se mantendrá constante en todos los valores de Δp .

3.- Graficar los valores de $\Delta t+t_i$ y Δp :

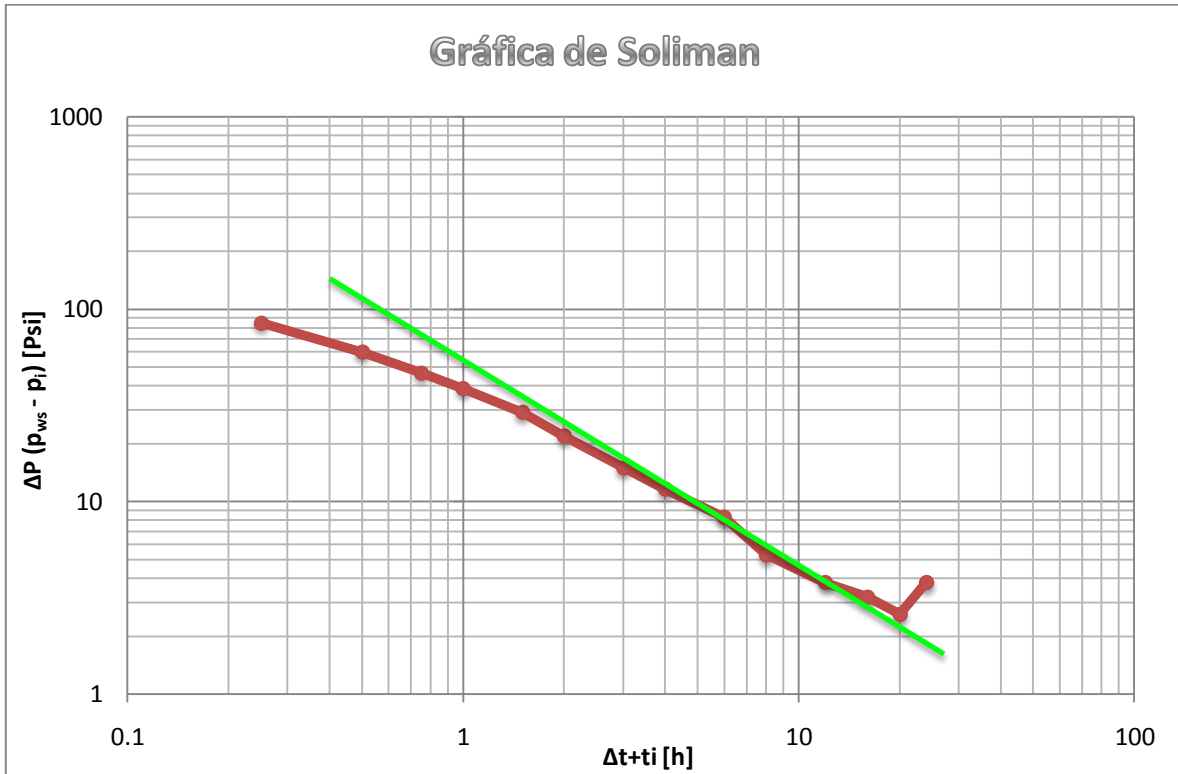


Figura 4.2: Gráfica de Soliman

La **Figura 4.2** muestra la gráfica de Soliman (gráfica log-log de $\Delta t+t_i$ vs Δp) que fue trazada empleando los datos de la **Tabla 4.3**.

Después de ser graficados los datos, se traza una línea de tendencia lineal sobre aquellos que se ajustan a alguna de las pendientes de la **Figura 2.11**.

4.- Diagnóstico de flujo:

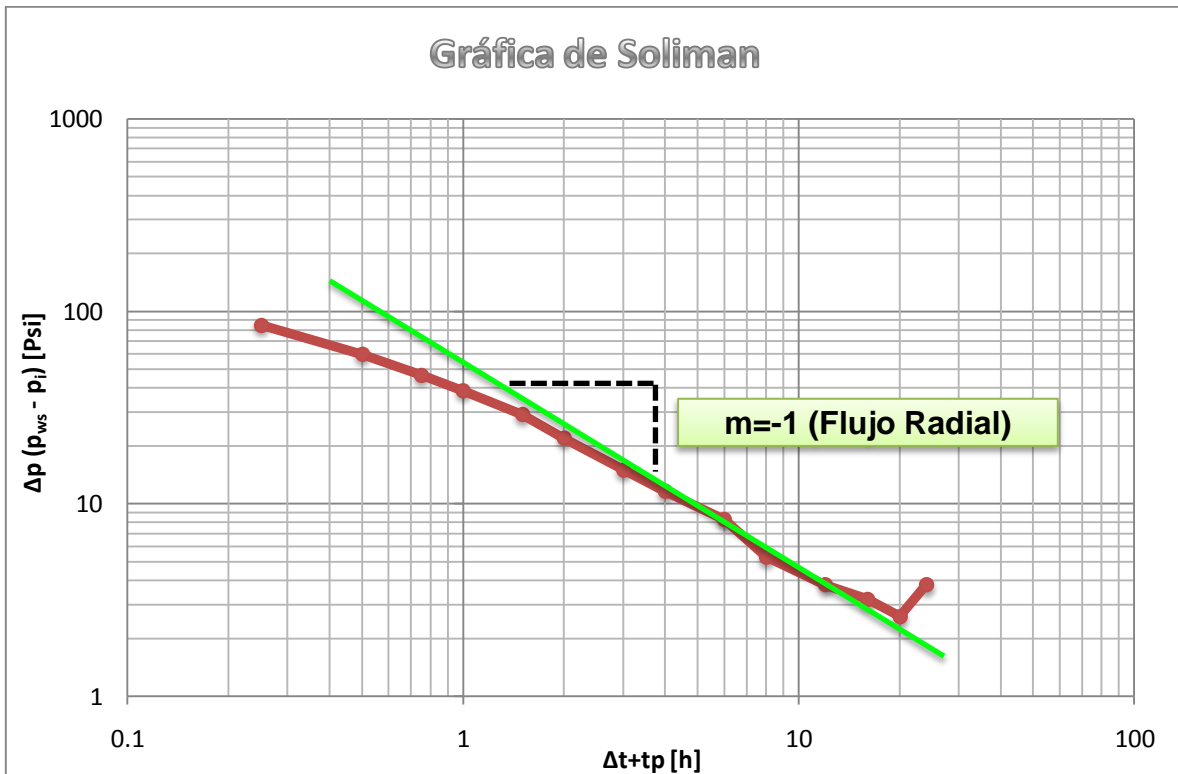


Figura 4.3: Gráfica del diagnóstico de flujo

Una vez trazada la línea de tendencia se sabe que el valor de su pendiente es igual a -1 ($m=-1$), y de acuerdo con la **Figura 2.11**, se establece que el valor de dicha pendiente corresponde al flujo radial.

5.- Aplicación de modelo

$$k = \frac{70.6qB\mu t_i}{y(x)h_n} \tag{4.5}$$

Apoyándose en la **Figura 4.3** y en el valor de la pendiente obtenida, es posible emplear el modelo de la **ec. 4.1**.

Al aplicar este modelo, se usaron los datos de la **Tabla 4.2**, cuyos parámetros se encuentran en unidades de campo. El valor de la variable y^*x se determinó empleando la **Figura 4.4**, donde se sabe que:

$$y^*x = \Delta p^* \Delta t + t_i$$

Dado en psi^*h , por lo tanto tenemos que para un valor de:

$$\Delta t + t_i = 1 [h]$$

Obtendremos un valor de:

$$\Delta p (p_{wf} - p_i) = 51 \text{ psi}$$

Entonces el valor del producto $y*x=51 [\text{psi}*1\text{h}]$ será:

$$y*x = 51 [\text{psi}*h]$$

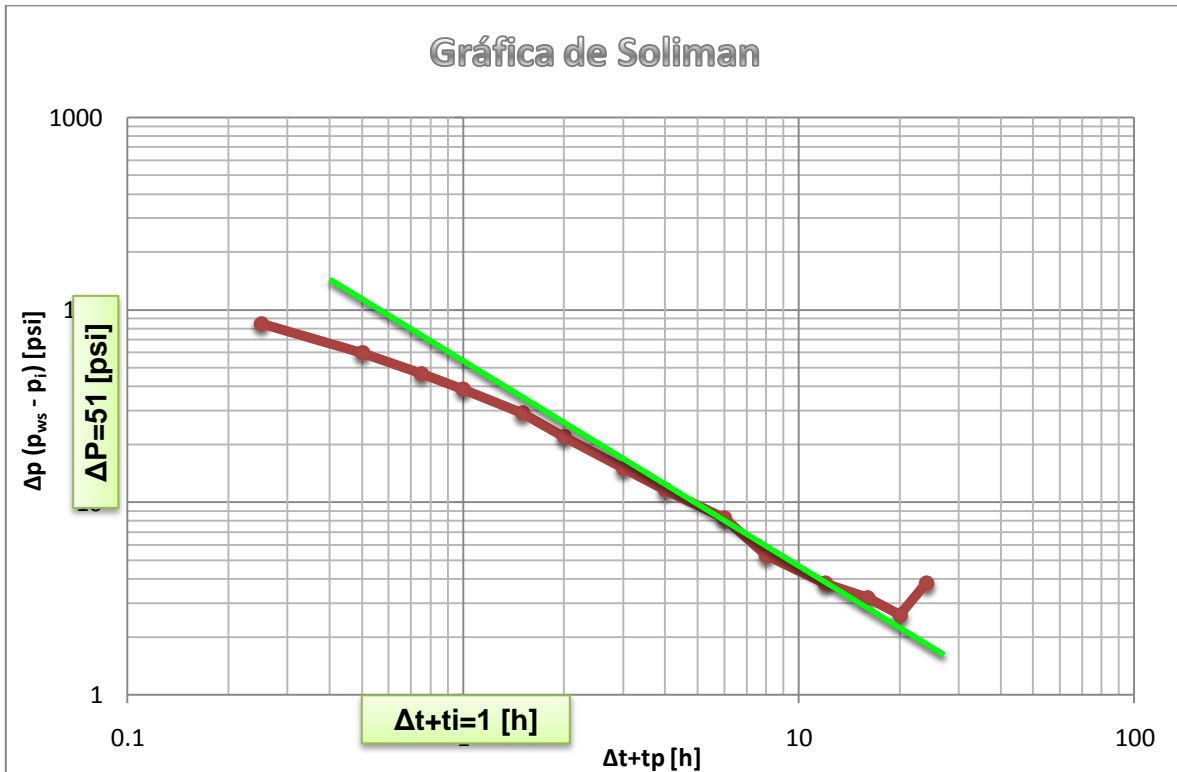


Figura 4.4: Gráfica con los valores de Δp vs $\Delta t + t_i$

Una vez que se cuenta con todos los parámetros requeridos por el modelo, se realiza la aplicación de este:

$$k = \frac{70.6(2124)(1.02)(.25)(1.13)}{51 * 94.32}$$

Por lo tanto:

$$k = 8.98 [\text{mD}]$$

4.3.3- Método de impulso

1.- Graficar los datos de Δt vs p_{wf} :

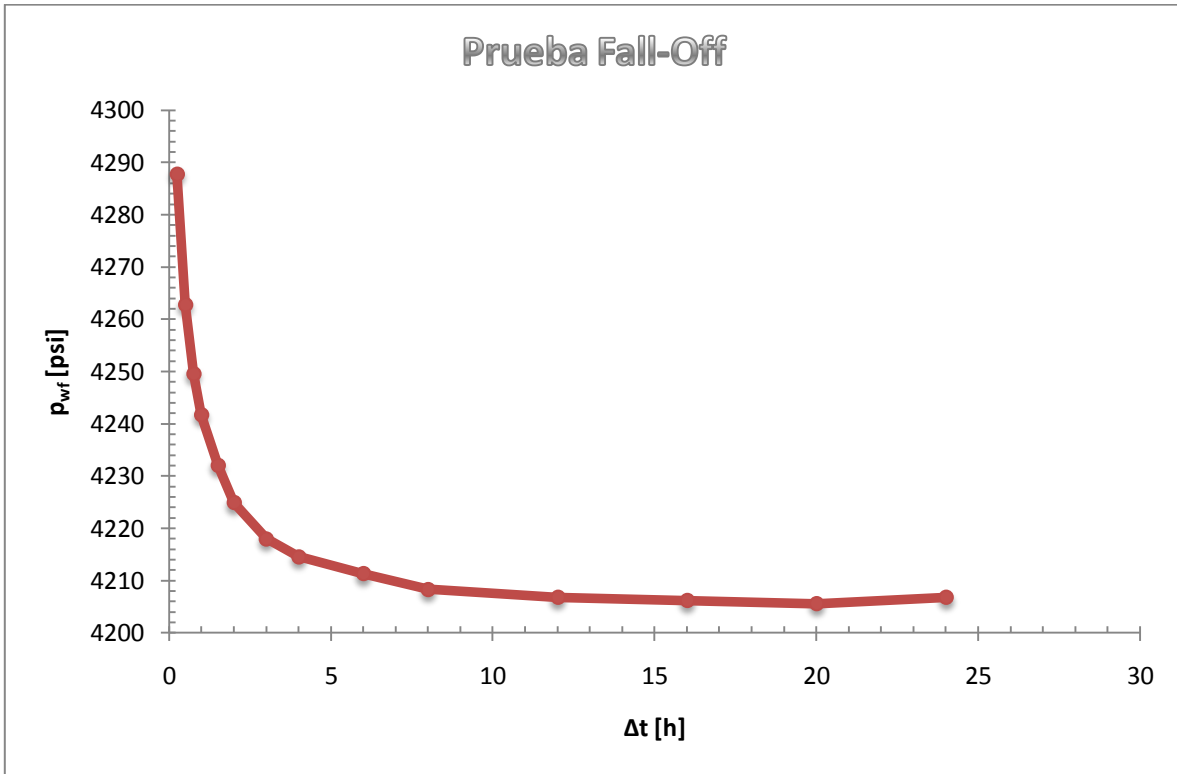


Figura 4.5: Gráfica de p_{wf} vs Δt

La **Figura 4.5** muestra que el periodo de cierre fue de aproximadamente 24 h, por lo tanto, se cumple que el tiempo de cierre es mayor que dos veces el tiempo de inyección ($\Delta t > 2t_i$), lo cual indica que es posible aplicar el método de impulso.

2.- Obtener los datos de Q , $\Delta p'_1$, t' y $t' \Delta p'_1 / t_i / 2 + \Delta t$.

Para obtener Q , se sabe que:

$$Q = \frac{q_i t_i}{24} \tag{4.2}$$

En donde Q está dado en Bls por lo tanto:

$$Q = \frac{2124 * 1.13}{24} = 100(Bls)$$

Posteriormente, para obtener el valor de $\Delta p'_1$ definida como la derivada de la función influencia valuada en $\frac{t_i}{2} + \Delta t$, se tiene que la presión inicial se mantendrá constante ($p_i = 4203 \text{ psi}$) quedando:

$$\Delta p'_1 = \frac{p_{wf}(\Delta t) - 4203}{24Q}$$

Entonces, para el primer valor de $\Delta p'_1$ tendremos que:

$$\Delta p'_1 = \frac{4287.8 - 4203}{24(100)} = 0.0353$$

La **Tabla 4.4** muestra el resto de los valores de la derivada de la función influencia.

Δt (h)	p_{ws} (psi)	Derivada de la función influencia
0.25	4287.8	0.0353
0.5	4262.8	0.0249
0.75	4249.6	0.0194
1	4241.7	0.0161
1.5	4232.1	0.0121
2	4224.9	0.0091
	4218	0.0062
4.0	4214.6	0.0048
6.0	4211.3	0.0035
8.0	4208.3	0.0022
12.0	4206.8	0.0016
16.0	4206.2	0.0013
20.0	4205.6	0.0011
24.0	4206.8	0.0016

Tabla 4.4: Valores de la función influencia

El siguiente parámetro que se debe de determinar es el valor de la función de tiempo t' , en el cual si t_i se mantiene con un valor de 1.13 horas, entonces:

$$t' = \frac{1.13}{2} + \Delta t$$

Para el primer valor de t' :

$$t' = \frac{1.13}{2} + 0.25 = 0.8150$$

Siendo así, el resto de los valores se muestra en la **Tabla 4.5**.

Δt (h)	p_{ws} (psi)	Función de tiempo
0.25	4287.8	0.8150
0.5	4262.8	1.0650
0.75	4249.6	1.3150
1	4241.7	1.5650
1.5	4232.1	2.0650
2	4224.9	2.5650
3	4218	3.5650
4.0	4214.6	4.5650
6.0	4211.3	6.5650
8.0	4208.3	8.5650
12.0	4206.8	12.5650
16.0	4206.2	16.5650
20.0	4205.6	20.5650
24.0	4206.8	24.5650

Tabla 4.5: Valores de la función de tiempo

Para concluir con el paso 3, se debe de realizar el producto de $t' \Delta p_1'$. Por lo tanto el primer valor de datos de la **Tabla 4.6** será:

$$t' \Delta p_1' = 0.0353 * 0.8150 = 0.0288$$

Por lo que este sería el primer valor de la **Tabla 4.6**.

El resto de los valores correspondientes al producto de $t' \Delta p_1'$ se muestra en la **Tabla 4.6**.

Δt (h)	p_{ws} (psi)	Derivada de la función influencia	Función de tiempo	$t' \Delta p'_{1t_{p/2+\Delta t}}$
0.25	4287.8	0.0353	0.8150	0.0288
0.5	4262.8	0.0249	1.0650	0.0265
0.75	4249.6	0.0194	1.3150	0.0255
1	4241.7	0.0161	1.5650	0.0252
1.5	4232.1	0.0121	2.0650	0.0250
2	4224.9	0.0091	2.5650	0.0234
3	4218	0.0062	3.5650	0.0223
4.0	4214.6	0.0048	4.5650	0.0221
6.0	4211.3	0.0035	6.5650	0.0227
8.0	4208.3	0.0022	8.5650	0.0189
12.0	4206.8	0.0016	12.5650	0.0199
16.0	4206.2	0.0013	16.5650	0.0221
20.0	4205.6	0.0011	20.5650	0.0223
24.0	4206.8	0.0016	24.5650	0.0389

Tabla 4.6: Valores empleados para la obtención de $t' \Delta p'_1$

3.- Graficar los valores de $t' \Delta p'_1$ vs $t_i/2+\Delta t$ en una gráfica log-log

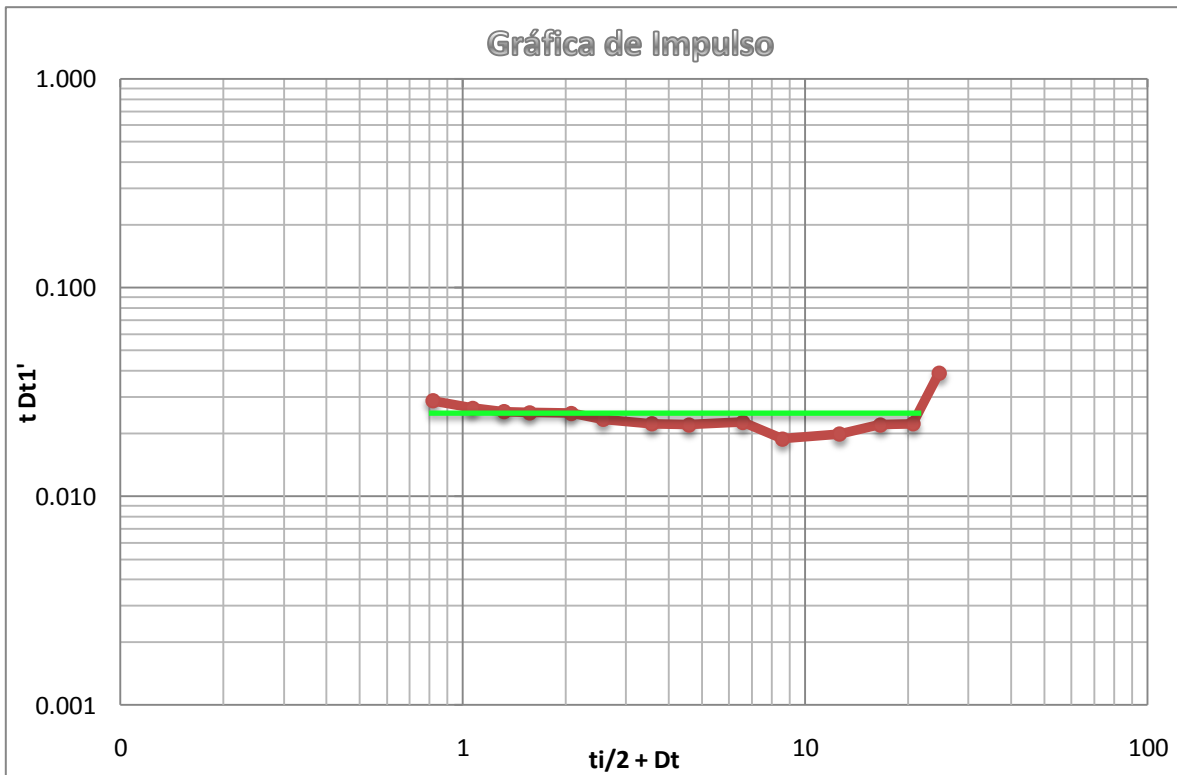


Figura 4.6: Gráfica de $\log t_i/2+\Delta t$ vs $t' \Delta p'_1$

Después de obtener los valores de $\frac{t_i}{2} + \Delta t$ y $t' \Delta p'_i$ éstos deben ser graficados en escala log-log, en donde $\frac{t_i}{2} + \Delta t$ será el eje de las abscisas y el producto de $t' \Delta p'_i$ será el eje de las ordenadas.

Como se puede observar en la **Figura 4.6**, la gráfica muestra que los datos tienen un comportamiento bien definido, sobre los cuales se debe trazar una línea de tendencia.

4.- Diagnóstico de flujo:

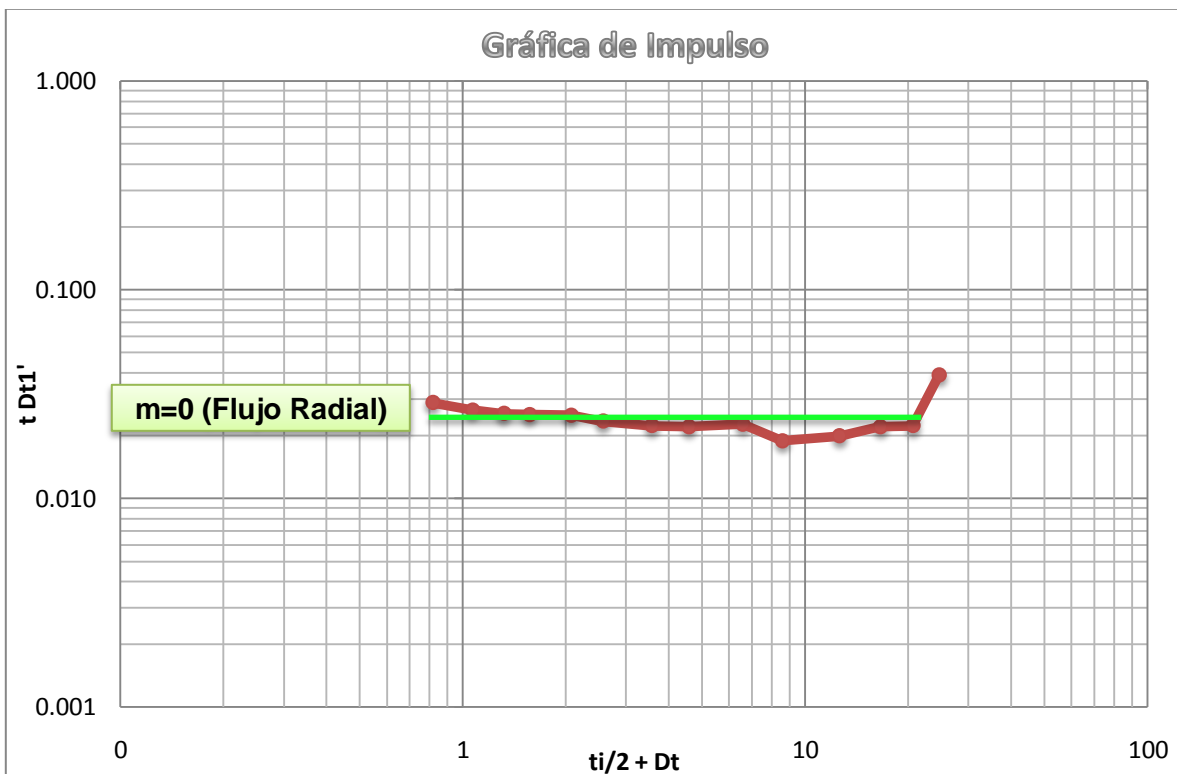


Figura 4.7: Gráfica del diagnóstico de flujo

Después de obtener el valor de la pendiente de la línea de tendencia ($m=0$), empleando la **Figura 2.4** se determina que el flujo presente es el radial, esto nos permite establecer el modelo que se empleará.

5.- Aplicación del método de Horner:

Para aplicar el método de Horner, primero se deben obtener los valores de la función del tiempo de Horner ($t_H = t_i + \Delta t / \Delta t$) con su respectivo valor de p_{wf} , por lo tanto se tiene que para el primer valor de Δt , este será $\Delta t = 0.25$ correspondiente a un valor de $p_{wf} = 4287.8$ psi, entonces:

$$t_H = t_i + \Delta t / \Delta t = \frac{1.13 + 0.25}{0.25}$$

Cabe destacar que el valor de $t_i = 1.13$ se mantendrá constante durante todos los cálculos.

La **Tabla 4.7** muestra los valores del tiempo de Horner.

p_{wf}(psi)	Δt (h)	t_H
4287.8	0.25	5.52
4262.8	0.5	3.26
4249.6	0.75	2.51
4241.7	1	2.13
4232.1	1.5	1.75
4224.9	2	1.57
4218	3	1.38
4214.6	4.0	1.28
4211.3	6.0	1.19
4208.3	8.0	1.14
4206.8	12.0	1.09
4206.2	16.0	1.07
4205.6	20.0	1.06
4206.8	24.0	1.05

Tabla 4.7: Datos en tiempo de Horner

Una vez que se ha determinado el valor de t_H correspondiente a cada valor de p_{wf} , estos deben ser analizados mediante una gráfica semilog del t_H vs p_{wf} , teniendo en el eje de las abscisas el tiempo de Horner en escala logarítmica, como lo muestra la **Figura 4.8**.

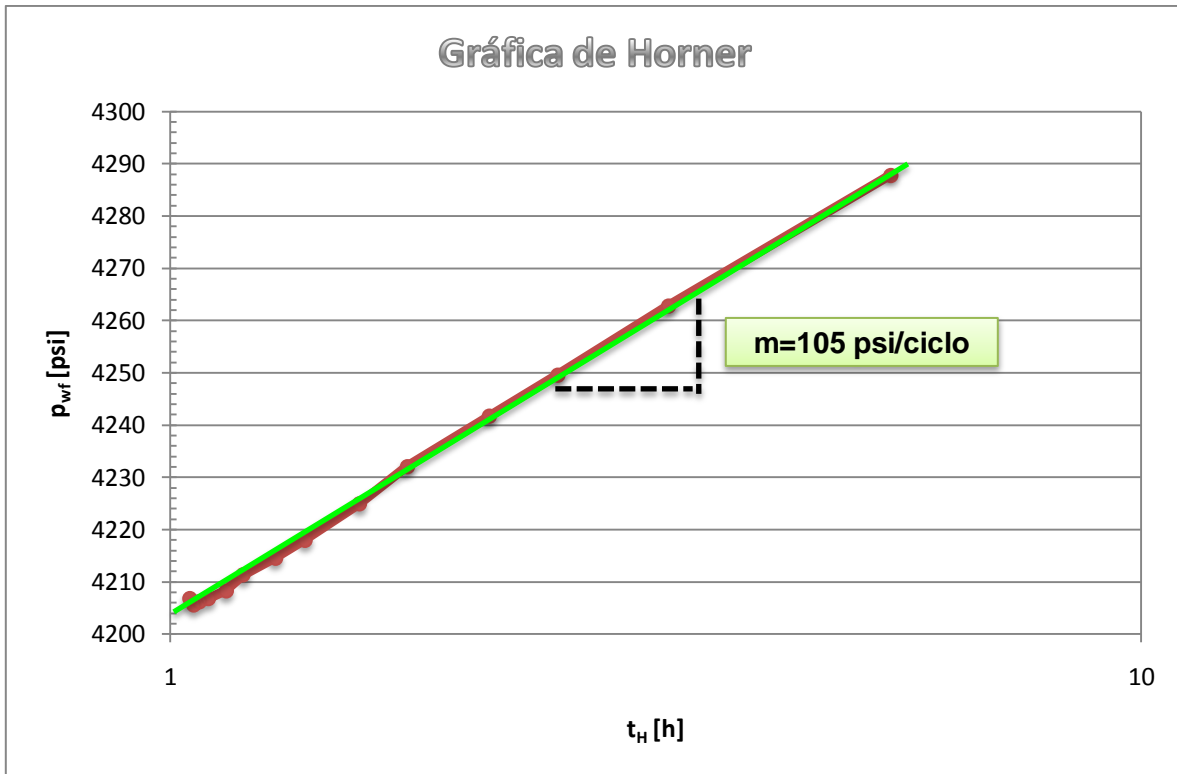


Figura 4.8: Gráfica de Horner

Después de que los datos han sido graficados, se debe trazar una línea de tendencia lineal, extrapolando esta hasta el límite inferior y superior del ciclo que se está analizando. Como se puede observar en la **Figura 4.8**, el límite inferior es 4202 psi y el límite superior es de 4320 psi, por lo tanto, se tendrá un incremento de presión de 105 psi por cada ciclo (105 psi/ciclo).

Una vez que se ha obtenido el valor de la pendiente empleando la gráfica de Horner, se puede aplicar el modelo correspondiente:

$$k = \frac{162.6 * qB\mu}{mh} \quad 4.6$$

Cuyos parámetros han sido dados en la **Tabla 4.2**, por lo que realizando la sustitución de valores tenemos que:

$$k = \frac{162.6 * 2124 * 1.02 * 0.25}{105 * 94.32} = 8.89[mD]$$

4.3.4- Análisis de resultados

Comparando el valor de permeabilidad obtenido mediante la técnica de Soliman $k=8.98 [mD]$ y el obtenido mediante Horner $k= 8.89 [mD]$, estos difieren el 1%. Además, analizando el diagnóstico de flujo realizado con ambas técnicas, se observa la presencia del flujo radial, lo cual implica que el modelo de Horner o el modelo de Soliman para dicho modelo puede ser aplicado sin restricciones.

4.4-Caso 1: Pozo Bicentenario-1

Los datos del pozo **Bicentenario-1** representan una prueba de incremento, en la cual el cierre fue realizado por un periodo aproximado de 118 horas, que siguió después de un periodo de producción de 25 horas.

Los datos de Δt y p_{wf} después del cierre son mostrados en la **Tabla A-1**.

En la **Tabla 4.8** se muestran los datos de producción, propiedades del fluido y parámetros de la formación:

p_i (psia)	q (BPD)	B	μ (cp)	t_p (horas)	h_n (pies)
2296	18	1.2	3	25	26.25

Tabla 4.8: Características del pozo

La **Figura 4.9** muestra los datos de presión vs tiempo, en esta se puede observar que la prueba de incremento tuvo un periodo de cierre de aproximadamente 118 horas, alcanzando una presión mayor a los 2400 (psi).

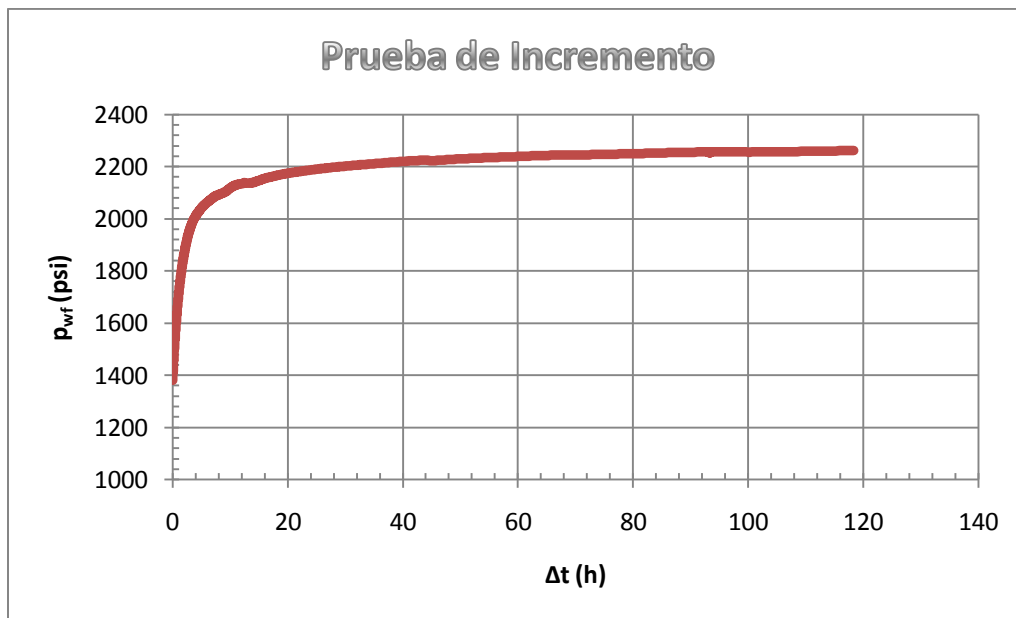


Figura 4.9: Gráfica de presión contra tiempo de cierre

En la **Figura 4.10**, después de realizar el diagnóstico de flujo mediante la técnica de Soliman, se observa la presencia del flujo radial ($m=-1$).

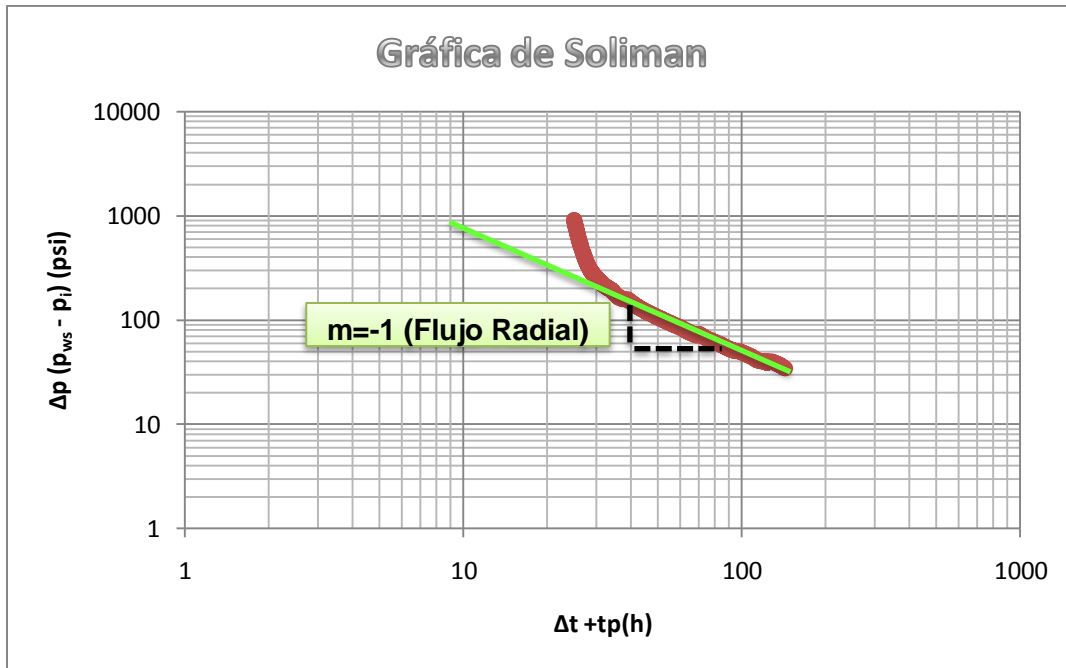


Figura 4.10: Gráfica de Soliman

Siendo así, se tiene la certeza de que este ha sido alcanzado, por lo que será posible aplicar el modelo de Soliman referente a esta geometría de flujo.

Por lo tanto, de la **Figura 4.10** se determina que el valor de $y^*x = 5000 [psi \cdot h]$, entonces, substituyendo los datos de la **Tabla 4.8** en el modelo seleccionado, se tiene:

$$k = \frac{70.6 * 18 * 1.2 * 3 * 25}{5000 * 26.25}$$

$$k = 0.871 [mD]$$

Por otro lado, dado que el tiempo de producción fue de 25 horas y el pozo fue cerrado durante 118 horas (ver **Figura 4.9**) es posible aplicar el método de Impulso, ya que se cumple que $\Delta t > 2tp$.

La **Figura 4.11**, muestra el diagnóstico de flujo aplicando la técnica de Impulso, y de manera análoga a la técnica de Soliman se obtuvo la presencia del flujo radial ($m=0$).

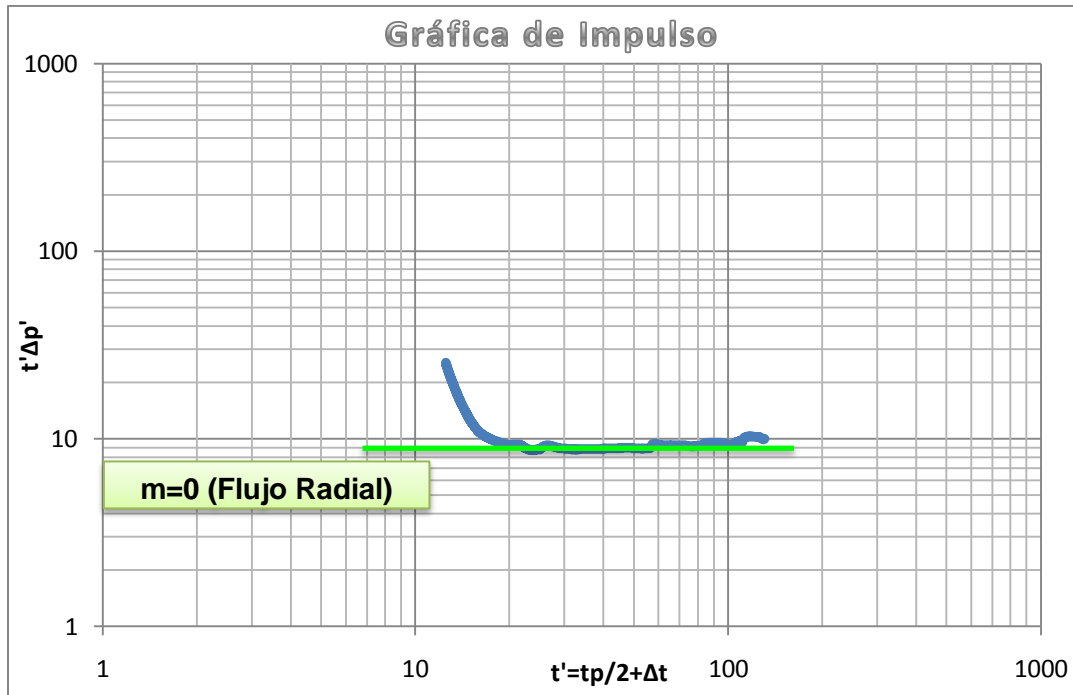


Figura 4.11: Gráfica de Impulso

Una vez que el flujo radial ha sido alcanzado, es posible aplicar el método de Horner. Hay que enfatizar que los datos empleados al aplicar Horner, deben ser a partir de que el flujo radial se ha presentado, esto ocurre cuando Δt es aproximadamente de **7.5 [h]**.

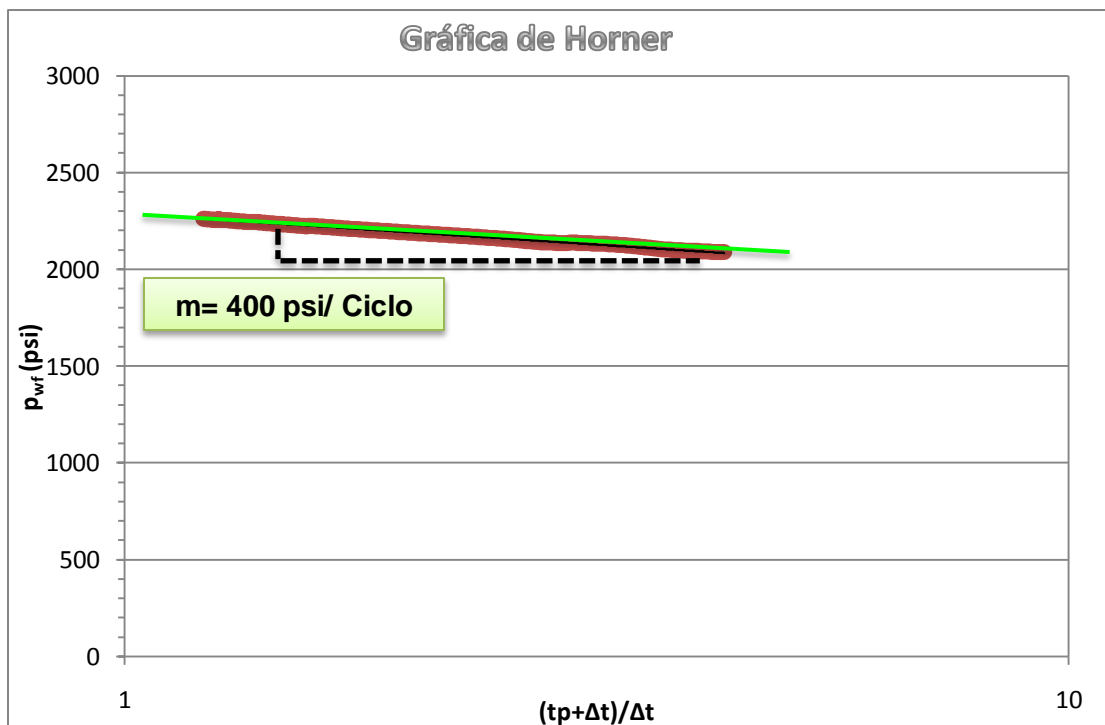


Figura 4.12: Gráfica de Horner

Los datos representativos del flujo radial son graficados tal como se muestra en la **Figura 4.12**, a partir de esta gráfica se determina que la pendiente es igual a 400 psi por cada ciclo ($m=400$ psi/ciclo), por lo tanto, el valor de la permeabilidad será:

$$k = \frac{162.6 * 18 * 1.2 * 3}{400 * 25.25} = 1.003 [mD]$$

Análisis de resultados

Analizando los datos con ambos métodos, se puede observar que el valor de permeabilidad obtenido es muy semejante, determinando mediante el método de Soliman una $k=0.871 [mD]$ y con el método de Horner una $k=1.003 [mD]$, lo cual indica que cualquiera de las dos técnicas nos proporcionará una estimación del valor real de la permeabilidad en la vecindad del pozo, ya que su diferencia solo es del 7.7%.

Si bien, los datos de tiempo temprano son afectados por el almacenamiento y el daño como se muestra en la **Figura 4.11 y 4.12**, el tiempo de cierre fue lo suficientemente grande para que el flujo radial fuera alcanzado.

4.5- Caso 2: Pozo Centenario-1

El siguiente ejemplo muestra los datos del **pozo Centenario-1**.

Si se observa la **Figura 4.14**, se puede determinar que se trata de una prueba MFO

En la **Tabla B-1** se muestran los valores de Δt y p_{wf} capturados durante la prueba.

La **Tabla 4.9** muestra los datos de producción, propiedades del fluido y parámetros de la formación:

p_i (psia)	q (BPD)	B	μ (cp)	t_i (horas)	h_n (pies)
2372	1440	1.02	0.25	1.55	94.32

Tabla 4.9: Características del pozo

En la **Figura 4.14** se puede observar que el tiempo de cierre fue de aproximadamente 36 horas, cuya presión al momento de este fue de casi 2400 (psi).

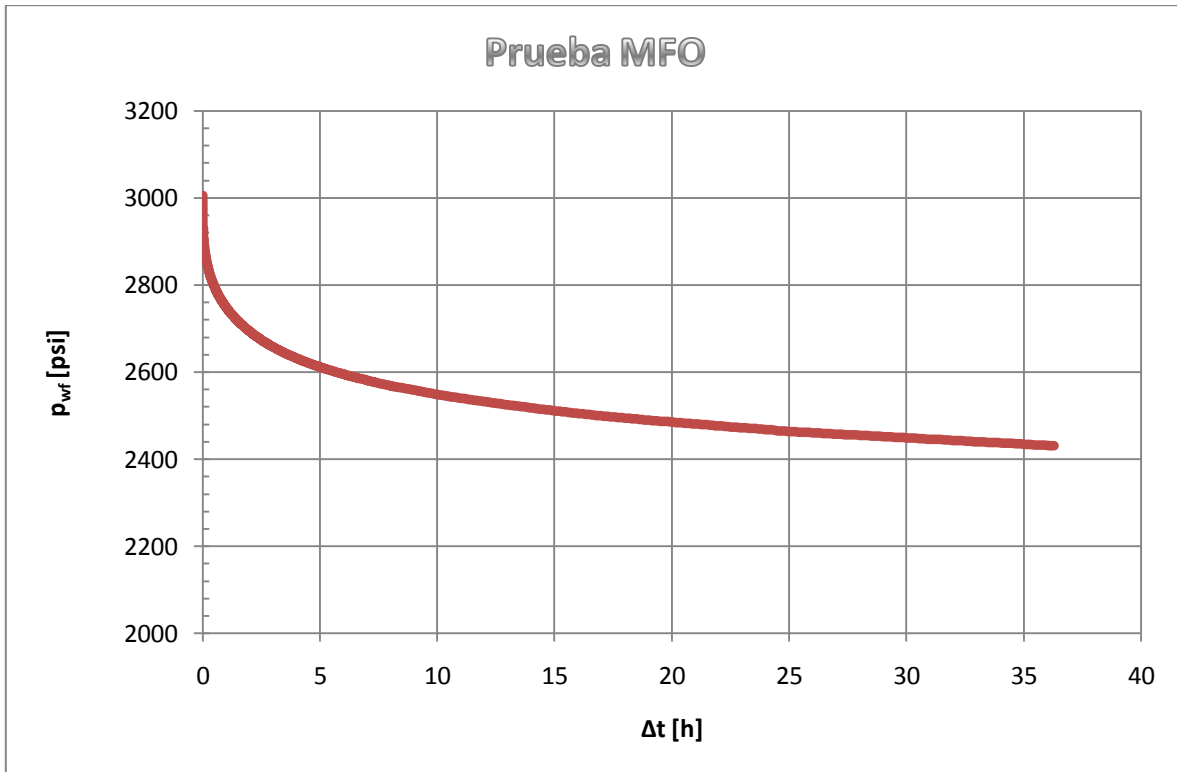


Figura 4.13: Gráfica de presión contra tiempo de cierre

En la gráfica de Soliman (**Figura 4.14**) se muestra la presencia de dos geometrías de flujo, un flujo lineal que es seguido por un flujo radial, en donde el flujo radial ocurre aproximadamente cuando $\Delta t = 24$ [h].

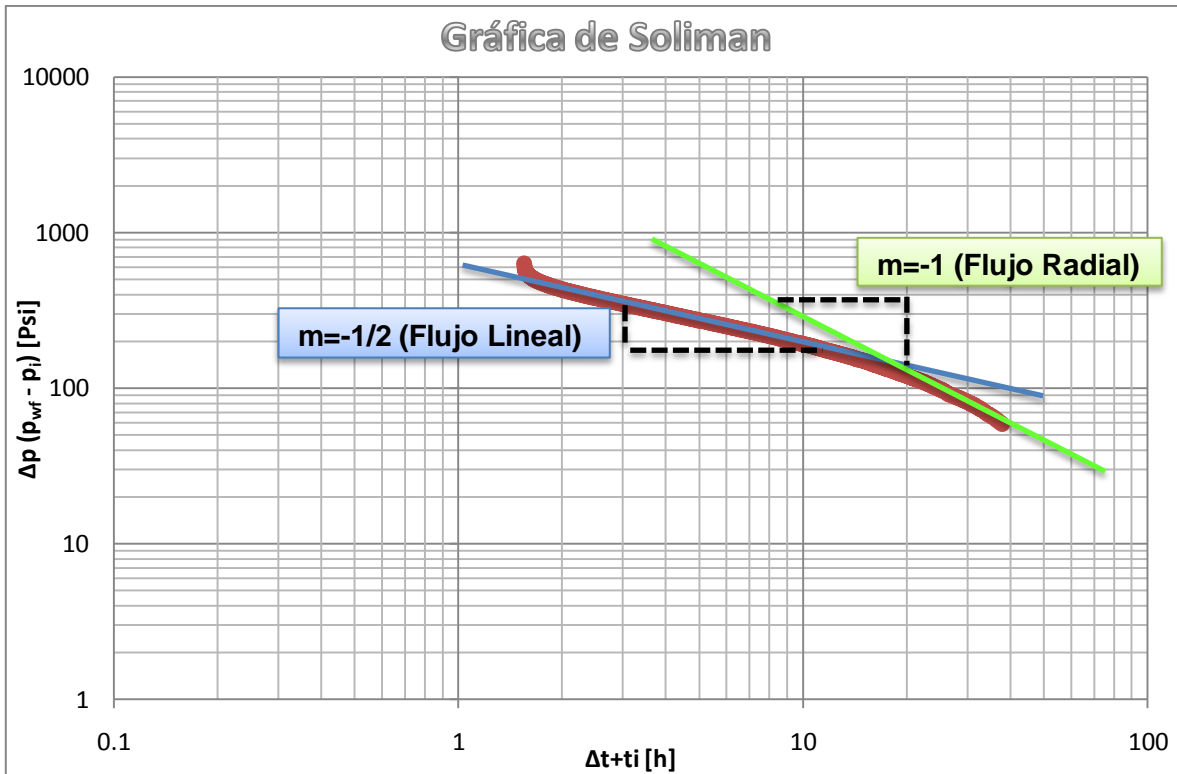


Figura 4.14: Gráfica de Soliman

Una vez hecho el diagnóstico de flujo, se determina que el valor de $y^*x = 3500 [psi \cdot h]$, es necesario señalar que este valor fue obtenido a partir de la línea de tendencia de flujo radial, por lo tanto será el que se aplicará al modelo correspondiente, siendo así:

$$k = \frac{70.6 * 1440 * 1.02 * 0.25 * 1.55}{3500 * 94.32}$$

$$k = 0.122[mD]$$

Ahora bien, empleando la **Figura 4.13** se determina que el tiempo de cierre es mayor que 35 horas, por lo tanto, si $t_i = 1.55 h$, se cumple que $\Delta t > 2t_i$, lo cual indica que es posible realizar el diagnóstico mediante el método de Impulso.

Como se observa en la **Figura 4.15**, se tiene la presencia de dos geometrías de flujo, flujo lineal y flujo radial, tal como se observo con la técnica de Soliman.

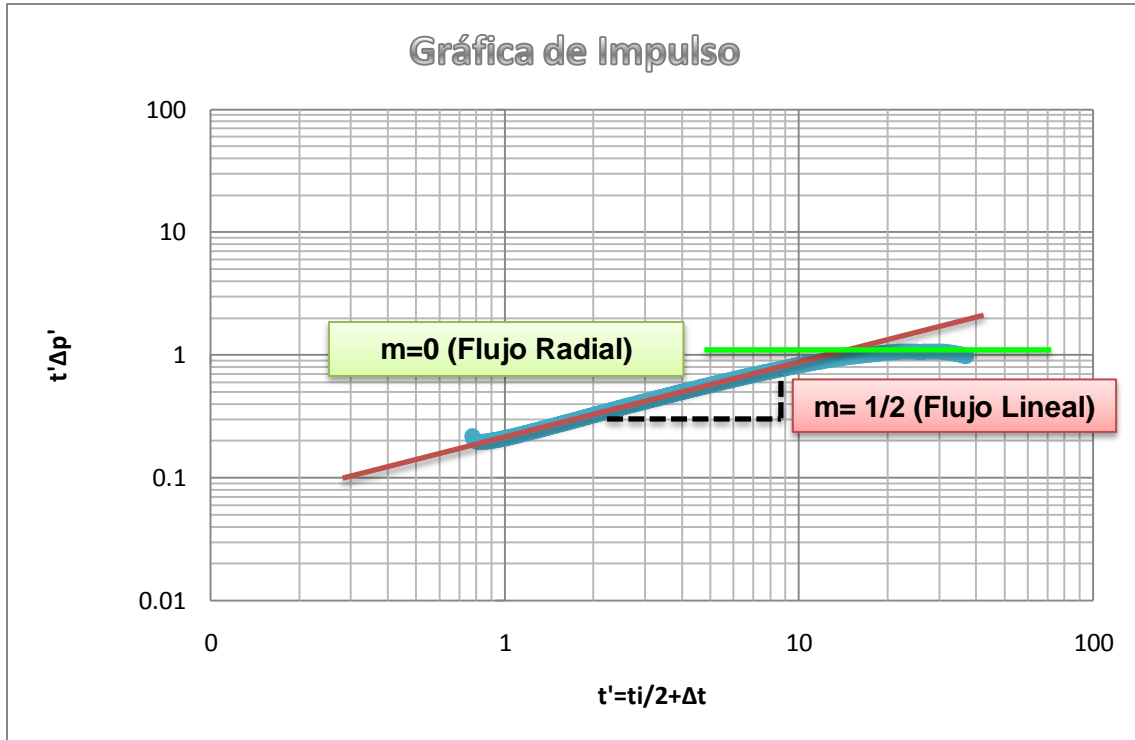


Figura 4.15: Gráfica de Impulso

En la **Figura 4.16**, los datos en color verde representan el tiempo de cierre a partir del cual el flujo radial ha sido alcanzado.

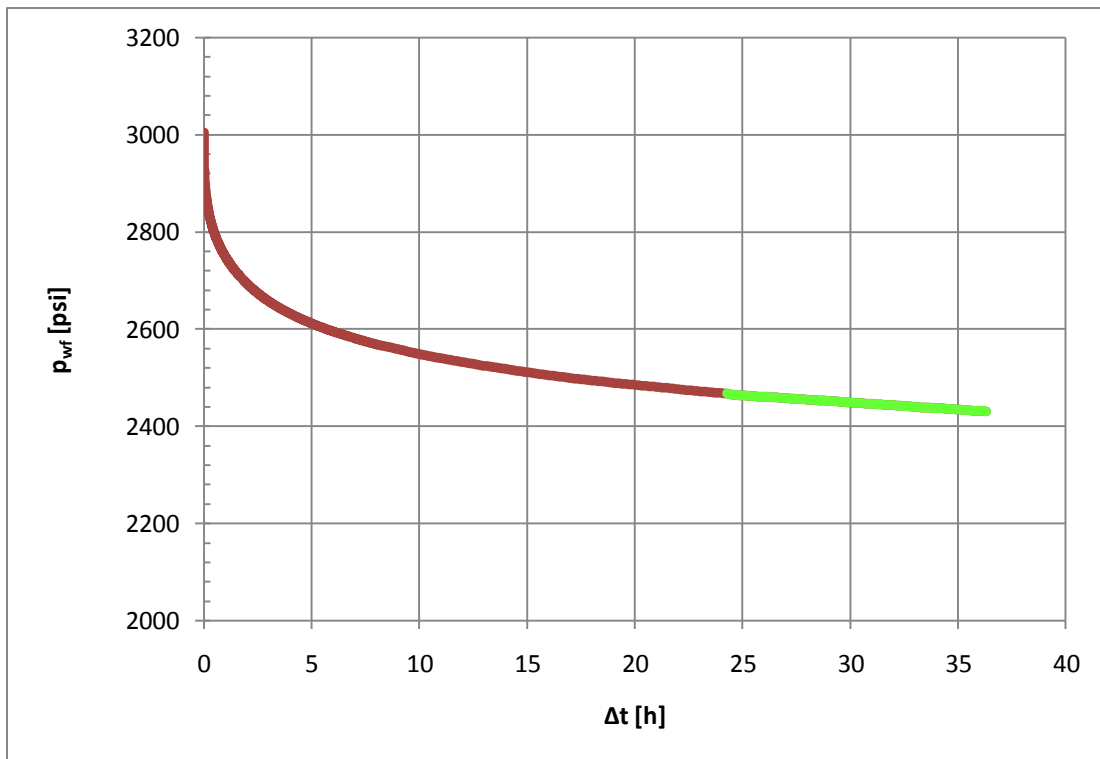


Figura 4.16: Muestra el tiempo en el cual se alcanza el flujo radial

Por lo tanto, la aplicación del método de Horner debe ser a partir de los datos en flujo radial, que se presenta cuando $\Delta t \approx 24.2$ horas (ver **Figura 4.16**). Nótese que este valor es muy semejante al que se obtuvo con el método de Soliman ($\Delta t \approx 24$), esto nos proporciona una idea del tiempo al cual se presenta dicha geometría de flujo.

La **Figura 4.17** muestra la gráfica de Horner, de la cual se determinó un valor de $m = 4650$ psi/ciclo.

De acuerdo con los datos de la **Tabla 4.9** y del valor de la pendiente anterior, se obtuvo:

$$k = \frac{162.6 * 1440 * 1.02 * 0.25}{4650 * 94.32} = 0.136[mD]$$

$$k = 0.136[mD]$$

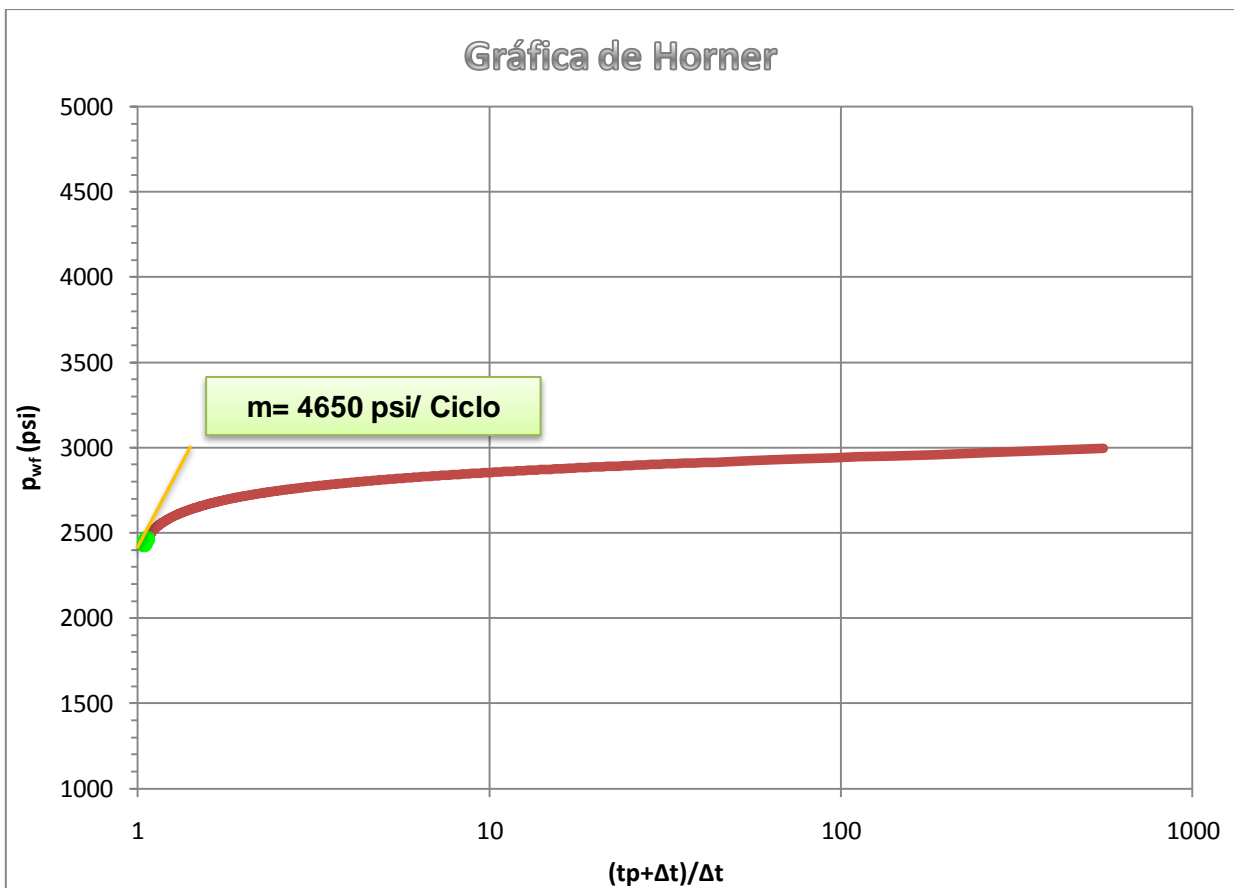


Figura 4.17: Gráfica de Horner

Obsérvese que los datos analizados con la técnica de Horner han sido graficados en color verde, estos corresponden al tiempo en el cual se presenta el flujo radial (ver **Figura 4.17**), a partir de los cuales la línea de tendencia fue extrapolada y obtenida su respectiva pendiente ($m=4650$ psi/Ciclo).

Análisis de resultados

Como se observó en las **gráficas 4.14 y 4.15**, ambas técnicas mostraron la presencia de un flujo lineal seguido por un flujo radial, lo cual nos da una certeza de que el diagnóstico de flujo es correcto, además, el valor de permeabilidad estimado con cada técnica es muy cercano, $k= 0.122$ y $k= 0.136$, empleando el método de Soliman y Horner respectivamente, cuya diferencia es del 10.2%, concluyendo que el valor estimado con cualquiera de los dos métodos es representativo del dato real de permeabilidad.

Es necesario hacer hincapié en el uso correcto de los datos de presión y tiempo, por ejemplo, en el caso de la gráfica de Soliman, la línea de tendencia que se emplea para obtener el valor de y^*x es la de flujo radial, de igual manera, al aplicar la técnica de Horner solo se deben emplear los datos que involucran el flujo radial, ya que el desarrollo de los modelos anteriormente mencionados consideran que dicha geometría de flujo ha sido alcanzada, lo comentado anteriormente es de gran relevancia, debido a que un mal uso de los datos nos dará resultados sin sentido y como consecuencia una interpretación errónea.

4.6- Compendio

La **Tabla 4.10** muestra un compendio de las ecuaciones, gráficas y resultados obtenidos al aplicar los modelos anteriores.

Método	Ecuaciones y/o Gráficas	Pozo	Resultado
Soliman	Gráfica de Δt vs p_{wf}	Teórico	k= 8.98 [mD]
	$\Delta t + t_p$ $\Delta p = p_{wf} + p_i$		
	Gráfica log-log de $\Delta t+t_p$ vs Δp	Bicentenario-1	k= 0.871 [mD]
	$y * x = \Delta p * (\Delta t + t_p)$	Centenario-1	k=0.122 [mD]
	Modelo de flujo radial $k = \frac{70.6qB\mu t_i}{y(x)h_n}$		
Impulso	Gráfica de Δt vs p_{wf}	Teórico	k= 8.89 [mD]
	$Q = \frac{q_i t_p}{24}$ $\Delta p_1 = \frac{p_i - p_{ws}(\Delta t)}{24Q}$		
	$t' = \frac{t_p}{2} + \Delta t$	Bicentenario-1	k= 1.003 [mD]
	Gráfica log-log de $t' \Delta p_1$ vs $\frac{t_p}{2} + \Delta t$		
	$t_H = \frac{t_p + \Delta t}{\Delta t}$	Centenario-1	k=0.136 [mD]
	Gráfica semilog de t_H vs p_{wf}		
	$k = \frac{162.6 * qB\mu}{mh}$		

Tabla 4.10: Compendio de los Modelos Aplicados

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las técnicas y procedimientos presentados en este trabajo, constituyen una opción de análisis para pruebas con un periodo corto de producción o inyección previo al cierre. Debido a su costo bajo, fácil aplicación e interpretación, llegan a ser una excelente opción para analizar formaciones lenticulares y de baja permeabilidad.

Es necesario señalar, que al momento de aplicar cualquier método se debe tener conocimiento de las consideraciones realizadas para su desarrollo, ya que esto es determinante para el éxito de una caracterización, dado que la aplicación incorrecta de cualquiera de estos, arrojará resultados incoherentes.

A continuación se mencionan las características principales de cada método:

Soliman

- Desarrolla una gráfica de $\log \Delta p$ vs $\log tp + \Delta t$;
- Considera tres modelos de flujo: lineal, bilineal y radial;
- Requiere del conocimiento de la presión inicial del yacimiento;
- Proporciona una estimación de la permeabilidad;
- Requiere mucha exactitud de la estimación de la presión inicial del yacimiento.

Fuente instantánea

- La presión inicial debe ser conocida;
- La derivada de la función influencia debe ser evaluada al tiempo $\Delta t + t_p/2$;
- La producción acumulativa antes del cierre debe ser medida;
- El análisis es válido para tiempos grandes de cierre ($\Delta t > 2t_p$);
- El análisis es válido para cualquier tipo de geometría;
- Reduce el efecto del tiempo de producción;
- Permite determinar el régimen de flujo presente durante la prueba;
- Este procedimiento aplicara siempre que el tiempo de cierre sea al menos dos veces el tiempo de producción.

Impulso

- Toma como base el concepto de respuesta de presión debida a una fuente instantánea de unidad de energía;
- Requiere del conocimiento de la presión inicial del yacimiento;
- El tiempo de cierre debe ser mayor que dos veces el tiempo de producción;
- Emplea una gráfica log-log para analizar la geometría de flujo que se tendría en el pozo.

Como se pudo observar en las aplicaciones de campo, la diferencia entre los valores de permeabilidad obtenidos mediante el método de Soliman y Horner es menor al 15%, lo cual nos indica que cualquiera de estas dos técnicas nos proporcionará un valor representativo de esta.

Por otro lado, cabe destacar que cualquiera de las técnicas previamente mencionadas son una herramienta para determinar la o las geometría(s) de flujo que se presentan durante la prueba así como el tiempo en el cual se presentan, por lo tanto, al realizar la aplicación de cualquier modelo con el fin de determinar algún parámetro, se debe cuidar que los datos de Δt y p_{wf} empleados sean los correspondientes al modelo que se aplicará, de lo contrario se obtendrán valores sin sentido y por ende una mala caracterización, ocasionando una pérdida de tiempo y dinero.

Además, a medida que el tiempo de producción llega a ser significativo, es recomendable que cualquiera de éstas técnicas se combine con otros métodos siempre que sea factible, esto con el fin de incrementar la veracidad de los resultados, así mismo, estos resultados deberían ser apoyados con análisis de núcleos, registros geofísicos, correlacionando otros pozos, etcétera.

Aunado a esto, será necesario tener un buen conocimiento de cualquier parámetro o parámetros que pueda o puedan influir en el desarrollo e interpretación de la prueba, por ejemplo: la historia de producción, la etapa de explotación, las condiciones iniciales, tiempos de cierre, ritmos de explotación, etcétera. Todo esto con el fin de lograr la mejor caracterización de la formación, que se verá reflejada en una explotación óptima así como un incremento de la producción y por ende la generación de divisas.

TABLA A

CASO 1: POZO BICENTENARIO-1

La Tabla A-1 contiene los valores de Δt vs p_{wf} que representan una prueba de incremento de presión:

Tabla A-1											
No.	Δt (h)	p_{wf} (psi)									
1	0.000	1381.2	32	0.116	1431.95	65	0.239	1480.27	98	0.363	1524.96
2	0.004	1382.93	33	0.120	1433.37	66	0.243	1481.61	99	0.366	1526.3
3	0.008	1384.77	34	0.124	1435.03	67	0.247	1483.05	100	0.370	1527.51
4	0.012	1386.71	35	0.127	1436.51	68	0.251	1484.47	101	0.374	1528.87
5	0.015	1388.64	36	0.131	1438.06	69	0.254	1485.84	102	0.378	1530.11
6	0.019	1390.55	37	0.135	1439.51	70	0.258	1487.24	103	0.381	1531.39
7	0.023	1392.28	38	0.139	1441.04	71	0.262	1488.62	104	0.385	1532.65
8	0.026	1393.96	39	0.142	1442.48	72	0.266	1489.99	105	0.389	1533.97
9	0.030	1395.66	40	0.146	1444.03	73	0.269	1491.37	106	0.393	1535.2
10	0.034	1397.33	41	0.150	1445.46	74	0.273	1492.79	107	0.396	1536.4
11	0.038	1399.06	42	0.153	1446.9	75	0.277	1494.13	108	0.400	1537.68
12	0.041	1400.75	43	0.157	1448.46	76	0.281	1495.57	109	0.404	1538.95
13	0.045	1402.22	44	0.161	1449.97	77	0.284	1496.87	110	0.408	1540.19
14	0.049	1403.92	45	0.165	1451.41	78	0.288	1498.24	111	0.411	1541.56
15	0.053	1405.57	46	0.168	1452.91	79	0.292	1499.77	112	0.415	1542.67
16	0.056	1407.17	47	0.172	1454.25	80	0.295	1501.02	113	0.419	1543.86
17	0.060	1408.77	48	0.176	1455.81	81	0.299	1502.44	114	0.422	1545.04
18	0.064	1410.35	49	0.180	1457.25	82	0.303	1503.8	115	0.426	1546.23
19	0.068	1411.87	50	0.183	1458.67	83	0.307	1505.11	116	0.430	1547.45
20	0.071	1413.52	51	0.187	1460.13	84	0.310	1506.46	117	0.434	1548.65
21	0.075	1415.17	52	0.191	1461.63	85	0.314	1507.71	118	0.437	1549.86
22	0.079	1416.63	53	0.195	1463.09	86	0.318	1509.1	119	0.441	1551.08
23	0.083	1418.18	54	0.198	1464.41	87	0.322	1510.5	120	0.445	1552.13
24	0.086	1419.69	55	0.202	1465.93	88	0.325	1511.68	121	0.449	1553.3
25	0.090	1421.3	56	0.206	1467.4	89	0.329	1513.12	122	0.452	1554.5
26	0.094	1422.75	57	0.210	1468.85	90	0.333	1514.46	123	0.456	1555.72
27	0.097	1424.35	58	0.213	1470.17	91	0.337	1515.76	124	0.460	1556.91
28	0.101	1425.86	59	0.217	1471.66	92	0.340	1516.99	125	0.464	1558.08
29	0.105	1427.4	60	0.221	1473.1	93	0.344	1518.34	126	0.467	1559.15
30	0.109	1428.89	61	0.224	1474.59	94	0.348	1519.66	127	0.471	1560.26
31	0.112	1430.4	62	0.228	1476	95	0.351	1520.94	128	0.475	1561.44
			63	0.232	1477.39	96	0.355	1522.24	129	0.479	1562.49
			64	0.236	1478.79	97	0.359	1523.71	130	0.482	1563.62

131	0.486	1564.72	172	0.643	1609.51	213	0.815	1655.26	254	1.035	1707.73
132	0.490	1565.88	173	0.647	1610.55	214	0.822	1657.14	255	1.039	1708.53
133	0.493	1566.98	174	0.650	1611.58	215	0.826	1658.14	256	1.046	1710.23
134	0.497	1567.94	175	0.654	1612.49	216	0.830	1659.06	257	1.050	1711.05
135	0.501	1569.04	176	0.658	1613.49	217	0.833	1660	258	1.058	1712.72
136	0.505	1570.16	177	0.662	1614.56	218	0.841	1661.87	259	1.065	1714.38
137	0.508	1571.4	178	0.665	1615.6	219	0.845	1662.84	260	1.069	1715.23
138	0.512	1572.38	179	0.669	1616.61	220	0.848	1663.75	261	1.076	1716.7
139	0.516	1573.4	180	0.673	1617.68	221	0.856	1665.58	262	1.080	1717.52
140	0.520	1574.53	181	0.677	1618.71	222	0.860	1666.53	263	1.087	1719.09
141	0.523	1575.58	182	0.680	1619.72	223	0.863	1667.5	264	1.095	1720.75
142	0.527	1576.7	183	0.684	1620.72	224	0.867	1668.33	265	1.102	1722.28
143	0.531	1577.75	184	0.691	1622.77	225	0.875	1670.23	266	1.106	1723.04
144	0.535	1578.88	185	0.695	1623.7	226	0.878	1671.15	267	1.114	1724.62
145	0.538	1579.88	186	0.699	1624.79	227	0.886	1673.01	268	1.121	1726.18
146	0.542	1581.05	187	0.703	1625.81	228	0.889	1673.95	269	1.125	1726.96
147	0.546	1582.04	188	0.706	1626.77	229	0.893	1674.8	270	1.132	1728.39
148	0.549	1583.17	189	0.710	1627.85	230	0.901	1676.52	271	1.140	1729.86
149	0.553	1584.12	190	0.714	1628.69	231	0.904	1677.53	272	1.147	1731.44
150	0.557	1585.27	191	0.718	1629.82	232	0.912	1679.36	273	1.151	1732.21
151	0.561	1586.26	192	0.721	1630.79	233	0.916	1680.23	274	1.158	1733.62
152	0.564	1587.42	193	0.725	1631.8	234	0.919	1681.01	275	1.166	1735.21
153	0.568	1588.48	194	0.729	1632.71	235	0.927	1682.95	276	1.173	1736.79
154	0.572	1589.56	195	0.736	1634.71	236	0.931	1683.79	277	1.181	1738.24
155	0.576	1590.62	196	0.740	1635.74	237	0.938	1685.53	278	1.188	1739.76
156	0.579	1591.66	197	0.744	1636.74	238	0.942	1686.52	279	1.192	1740.44
157	0.583	1592.79	198	0.747	1637.77	239	0.949	1688.27	280	1.200	1741.98
158	0.587	1593.89	199	0.751	1638.76	240	0.953	1689.11	281	1.207	1743.46
159	0.591	1594.93	200	0.755	1639.7	241	0.960	1690.85	282	1.214	1744.91
160	0.594	1595.84	201	0.762	1641.72	242	0.964	1691.72	283	1.222	1746.32
161	0.598	1597	202	0.766	1642.63	243	0.968	1692.54	284	1.229	1747.87
162	0.602	1598.03	203	0.770	1643.72	244	0.975	1694.3	285	1.237	1749.34
163	0.606	1599.1	204	0.774	1644.54	245	0.979	1695.17	286	1.244	1750.74
164	0.609	1600.17	205	0.777	1645.6	246	0.987	1696.84	287	1.248	1751.43
165	0.613	1601.18	206	0.785	1647.51	247	0.994	1698.59	288	1.256	1752.85
166	0.620	1603.34	207	0.789	1648.49	248	0.998	1699.36	289	1.263	1754.24
167	0.624	1604.34	208	0.792	1649.49	249	1.005	1701.15	290	1.271	1755.66
168	0.628	1605.41	209	0.796	1650.36	250	1.009	1701.85	291	1.278	1757.05
169	0.632	1606.34	210	0.800	1651.35	251	1.016	1703.64	292	1.285	1758.4
170	0.635	1607.41	211	0.807	1653.38	252	1.020	1704.41	293	1.293	1759.75
171	0.639	1608.46	212	0.811	1654.36	253	1.028	1706.08	294	1.300	1761.12

295	1.308	1762.48	336	1.659	1820.11	377	2.100	1877.78	418	2.660	1934.21
296	1.315	1763.8	337	1.667	1821.21	378	2.111	1879.04	419	2.675	1935.49
297	1.323	1765.22	338	1.678	1822.8	379	2.122	1880.43	420	2.690	1936.72
298	1.330	1766.62	339	1.685	1823.86	380	2.137	1882.13	421	2.705	1937.89
299	1.341	1768.45	340	1.696	1825.5	381	2.148	1883.43	422	2.720	1939.22
300	1.345	1769.19	341	1.708	1827.17	382	2.160	1884.63	423	2.735	1940.36
301	1.356	1771.16	342	1.715	1828.19	383	2.175	1886.3	424	2.754	1941.81
302	1.364	1772.51	343	1.726	1829.78	384	2.186	1887.53	425	2.769	1943.03
303	1.371	1773.88	344	1.737	1831.32	385	2.197	1888.76	426	2.784	1944.29
304	1.379	1775.12	345	1.745	1832.43	386	2.212	1890.48	427	2.802	1945.74
305	1.386	1776.38	346	1.756	1833.99	387	2.223	1891.65	428	2.817	1946.96
306	1.394	1777.71	347	1.767	1835.51	388	2.238	1893.31	429	2.832	1948.15
307	1.401	1779	348	1.775	1836.51	389	2.249	1894.53	430	2.851	1949.57
308	1.412	1780.99	349	1.786	1838	390	2.264	1896.23	431	2.866	1950.7
309	1.420	1782.29	350	1.797	1839.62	391	2.275	1897.29	432	2.884	1952.12
310	1.427	1783.49	351	1.808	1841.09	392	2.290	1898.85	433	2.899	1953.25
311	1.435	1784.76	352	1.816	1842.13	393	2.302	1900.1	434	2.914	1954.27
312	1.442	1786.07	353	1.827	1843.6	394	2.317	1901.6	435	2.933	1955.6
313	1.450	1787.36	354	1.838	1845.1	395	2.328	1902.84	436	2.948	1956.6
314	1.461	1789.22	355	1.850	1846.57	396	2.343	1904.25	437	2.967	1957.86
315	1.469	1790.48	356	1.861	1848.12	397	2.354	1905.5	438	2.985	1959.15
316	1.476	1791.69	357	1.872	1849.52	398	2.369	1906.98	439	3.000	1960.16
317	1.487	1793.52	358	1.883	1851.03	399	2.384	1908.54	440	3.019	1961.39
318	1.495	1794.81	359	1.894	1852.49	400	2.395	1909.73	441	3.034	1962.38
319	1.502	1796.04	360	1.902	1853.47	401	2.410	1911.12	442	3.052	1963.67
320	1.513	1797.82	361	1.913	1854.86	402	2.425	1912.64	443	3.071	1964.81
321	1.521	1798.97	362	1.924	1856.29	403	2.440	1914.06	444	3.090	1966.08
322	1.528	1800.26	363	1.935	1857.74	404	2.451	1915.16	445	3.105	1967
323	1.539	1802.08	364	1.947	1859.14	405	2.466	1916.63	446	3.123	1968.23
324	1.547	1803.22	365	1.958	1860.52	406	2.481	1918.02	447	3.142	1969.35
325	1.554	1804.39	366	1.969	1861.92	407	2.496	1919.44	448	3.161	1970.47
326	1.566	1806.09	367	1.980	1863.36	408	2.511	1920.82	449	3.180	1971.62
327	1.573	1807.32	368	1.995	1865.24	409	2.526	1922.18	450	3.198	1972.81
328	1.584	1808.97	369	2.006	1866.57	410	2.537	1923.24	451	3.217	1973.87
329	1.592	1810.1	370	2.018	1867.94	411	2.552	1924.65	452	3.232	1974.8
330	1.603	1811.74	371	2.029	1869.29	412	2.567	1926.05	453	3.254	1976.01
331	1.610	1812.93	372	2.040	1870.68	413	2.582	1927.31	454	3.273	1977.14
332	1.618	1814.07	373	2.051	1872.02	414	2.600	1928.98	455	3.292	1978.22
333	1.629	1815.63	374	2.063	1873.34	415	2.615	1930.26	456	3.310	1979.37
334	1.640	1817.33	375	2.077	1875.15	416	2.630	1931.71	457	3.329	1980.34
335	1.648	1818.46	376	2.089	1876.42	417	2.645	1932.92	458	3.348	1981.48

459	3.366	1982.47	500	4.263	2019.89	541	5.399	2049.96	582	6.837	2077.6
460	3.385	1983.43	501	4.289	2020.63	542	5.432	2050.81	583	6.878	2078.27
461	3.407	1984.71	502	4.315	2021.5	543	5.462	2051.45	584	6.915	2078.94
462	3.426	1985.74	503	4.338	2022.18	544	5.492	2052.09	585	6.956	2079.6
463	3.445	1986.77	504	4.364	2022.98	545	5.526	2052.75	586	6.998	2080.31
464	3.467	1987.83	505	4.390	2023.77	546	5.559	2053.52	587	7.035	2080.93
465	3.486	1988.81	506	4.412	2024.49	547	5.589	2054.07	588	7.076	2081.54
466	3.505	1989.79	507	4.438	2025.21	548	5.623	2054.72	589	7.117	2082.17
467	3.527	1990.88	508	4.465	2025.94	549	5.653	2055.38	590	7.158	2082.8
468	3.546	1991.81	509	4.491	2026.63	550	5.686	2056.09	591	7.199	2083.4
469	3.568	1992.79	510	4.517	2027.33	551	5.720	2056.79	592	7.244	2084.19
470	3.587	1993.7	511	4.543	2028.1	552	5.754	2057.41	593	7.285	2084.74
471	3.609	1994.74	512	4.569	2028.82	553	5.787	2058.16	594	7.326	2085.4
472	3.628	1995.53	513	4.595	2029.49	554	5.821	2058.84	595	7.367	2085.92
473	3.650	1996.56	514	4.622	2030.28	555	5.854	2059.56	596	7.412	2086.69
474	3.669	1997.44	515	4.648	2031.04	556	5.888	2060.29	597	7.453	2087.12
475	3.691	1998.49	516	4.674	2031.74	557	5.922	2060.9	598	7.498	2087.76
476	3.714	1999.39	517	4.704	2032.58	558	5.955	2061.54	599	7.539	2088.14
477	3.736	2000.3	518	4.730	2033.36	559	5.989	2062.23	600	7.584	2088.53
478	3.755	2001.15	519	4.756	2034.04	560	6.022	2062.94	601	7.629	2088.88
479	3.777	2002.04	520	4.786	2034.95	561	6.060	2063.71	602	7.670	2089.17
480	3.800	2002.96	521	4.812	2035.71	562	6.093	2064.32	603	7.715	2089.47
481	3.822	2003.81	522	4.838	2036.47	563	6.127	2065.03	604	7.760	2089.71
482	3.844	2004.68	523	4.868	2037.22	564	6.164	2065.77	605	7.804	2090.21
483	3.867	2005.58	524	4.894	2037.92	565	6.198	2066.43	606	7.849	2090.55
484	3.889	2006.55	525	4.924	2038.7	566	6.235	2067.21	607	7.894	2090.84
485	3.912	2007.37	526	4.954	2039.39	567	6.273	2067.9	608	7.943	2091.39
486	3.934	2008.3	527	4.980	2040.15	568	6.306	2068.48	609	7.988	2091.85
487	3.957	2009.07	528	5.010	2040.83	569	6.344	2069.16	610	8.032	2092.11
488	3.979	2009.95	529	5.040	2041.54	570	6.381	2069.75	611	8.081	2092.96
489	4.001	2010.81	530	5.066	2042.22	571	6.418	2070.48	612	8.126	2093.7
490	4.024	2011.71	531	5.096	2042.95	572	6.456	2071.2	613	8.174	2094.13
491	4.050	2012.6	532	5.126	2043.75	573	6.493	2071.94	614	8.219	2094.26
492	4.072	2013.38	533	5.156	2044.46	574	6.531	2072.61	615	8.268	2094.5
493	4.095	2014.26	534	5.186	2045.11	575	6.568	2073.29	616	8.316	2094.8
494	4.117	2015.14	535	5.216	2045.85	576	6.605	2073.89	617	8.365	2095.13
495	4.143	2016.04	536	5.245	2046.51	577	6.643	2074.44	618	8.413	2095.81
496	4.166	2016.86	537	5.275	2047.13	578	6.680	2075.04	619	8.462	2096.3
497	4.192	2017.55	538	5.305	2047.92	579	6.721	2075.79	620	8.511	2096.81
498	4.214	2018.38	539	5.339	2048.64	580	6.758	2076.35	621	8.559	2096.91
499	4.240	2019.21	540	5.369	2049.33	581	6.796	2076.98	622	8.608	2097.42

623	8.656	2097.87	664	10.961	2129.07	705	13.883	2138.52	746	17.577	2163.32
624	8.709	2098.43	665	11.025	2129.76	706	13.961	2138.83	747	17.678	2163.8
625	8.757	2099.01	666	11.088	2130.29	707	14.043	2139.04	748	17.779	2164.39
626	8.809	2099.55	667	11.152	2130.68	708	14.122	2139.41	749	17.884	2164.88
627	8.858	2099.92	668	11.219	2131.12	709	14.204	2140.2	750	17.988	2165.49
628	8.910	2100.47	669	11.283	2131.56	710	14.286	2141.33	751	18.089	2165.99
629	8.963	2101	670	11.350	2131.92	711	14.368	2142.25	752	18.194	2166.51
630	9.015	2101.39	671	11.413	2132.39	712	14.454	2142.86	753	18.302	2167.09
631	9.067	2101.91	672	11.481	2132.71	713	14.536	2143.16	754	18.407	2167.52
632	9.119	2102.23	673	11.544	2133.04	714	14.619	2143.64	755	18.511	2168.05
633	9.172	2102.86	674	11.611	2133.43	715	14.705	2144.64	756	18.620	2168.61
634	9.224	2103.63	675	11.679	2133.72	716	14.790	2145.51	757	18.728	2169.11
635	9.276	2104.58	676	11.746	2133.62	717	14.876	2145.95	758	18.836	2169.58
636	9.332	2105.58	677	11.813	2134.01	718	14.962	2146.51	759	18.945	2170.1
637	9.385	2106.58	678	11.884	2134.24	719	15.048	2147.02	760	19.053	2170.57
638	9.437	2107.72	679	11.951	2134.55	720	15.134	2147.58	761	19.161	2171.04
639	9.493	2108.79	680	12.022	2134.33	721	15.220	2148.28	762	19.274	2171.53
640	9.549	2110.05	681	12.089	2134.56	722	15.310	2149.11	763	19.386	2171.83
641	9.605	2111.1	682	12.160	2135.02	723	15.399	2149.92	764	19.498	2172.27
642	9.657	2112.07	683	12.231	2135.49	724	15.485	2150.57	765	19.610	2172.71
643	9.713	2112.96	684	12.302	2135.87	725	15.575	2151.26	766	19.722	2173.2
644	9.770	2113.91	685	12.373	2136.57	726	15.665	2151.96	767	19.838	2173.66
645	9.826	2114.86	686	12.444	2137.31	727	15.754	2152.68	768	19.950	2174.1
646	9.885	2115.84	687	12.515	2137.9	728	15.848	2153.43	769	20.065	2174.52
647	9.941	2116.77	688	12.586	2137.56	729	15.937	2154	770	20.181	2174.88
648	9.997	2117.5	689	12.661	2137.37	730	16.031	2154.73	771	20.297	2175.34
649	10.057	2118.34	690	12.732	2137.13	731	16.124	2155.23	772	20.417	2175.82
650	10.113	2119.15	691	12.807	2137	732	16.218	2155.86	773	20.532	2176.23
651	10.173	2120.04	692	12.881	2136.81	733	16.311	2156.48	774	20.652	2176.65
652	10.229	2120.73	693	12.956	2136.76	734	16.404	2157.05	775	20.772	2177.09
653	10.289	2121.46	694	13.031	2136.64	735	16.498	2157.62	776	20.891	2177.33
654	10.349	2122.36	695	13.106	2136.66	736	16.595	2158.23	777	21.011	2177.76
655	10.408	2123.2	696	13.180	2136.7	737	16.688	2158.73	778	21.134	2178.22
656	10.468	2123.95	697	13.255	2136.78	738	16.785	2159.31	779	21.253	2178.7
657	10.528	2124.79	698	13.334	2136.97	739	16.883	2159.76	780	21.377	2179.07
658	10.591	2125.57	699	13.412	2137.1	740	16.980	2160.3	781	21.500	2179.43
659	10.651	2126.05	700	13.487	2137.26	741	17.077	2160.89	782	21.627	2179.9
660	10.715	2126.76	701	13.565	2137.41	742	17.178	2161.28	783	21.750	2180.39
661	10.774	2127.44	702	13.644	2137.71	743	17.275	2161.62	784	21.877	2180.74
662	10.838	2128.1	703	13.722	2137.92	744	17.376	2162.19	785	22.001	2181.05
663	10.901	2128.63	704	13.801	2138.16	745	17.477	2162.79	786	22.128	2181.5

787	22.258	2181.72	828	28.183	2197.83	869	35.685	2212.3	910	45.185	2222.62
788	22.385	2182.15	829	28.344	2198.2	870	35.891	2212.52	911	45.443	2223.11
789	22.516	2182.55	830	28.508	2198.5	871	36.096	2212.96	912	45.708	2223.63
790	22.643	2182.94	831	28.673	2198.85	872	36.305	2213.34	913	45.970	2223.84
791	22.774	2183.43	832	28.837	2199.22	873	36.514	2213.68	914	46.235	2224.12
792	22.908	2183.82	833	29.005	2199.58	874	36.727	2214.2	915	46.504	2224.46
793	23.039	2184.16	834	29.173	2199.95	875	36.940	2214.64	916	46.773	2224.89
794	23.170	2184.52	835	29.342	2200.39	876	37.153	2215.02	917	47.042	2225.43
795	23.304	2184.99	836	29.510	2200.68	877	37.366	2215.52	918	47.315	2225.77
796	23.439	2185.49	837	29.682	2201.08	878	37.583	2215.87	919	47.587	2226.22
797	23.577	2185.89	838	29.853	2201.44	879	37.800	2216.31	920	47.860	2226.63
798	23.712	2186.2	839	30.025	2201.82	880	38.016	2216.64	921	48.137	2226.97
799	23.850	2186.68	840	30.197	2202.15	881	38.237	2217.12	922	48.417	2227.44
800	23.988	2187.19	841	30.373	2202.5	882	38.457	2217.48	923	48.693	2227.79
801	24.126	2187.46	842	30.548	2202.93	883	38.681	2217.76	924	48.977	2228.21
802	24.265	2187.87	843	30.724	2203.23	884	38.902	2218.14	925	49.257	2228.65
803	24.403	2188.23	844	30.899	2203.63	885	39.129	2218.6	926	49.545	2229
804	24.545	2188.63	845	31.079	2204	886	39.354	2218.93	927	49.829	2229.32
805	24.687	2188.96	846	31.258	2204.32	887	39.582	2219.27	928	50.117	2229.64
806	24.829	2189.38	847	31.441	2204.77	888	39.809	2219.65	929	50.408	2230.02
807	24.974	2189.81	848	31.620	2205.09	889	40.037	2219.88	930	50.699	2230.33
808	25.116	2190.14	849	31.804	2205.43	890	40.269	2220.35	931	50.991	2230.62
809	25.262	2190.62	850	31.987	2205.76	891	40.504	2220.66	932	51.286	2230.99
810	25.408	2190.99	851	32.173	2206.11	892	40.736	2221.08	933	51.581	2231.31
811	25.553	2191.4	852	32.356	2206.42	893	40.971	2221.25	934	51.880	2231.58
812	25.703	2191.85	853	32.543	2206.74	894	41.207	2221.63	935	52.179	2231.77
813	25.852	2192.24	854	32.734	2207.03	895	41.446	2221.92	936	52.478	2232.15
814	25.998	2192.5	855	32.921	2207.46	896	41.685	2222.24	937	52.780	2232.43
815	26.151	2192.92	856	33.111	2207.88	897	41.924	2222.5	938	53.087	2232.78
816	26.301	2193.26	857	33.302	2208.12	898	42.167	2222.82	939	53.393	2232.98
817	26.454	2193.75	858	33.496	2208.41	899	42.413	2223.19	940	53.703	2233.27
818	26.607	2194.11	859	33.686	2208.76	900	42.656	2223.49	941	54.013	2233.54
819	26.760	2194.49	860	33.884	2209.07	901	42.903	2223.79	942	54.323	2233.81
820	26.913	2194.9	861	34.079	2209.42	902	43.149	2224.17	943	54.637	2234.06
821	27.070	2195.24	862	34.273	2209.77	903	43.400	2224.38	944	54.954	2234.43
822	27.227	2195.59	863	34.471	2210.06	904	43.650	2224.72	945	55.268	2234.6
823	27.384	2195.98	864	34.673	2210.49	905	43.900	2224.85	946	55.590	2234.82
824	27.541	2196.37	865	34.871	2210.79	906	44.154	2224.83	947	55.911	2235.14
825	27.698	2196.78	866	35.072	2211.05	907	44.408	2223.99	948	56.232	2235.39
826	27.858	2197.05	867	35.274	2211.46	908	44.666	2222.95	949	56.557	2235.64
827	28.019	2197.45	868	35.480	2211.86	909	44.924	2222.29	950	56.882	2235.97

951	57.211	2236.31	992	72.442	2245.72	1033	91.726	2255.69	1074	92.305	2255.89
952	57.543	2236.55	993	72.860	2245.92	1034	92.156	2255.86	1075	92.309	2255.83
953	57.876	2236.91	994	73.279	2246.15	1035	92.160	2255.96	1076	92.313	2255.88
954	58.208	2237.1	995	73.705	2246.39	1036	92.163	2255.94	1077	92.317	2255.82
955	58.545	2237.43	996	74.131	2246.58	1037	92.167	2255.94	1078	92.320	2255.87
956	58.881	2237.63	997	74.556	2246.8	1038	92.171	2255.94	1079	92.324	2255.87
957	59.221	2237.82	998	74.986	2247.04	1039	92.175	2255.92	1080	92.328	2255.8
958	59.565	2238.19	999	75.419	2247.17	1040	92.178	2255.92	1081	92.332	2255.87
959	59.908	2238.39	1000	75.856	2247.44	1041	92.182	2255.91	1082	92.335	2255.85
960	60.252	2238.81	1001	76.294	2247.63	1042	92.186	2255.94	1083	92.339	2255.83
961	60.603	2239.15	1002	76.734	2247.91	1043	92.190	2255.94	1084	92.343	2255.86
962	60.951	2239.61	1003	77.179	2248.12	1044	92.193	2255.93	1085	92.346	2255.84
963	61.305	2239.87	1004	77.624	2248.41	1045	92.197	2255.86	1086	92.350	2255.83
964	61.657	2240.22	1005	78.072	2248.65	1046	92.201	2255.92	1087	92.354	2255.77
965	62.015	2240.68	1006	78.520	2248.97	1047	92.205	2255.94	1088	92.358	2255.77
966	62.370	2241	1007	78.976	2249.2	1048	92.208	2255.95	1089	92.361	2255.8
967	62.732	2241.24	1008	79.432	2249.42	1049	92.212	2255.94	1090	92.365	2255.79
968	63.095	2241.63	1009	79.891	2249.62	1050	92.216	2256	1091	92.369	2255.8
969	63.457	2241.82	1010	80.351	2249.82	1051	92.219	2256.03	1092	92.373	2255.82
970	63.823	2242.11	1011	80.814	2250.1	1052	92.223	2255.91	1093	92.376	2255.85
971	64.193	2242.44	1012	81.281	2250.39	1053	92.227	2255.92	1094	92.380	2255.87
972	64.563	2242.66	1013	81.752	2250.57	1054	92.231	2256.01	1095	92.384	2255.85
973	64.937	2242.99	1014	82.222	2250.8	1055	92.234	2255.95	1096	92.388	2255.83
974	65.310	2243.08	1015	82.697	2251.1	1056	92.238	2255.93	1097	92.391	2255.84
975	65.688	2243.39	1016	83.175	2251.33	1057	92.242	2255.93	1098	92.395	2255.76
976	66.069	2243.47	1017	83.653	2251.6	1058	92.246	2255.98	1099	92.399	2255.8
977	66.450	2243.84	1018	84.139	2251.88	1059	92.249	2255.99	1100	92.403	2255.82
978	66.834	2244.08	1019	84.625	2252.25	1060	92.253	2255.89	1101	92.406	2255.79
979	67.219	2244.22	1020	85.110	2252.51	1061	92.257	2255.97	1102	92.410	2255.8
980	67.608	2244.42	1021	85.603	2252.8	1062	92.261	2255.94	1103	92.414	2255.82
981	67.996	2244.66	1022	86.096	2253.15	1063	92.264	2255.81	1104	92.417	2255.82
982	68.389	2244.87	1023	86.593	2253.61	1064	92.268	2255.87	1105	92.421	2255.85
983	68.785	2245.05	1024	87.094	2254.13	1065	92.272	2255.87	1106	92.425	2255.77
984	69.181	2245.24	1025	87.598	2254.16	1066	92.275	2255.93	1107	92.429	2255.83
985	69.580	2245.43	1026	88.103	2254.35	1067	92.279	2255.91	1108	92.432	2255.76
986	69.984	2245.33	1027	88.611	2254.77	1068	92.283	2255.9	1109	92.436	2255.79
987	70.387	2245.53	1028	89.122	2254.93	1069	92.287	2255.87	1110	92.440	2255.8
988	70.794	2245.47	1029	89.638	2255.01	1070	92.290	2255.94	1111	92.444	2255.78
989	71.202	2245.41	1030	90.157	2255.1	1071	92.294	2255.87	1112	92.447	2255.75
990	71.613	2245.41	1031	90.677	2255.39	1072	92.298	2255.92	1113	92.451	2255.74
991	72.027	2245.52	1032	91.200	2255.64	1073	92.302	2255.87	1114	92.455	2255.76

1115	92.459	2255.81	1156	92.612	2255.67	1197	92.765	2255.67	1238	92.918	2255.72
1116	92.462	2255.76	1157	92.615	2255.71	1198	92.769	2255.75	1239	92.922	2255.73
1117	92.466	2255.81	1158	92.619	2255.79	1199	92.772	2255.75	1240	92.926	2255.66
1118	92.470	2255.73	1159	92.623	2255.73	1200	92.776	2255.71	1241	92.929	2255.64
1119	92.473	2255.74	1160	92.627	2255.74	1201	92.780	2255.73	1242	92.933	2255.7
1120	92.477	2255.71	1161	92.630	2255.69	1202	92.784	2255.78	1243	92.937	2255.7
1121	92.481	2255.81	1162	92.634	2255.74	1203	92.787	2255.72	1244	92.940	2255.69
1122	92.485	2255.74	1163	92.638	2255.74	1204	92.791	2255.68	1245	92.944	2255.71
1123	92.488	2255.77	1164	92.642	2255.8	1205	92.795	2255.77	1246	92.948	2255.71
1124	92.492	2255.77	1165	92.645	2255.72	1206	92.799	2255.69	1247	92.952	2255.59
1125	92.496	2255.69	1166	92.649	2255.67	1207	92.802	2255.66	1248	92.955	2255.7
1126	92.500	2255.77	1167	92.653	2255.76	1208	92.806	2255.65	1249	92.959	2255.68
1127	92.503	2255.69	1168	92.657	2255.74	1209	92.810	2255.69	1250	92.963	2255.62
1128	92.507	2255.69	1169	92.660	2255.68	1210	92.813	2255.73	1251	92.967	2255.68
1129	92.511	2255.7	1170	92.664	2255.73	1211	92.817	2255.7	1252	92.970	2255.67
1130	92.515	2255.72	1171	92.668	2255.69	1212	92.821	2255.72	1253	92.974	2255.64
1131	92.518	2255.76	1172	92.671	2255.66	1213	92.825	2255.71	1254	92.978	2255.64
1132	92.522	2255.77	1173	92.675	2255.78	1214	92.828	2255.67	1255	92.982	2255.67
1133	92.526	2255.74	1174	92.679	2255.71	1215	92.832	2255.67	1256	92.985	2255.68
1134	92.530	2255.78	1175	92.683	2255.66	1216	92.836	2255.67	1257	92.989	2255.65
1135	92.533	2255.78	1176	92.686	2255.74	1217	92.840	2255.73	1258	92.993	2255.65
1136	92.537	2255.68	1177	92.690	2255.71	1218	92.843	2255.67	1259	92.997	2255.64
1137	92.541	2255.76	1178	92.694	2255.75	1219	92.847	2255.65	1260	93.000	2255.66
1138	92.544	2255.78	1179	92.698	2255.68	1220	92.851	2255.72	1261	93.004	2255.68
1139	92.548	2255.7	1180	92.701	2255.67	1221	92.855	2255.73	1262	93.008	2255.66
1140	92.552	2255.77	1181	92.705	2255.66	1222	92.858	2255.71	1263	93.011	2255.75
1141	92.556	2255.69	1182	92.709	2255.73	1223	92.862	2255.71	1264	93.015	2255.61
1142	92.559	2255.72	1183	92.713	2255.66	1224	92.866	2255.71	1265	93.019	2255.65
1143	92.563	2255.74	1184	92.716	2255.67	1225	92.869	2255.69	1266	93.023	2255.56
1144	92.567	2255.86	1185	92.720	2255.87	1226	92.873	2255.7	1267	93.026	2255.61
1145	92.571	2255.72	1186	92.724	2255.71	1227	92.877	2255.63	1268	93.030	2255.7
1146	92.574	2255.71	1187	92.728	2255.68	1228	92.881	2255.59	1269	93.034	2255.6
1147	92.578	2255.82	1188	92.731	2255.68	1229	92.884	2255.71	1270	93.038	2255.65
1148	92.582	2255.72	1189	92.735	2255.74	1230	92.888	2255.65	1271	93.041	2255.6
1149	92.586	2255.72	1190	92.739	2255.66	1231	92.892	2255.67	1272	93.045	2255.64
1150	92.589	2255.76	1191	92.742	2255.75	1232	92.896	2255.67	1273	93.049	2255.62
1151	92.593	2255.77	1192	92.746	2255.7	1233	92.899	2255.7	1274	93.053	2255.64
1152	92.597	2255.76	1193	92.750	2255.72	1234	92.903	2255.65	1275	93.056	2255.64
1153	92.601	2255.78	1194	92.754	2255.72	1235	92.907	2255.65	1276	93.060	2255.62
1154	92.604	2255.72	1195	92.757	2255.77	1236	92.911	2255.67	1277	93.064	2255.62
1155	92.608	2255.71	1196	92.761	2255.69	1237	92.914	2255.66	1278	93.067	2255.69

1279	93.071	2255.66	1320	93.224	2255.59	1361	93.378	2255.57	1402	93.531	2255.62
1280	93.075	2255.71	1321	93.228	2255.67	1362	93.381	2255.55	1403	93.534	2255.59
1281	93.079	2255.65	1322	93.232	2255.57	1363	93.385	2255.6	1404	93.538	2255.59
1282	93.082	2255.6	1323	93.236	2255.6	1364	93.389	2255.52	1405	93.542	2255.59
1283	93.086	2255.6	1324	93.239	2255.64	1365	93.393	2255.58	1406	93.546	2255.6
1284	93.090	2255.52	1325	93.243	2255.6	1366	93.396	2255.62	1407	93.549	2255.65
1285	93.094	2255.52	1326	93.247	2255.6	1367	93.400	2255.54	1408	93.553	2255.65
1286	93.097	2255.64	1327	93.251	2255.6	1368	93.404	2255.52	1409	93.557	2255.59
1287	93.101	2255.67	1328	93.254	2255.61	1369	93.407	2255.61	1410	93.561	2255.62
1288	93.105	2255.62	1329	93.258	2255.61	1370	93.411	2255.58	1411	93.564	2255.64
1289	93.109	2255.66	1330	93.262	2255.61	1371	93.415	2255.59	1412	93.568	2255.57
1290	93.112	2255.59	1331	93.265	2255.62	1372	93.419	2255.65	1413	93.572	2255.56
1291	93.116	2255.57	1332	93.269	2255.61	1373	93.422	2255.57	1414	93.576	2255.62
1292	93.120	2255.63	1333	93.273	2255.63	1374	93.426	2255.59	1415	93.579	2255.64
1293	93.124	2255.6	1334	93.277	2255.6	1375	93.430	2255.58	1416	93.583	2255.59
1294	93.127	2255.62	1335	93.280	2255.62	1376	93.434	2255.6	1417	93.587	2255.64
1295	93.131	2255.64	1336	93.284	2255.63	1377	93.437	2255.59	1418	93.591	2255.61
1296	93.135	2255.61	1337	93.288	2255.58	1378	93.441	2255.56	1419	93.594	2255.66
1297	93.138	2255.67	1338	93.292	2255.53	1379	93.445	2255.55	1420	93.598	2255.69
1298	93.142	2255.6	1339	93.295	2255.62	1380	93.449	2255.62	1421	93.602	2255.64
1299	93.146	2255.66	1340	93.299	2255.6	1381	93.452	2255.64	1422	93.605	2255.66
1300	93.150	2255.59	1341	93.303	2255.66	1382	93.456	2255.65	1423	93.609	2255.61
1301	93.153	2255.6	1342	93.307	2255.61	1383	93.460	2255.63	1424	93.613	2255.59
1302	93.157	2255.64	1343	93.310	2255.67	1384	93.463	2255.64	1425	93.617	2255.62
1303	93.161	2255.65	1344	93.314	2255.62	1385	93.467	2255.68	1426	93.620	2255.57
1304	93.165	2255.59	1345	93.318	2255.62	1386	93.471	2255.63	1427	93.624	2255.59
1305	93.168	2255.63	1346	93.322	2255.63	1387	93.475	2255.6	1428	93.628	2255.62
1306	93.172	2255.64	1347	93.325	2255.52	1388	93.478	2255.62	1429	93.632	2255.59
1307	93.176	2255.59	1348	93.329	2255.59	1389	93.482	2255.59	1430	93.635	2255.58
1308	93.180	2255.63	1349	93.333	2255.61	1390	93.486	2255.58	1431	93.639	2255.67
1309	93.183	2255.54	1350	93.336	2255.62	1391	93.490	2255.64	1432	93.643	2255.59
1310	93.187	2255.62	1351	93.340	2255.55	1392	93.493	2255.62	1433	93.647	2255.59
1311	93.191	2255.6	1352	93.344	2255.59	1393	93.497	2255.64	1434	93.650	2255.6
1312	93.195	2255.62	1353	93.348	2255.59	1394	93.501	2255.57	1435	93.654	2255.64
1313	93.198	2255.67	1354	93.351	2255.62	1395	93.505	2255.57	1436	93.658	2255.58
1314	93.202	2255.61	1355	93.355	2255.61	1396	93.508	2255.59	1437	93.661	2255.67
1315	93.206	2255.65	1356	93.359	2255.56	1397	93.512	2255.59	1438	93.665	2255.61
1316	93.209	2255.66	1357	93.363	2255.62	1398	93.516	2255.53	1439	93.669	2255.63
1317	93.213	2255.57	1358	93.366	2255.6	1399	93.520	2255.57	1440	93.673	2255.62
1318	93.217	2255.7	1359	93.370	2255.56	1400	93.523	2255.63	1441	93.676	2255.63
1319	93.221	2255.59	1360	93.374	2255.58	1401	93.527	2255.66	1442	93.680	2255.66

1443	93.684	2255.62	1484	93.837	2255.78	1525	93.990	2255.79	1566	94.143	2255.77
1444	93.688	2255.65	1485	93.841	2255.77	1526	93.994	2255.82	1567	94.147	2255.81
1445	93.691	2255.61	1486	93.845	2255.73	1527	93.998	2255.85	1568	94.151	2255.74
1446	93.695	2255.61	1487	93.848	2255.76	1528	94.001	2255.71	1569	94.155	2255.81
1447	93.699	2255.58	1488	93.852	2255.84	1529	94.005	2255.72	1570	94.158	2255.82
1448	93.703	2255.63	1489	93.856	2255.74	1530	94.009	2255.8	1571	94.162	2255.81
1449	93.706	2255.66	1490	93.859	2255.8	1531	94.013	2255.74	1572	94.166	2255.8
1450	93.710	2255.71	1491	93.863	2255.8	1532	94.016	2255.8	1573	94.170	2255.8
1451	93.714	2255.65	1492	93.867	2255.8	1533	94.020	2255.78	1574	94.173	2255.72
1452	93.718	2255.69	1493	93.871	2255.77	1534	94.024	2255.78	1575	94.177	2255.83
1453	93.721	2255.66	1494	93.874	2255.8	1535	94.028	2255.92	1576	94.181	2255.71
1454	93.725	2255.66	1495	93.878	2255.8	1536	94.031	2255.8	1577	94.185	2255.8
1455	93.729	2255.66	1496	93.882	2255.76	1537	94.035	2255.86	1578	94.188	2255.78
1456	93.732	2255.65	1497	93.886	2255.86	1538	94.039	2255.83	1579	94.192	2255.8
1457	93.736	2255.68	1498	93.889	2255.8	1539	94.043	2255.81	1580	94.196	2255.78
1458	93.740	2255.68	1499	93.893	2255.77	1540	94.046	2255.78	1581	94.199	2255.75
1459	93.744	2255.7	1500	93.897	2255.74	1541	94.050	2255.81	1582	94.203	2255.7
1460	93.747	2255.58	1501	93.901	2255.77	1542	94.054	2255.75	1583	94.207	2255.78
1461	93.751	2255.69	1502	93.904	2255.81	1543	94.057	2255.84	1584	94.211	2255.78
1462	93.755	2255.69	1503	93.908	2255.78	1544	94.061	2255.82	1585	94.214	2255.84
1463	93.759	2255.66	1504	93.912	2255.82	1545	94.065	2255.88	1586	94.218	2255.78
1464	93.762	2255.68	1505	93.916	2255.78	1546	94.069	2255.77	1587	94.222	2255.76
1465	93.766	2255.66	1506	93.919	2255.79	1547	94.072	2255.76	1588	94.226	2255.81
1466	93.770	2255.77	1507	93.923	2255.72	1548	94.076	2255.8	1589	94.229	2255.7
1467	93.774	2255.64	1508	93.927	2255.82	1549	94.080	2255.73	1590	94.233	2255.77
1468	93.777	2255.68	1509	93.930	2255.87	1550	94.084	2255.73	1591	94.237	2255.76
1469	93.781	2255.79	1510	93.934	2255.85	1551	94.087	2255.81	1592	94.241	2255.76
1470	93.785	2255.68	1511	93.938	2255.76	1552	94.091	2255.78	1593	94.244	2255.76
1471	93.789	2255.67	1512	93.942	2255.8	1553	94.095	2255.68	1594	94.248	2255.8
1472	93.792	2255.73	1513	93.945	2255.72	1554	94.099	2255.7	1595	94.252	2255.77
1473	93.796	2255.75	1514	93.949	2255.72	1555	94.102	2255.71	1596	94.255	2255.67
1474	93.800	2255.72	1515	93.953	2255.85	1556	94.106	2255.86	1597	94.259	2255.83
1475	93.803	2255.74	1516	93.957	2255.75	1557	94.110	2255.8	1598	94.263	2255.82
1476	93.807	2255.79	1517	93.960	2255.8	1558	94.114	2255.76	1599	94.267	2255.81
1477	93.811	2255.68	1518	93.964	2255.67	1559	94.117	2255.73	1600	94.270	2255.8
1478	93.815	2255.76	1519	93.968	2255.84	1560	94.121	2255.77	1601	94.274	2255.77
1479	93.818	2255.73	1520	93.972	2255.73	1561	94.125	2255.76	1602	94.278	2255.88
1480	93.822	2255.77	1521	93.975	2255.81	1562	94.128	2255.75	1603	94.282	2255.77
1481	93.826	2255.81	1522	93.979	2255.76	1563	94.132	2255.87	1604	94.285	2255.74
1482	93.830	2255.75	1523	93.983	2255.76	1564	94.136	2255.84	1605	94.289	2255.68
1483	93.833	2255.74	1524	93.987	2255.8	1565	94.140	2255.73	1606	94.293	2255.76

1607	94.297	2255.73	1648	94.450	2255.79	1689	94.603	2255.72	1730	94.756	2255.8
1608	94.300	2255.8	1649	94.453	2255.68	1690	94.607	2255.81	1731	94.760	2255.77
1609	94.304	2255.79	1650	94.457	2255.75	1691	94.610	2255.79	1732	94.764	2255.8
1610	94.308	2255.82	1651	94.461	2255.8	1692	94.614	2255.82	1733	94.767	2255.78
1611	94.312	2255.72	1652	94.465	2255.81	1693	94.618	2255.78	1734	94.771	2255.8
1612	94.315	2255.83	1653	94.468	2255.77	1694	94.622	2255.76	1735	94.775	2255.81
1613	94.319	2255.86	1654	94.472	2255.77	1695	94.625	2255.78	1736	94.779	2255.88
1614	94.323	2255.79	1655	94.476	2255.81	1696	94.629	2255.83	1737	94.782	2255.8
1615	94.326	2255.82	1656	94.480	2255.8	1697	94.633	2255.79	1738	94.786	2255.8
1616	94.330	2255.84	1657	94.483	2255.79	1698	94.637	2255.74	1739	94.790	2255.8
1617	94.334	2255.86	1658	94.487	2255.78	1699	94.640	2255.78	1740	94.793	2255.79
1618	94.338	2255.81	1659	94.491	2255.8	1700	94.644	2255.76	1741	94.797	2255.84
1619	94.341	2255.83	1660	94.495	2255.76	1701	94.648	2255.81	1742	94.801	2255.76
1620	94.345	2255.78	1661	94.498	2255.81	1702	94.651	2255.8	1743	94.805	2255.83
1621	94.349	2255.77	1662	94.502	2255.81	1703	94.655	2255.82	1744	94.808	2255.78
1622	94.353	2255.82	1663	94.506	2255.78	1704	94.659	2255.72	1745	94.812	2255.81
1623	94.356	2255.79	1664	94.510	2255.79	1705	94.663	2255.78	1746	94.816	2255.82
1624	94.360	2255.73	1665	94.513	2255.8	1706	94.666	2255.79	1747	94.820	2255.82
1625	94.364	2255.77	1666	94.517	2255.79	1707	94.670	2255.74	1748	94.823	2255.74
1626	94.368	2255.81	1667	94.521	2255.73	1708	94.674	2255.81	1749	94.827	2255.79
1627	94.371	2255.75	1668	94.524	2255.76	1709	94.678	2255.78	1750	94.831	2255.86
1628	94.375	2255.85	1669	94.528	2255.71	1710	94.681	2255.8	1751	94.835	2255.84
1629	94.379	2255.74	1670	94.532	2255.79	1711	94.685	2255.74	1752	94.838	2255.87
1630	94.383	2255.73	1671	94.536	2255.79	1712	94.689	2255.75	1753	94.842	2255.79
1631	94.386	2255.8	1672	94.539	2255.77	1713	94.693	2255.71	1754	94.846	2255.81
1632	94.390	2255.76	1673	94.543	2255.76	1714	94.696	2255.76	1755	94.849	2255.73
1633	94.394	2255.78	1674	94.547	2255.71	1715	94.700	2255.84	1756	94.853	2255.8
1634	94.397	2255.74	1675	94.551	2255.76	1716	94.704	2255.77	1757	94.857	2255.79
1635	94.401	2255.74	1676	94.554	2255.79	1717	94.708	2255.8	1758	94.861	2255.83
1636	94.405	2255.75	1677	94.558	2255.76	1718	94.711	2255.89	1759	94.864	2255.83
1637	94.409	2255.75	1678	94.562	2255.75	1719	94.715	2255.76	1760	94.868	2255.83
1638	94.412	2255.76	1679	94.566	2255.81	1720	94.719	2255.82	1761	94.872	2255.88
1639	94.416	2255.76	1680	94.569	2255.75	1721	94.722	2255.78	1762	94.876	2255.82
1640	94.420	2255.79	1681	94.573	2255.72	1722	94.726	2255.79	1763	94.879	2255.81
1641	94.424	2255.73	1682	94.577	2255.83	1723	94.730	2255.85	1764	94.883	2255.78
1642	94.427	2255.79	1683	94.581	2255.84	1724	94.734	2255.69	1765	94.887	2255.8
1643	94.431	2255.78	1684	94.584	2255.81	1725	94.737	2255.77	1766	94.891	2255.79
1644	94.435	2255.78	1685	94.588	2255.78	1726	94.741	2255.73	1767	94.894	2255.79
1645	94.439	2255.81	1686	94.592	2255.79	1727	94.745	2255.87	1768	94.898	2255.86
1646	94.442	2255.73	1687	94.595	2255.77	1728	94.749	2255.81	1769	94.902	2255.8
1647	94.446	2255.8	1688	94.599	2255.74	1729	94.752	2255.75	1770	94.906	2255.84

1771	94.909	2255.86	1812	95.062	2255.81	1853	95.216	2255.83	1894	95.369	2255.93
1772	94.913	2255.76	1813	95.066	2255.88	1854	95.219	2255.9	1895	95.373	2255.95
1773	94.917	2255.77	1814	95.070	2255.81	1855	95.223	2255.83	1896	95.376	2255.82
1774	94.920	2255.77	1815	95.074	2255.81	1856	95.227	2255.89	1897	95.380	2255.84
1775	94.924	2255.75	1816	95.077	2255.81	1857	95.231	2255.87	1898	95.384	2255.82
1776	94.928	2255.82	1817	95.081	2255.79	1858	95.234	2255.81	1899	95.387	2255.86
1777	94.932	2255.9	1818	95.085	2255.82	1859	95.238	2255.83	1900	95.391	2255.84
1778	94.935	2255.85	1819	95.089	2255.82	1860	95.242	2255.87	1901	95.395	2255.91
1779	94.939	2255.77	1820	95.092	2255.82	1861	95.245	2255.82	1902	95.399	2255.85
1780	94.943	2255.85	1821	95.096	2255.81	1862	95.249	2255.82	1903	95.402	2255.88
1781	94.947	2255.85	1822	95.100	2255.81	1863	95.253	2255.89	1904	95.406	2255.81
1782	94.950	2255.77	1823	95.104	2255.78	1864	95.257	2255.84	1905	95.410	2255.83
1783	94.954	2255.79	1824	95.107	2255.8	1865	95.260	2255.85	1906	95.414	2255.82
1784	94.958	2255.82	1825	95.111	2255.86	1866	95.264	2255.86	1907	95.417	2255.88
1785	94.962	2255.82	1826	95.115	2255.81	1867	95.268	2255.8	1908	95.421	2255.86
1786	94.965	2255.84	1827	95.118	2255.88	1868	95.272	2255.87	1909	95.425	2255.85
1787	94.969	2255.83	1828	95.122	2255.87	1869	95.275	2255.88	1910	95.429	2255.81
1788	94.973	2255.81	1829	95.126	2255.77	1870	95.279	2255.82	1911	95.432	2255.83
1789	94.977	2255.84	1830	95.130	2255.83	1871	95.283	2255.81	1912	95.436	2255.95
1790	94.980	2255.87	1831	95.133	2255.78	1872	95.287	2255.8	1913	95.440	2255.92
1791	94.984	2255.83	1832	95.137	2255.83	1873	95.290	2255.83	1914	95.443	2255.82
1792	94.988	2255.83	1833	95.141	2255.83	1874	95.294	2255.86	1915	95.447	2255.94
1793	94.991	2255.79	1834	95.145	2255.77	1875	95.298	2255.8	1916	95.451	2255.88
1794	94.995	2255.86	1835	95.148	2255.87	1876	95.302	2255.88	1917	95.455	2255.93
1795	94.999	2255.89	1836	95.152	2255.86	1877	95.305	2255.85	1918	95.458	2255.85
1796	95.003	2255.83	1837	95.156	2255.82	1878	95.309	2255.86	1919	95.462	2255.9
1797	95.006	2255.81	1838	95.160	2255.78	1879	95.313	2255.83	1920	95.466	2255.86
1798	95.010	2255.77	1839	95.163	2255.76	1880	95.316	2255.83	1921	95.470	2255.99
1799	95.014	2255.82	1840	95.167	2255.78	1881	95.320	2255.95	1922	95.473	2255.85
1800	95.018	2255.82	1841	95.171	2255.81	1882	95.324	2255.94	1923	95.477	2255.9
1801	95.021	2255.75	1842	95.175	2255.81	1883	95.328	2255.81	1924	95.481	2255.83
1802	95.025	2255.78	1843	95.178	2255.85	1884	95.331	2255.78	1925	95.485	2255.88
1803	95.029	2255.88	1844	95.182	2255.84	1885	95.335	2255.79	1926	95.488	2255.82
1804	95.033	2255.77	1845	95.186	2255.8	1886	95.339	2255.82	1927	95.492	2255.93
1805	95.036	2255.74	1846	95.189	2255.82	1887	95.343	2255.84	1928	95.496	2255.86
1806	95.040	2255.81	1847	95.193	2255.87	1888	95.346	2255.88	1929	95.500	2255.88
1807	95.044	2255.82	1848	95.197	2255.87	1889	95.350	2255.79	1930	95.503	2255.92
1808	95.047	2255.85	1849	95.201	2255.87	1890	95.354	2255.84	1931	95.507	2255.84
1809	95.051	2255.87	1850	95.204	2255.85	1891	95.358	2255.79	1932	95.511	2255.9
1810	95.055	2255.85	1851	95.208	2255.82	1892	95.361	2255.8	1933	95.514	2255.91
1811	95.059	2255.82	1852	95.212	2255.81	1893	95.365	2255.93	1934	95.518	2255.89

1935	95.522	2255.91	1976	95.675	2255.92	2017	95.828	2255.91	2058	95.981	2255.93
1936	95.526	2255.9	1977	95.679	2255.9	2018	95.832	2255.93	2059	95.985	2255.91
1937	95.529	2255.83	1978	95.683	2255.91	2019	95.836	2255.95	2060	95.989	2255.93
1938	95.533	2255.93	1979	95.686	2255.87	2020	95.839	2255.87	2061	95.993	2255.95
1939	95.537	2255.84	1980	95.690	2255.93	2021	95.843	2256	2062	95.996	2255.94
1940	95.541	2255.92	1981	95.694	2255.84	2022	95.847	2255.92	2063	96.000	2255.92
1941	95.544	2255.91	1982	95.698	2255.88	2023	95.851	2255.91	2064	96.004	2256.01
1942	95.548	2255.89	1983	95.701	2255.86	2024	95.854	2255.9	2065	96.008	2255.96
1943	95.552	2255.88	1984	95.705	2255.88	2025	95.858	2255.92	2066	96.011	2255.96
1944	95.556	2255.92	1985	95.709	2255.81	2026	95.862	2255.91	2067	96.015	2255.92
1945	95.559	2255.91	1986	95.712	2255.92	2027	95.866	2255.94	2068	96.019	2255.97
1946	95.563	2255.87	1987	95.716	2255.94	2028	95.869	2255.9	2069	96.023	2255.93
1947	95.567	2255.91	1988	95.720	2255.93	2029	95.873	2255.83	2070	96.026	2255.97
1948	95.571	2255.84	1989	95.724	2255.96	2030	95.877	2255.89	2071	96.030	2255.94
1949	95.574	2255.9	1990	95.727	2255.94	2031	95.881	2255.89	2072	96.034	2255.96
1950	95.578	2255.83	1991	95.731	2255.86	2032	95.884	2255.91	2073	96.037	2256
1951	95.582	2255.86	1992	95.735	2256	2033	95.888	2255.98	2074	96.041	2255.96
1952	95.585	2255.87	1993	95.739	2255.98	2034	95.892	2255.92	2075	96.045	2255.89
1953	95.589	2255.83	1994	95.742	2255.96	2035	95.896	2255.98	2076	96.049	2255.95
1954	95.593	2255.87	1995	95.746	2255.94	2036	95.899	2256.01	2077	96.052	2255.89
1955	95.597	2255.82	1996	95.750	2255.91	2037	95.903	2255.96	2078	96.056	2255.95
1956	95.600	2255.9	1997	95.754	2256.01	2038	95.907	2256.01	2079	96.060	2255.96
1957	95.604	2255.89	1998	95.757	2255.91	2039	95.910	2255.92	2080	96.064	2255.99
1958	95.608	2255.85	1999	95.761	2255.94	2040	95.914	2255.95	2081	96.067	2255.91
1959	95.612	2255.85	2000	95.765	2255.88	2041	95.918	2255.93	2082	96.071	2255.93
1960	95.615	2255.89	2001	95.769	2255.89	2042	95.922	2255.99	2083	96.075	2255.89
1961	95.619	2255.85	2002	95.772	2255.98	2043	95.925	2255.81	2084	96.079	2255.97
1962	95.623	2255.87	2003	95.776	2255.88	2044	95.929	2255.97	2085	96.082	2255.88
1963	95.627	2255.86	2004	95.780	2255.91	2045	95.933	2255.96	2086	96.086	2256.05
1964	95.630	2255.95	2005	95.783	2255.99	2046	95.937	2255.92	2087	96.090	2255.97
1965	95.634	2255.92	2006	95.787	2255.93	2047	95.940	2255.95	2088	96.094	2255.95
1966	95.638	2255.94	2007	95.791	2255.95	2048	95.944	2255.92	2089	96.097	2255.91
1967	95.641	2255.92	2008	95.795	2255.85	2049	95.948	2255.89	2090	96.101	2256.03
1968	95.645	2255.81	2009	95.798	2255.9	2050	95.952	2255.95	2091	96.105	2255.98
1969	95.649	2255.84	2010	95.802	2255.89	2051	95.955	2255.89	2092	96.108	2255.9
1970	95.653	2255.89	2011	95.806	2255.88	2052	95.959	2255.86	2093	96.112	2256
1971	95.656	2255.9	2012	95.810	2255.94	2053	95.963	2255.9	2094	96.116	2255.94
1972	95.660	2255.96	2013	95.813	2255.82	2054	95.967	2255.92	2095	96.120	2255.98
1973	95.664	2255.91	2014	95.817	2255.98	2055	95.970	2255.97	2096	96.123	2256.05
1974	95.668	2255.88	2015	95.821	2255.97	2056	95.974	2255.95	2097	96.127	2255.99
1975	95.671	2255.88	2016	95.825	2255.95	2057	95.978	2255.88	2098	96.131	2255.97

2099	96.135	2255.97	2140	96.288	2255.89	2181	96.441	2256.01	2222	96.594	2256.07
2100	96.138	2255.98	2141	96.292	2255.99	2182	96.445	2256.01	2223	96.598	2256.05
2101	96.142	2256.02	2142	96.295	2255.98	2183	96.448	2255.97	2224	96.602	2256.05
2102	96.146	2255.96	2143	96.299	2255.99	2184	96.452	2256.04	2225	96.605	2256.01
2103	96.150	2255.96	2144	96.303	2255.95	2185	96.456	2256.05	2226	96.609	2256.1
2104	96.153	2255.95	2145	96.306	2255.97	2186	96.460	2255.98	2227	96.613	2255.99
2105	96.157	2256.01	2146	96.310	2255.96	2187	96.463	2256	2228	96.617	2256.06
2106	96.161	2255.96	2147	96.314	2255.96	2188	96.467	2255.98	2229	96.620	2256.13
2107	96.165	2255.94	2148	96.318	2256	2189	96.471	2256	2230	96.624	2256
2108	96.168	2255.98	2149	96.321	2255.97	2190	96.475	2256	2231	96.628	2256.02
2109	96.172	2255.92	2150	96.325	2255.98	2191	96.478	2255.99	2232	96.631	2256.01
2110	96.176	2255.97	2151	96.329	2255.92	2192	96.482	2255.97	2233	96.635	2256.01
2111	96.179	2255.97	2152	96.333	2256.02	2193	96.486	2255.98	2234	96.639	2255.98
2112	96.183	2255.97	2153	96.336	2255.99	2194	96.490	2256.01	2235	96.643	2256.01
2113	96.187	2255.94	2154	96.340	2255.97	2195	96.493	2256.04	2236	96.646	2256.02
2114	96.191	2255.95	2155	96.344	2255.94	2196	96.497	2256.04	2237	96.650	2256.09
2115	96.194	2256	2156	96.348	2255.98	2197	96.501	2256.03	2238	96.654	2256.02
2116	96.198	2255.97	2157	96.351	2256	2198	96.504	2256.03	2239	96.658	2256.07
2117	96.202	2255.87	2158	96.355	2255.95	2199	96.508	2256.05	2240	96.661	2256.06
2118	96.206	2255.96	2159	96.359	2255.99	2200	96.512	2256.07	2241	96.665	2256.09
2119	96.209	2255.99	2160	96.363	2255.97	2201	96.516	2256.05	2242	96.669	2256.02
2120	96.213	2255.94	2161	96.366	2256.04	2202	96.519	2256.04	2243	96.673	2256.03
2121	96.217	2255.93	2162	96.370	2256	2203	96.523	2255.96	2244	96.676	2256.09
2122	96.221	2255.95	2163	96.374	2256.03	2204	96.527	2256.02	2245	96.680	2256.03
2123	96.224	2255.99	2164	96.377	2255.94	2205	96.531	2256.04	2246	96.684	2256
2124	96.228	2256.01	2165	96.381	2255.95	2206	96.534	2256.07	2247	96.688	2256.07
2125	96.232	2255.97	2166	96.385	2255.96	2207	96.538	2256.03	2248	96.691	2255.98
2126	96.235	2255.97	2167	96.389	2256.06	2208	96.542	2256.02	2249	96.695	2256.11
2127	96.239	2255.99	2168	96.392	2255.91	2209	96.546	2256.06	2250	96.699	2256.1
2128	96.243	2255.99	2169	96.396	2256.02	2210	96.549	2256.09	2251	96.702	2256.1
2129	96.247	2255.99	2170	96.400	2255.96	2211	96.553	2256.13	2252	96.706	2256.14
2130	96.250	2256.07	2171	96.404	2256.07	2212	96.557	2256.04	2253	96.710	2256.06
2131	96.254	2255.96	2172	96.407	2255.99	2213	96.561	2256.05	2254	96.714	2256.02
2132	96.258	2255.96	2173	96.411	2255.93	2214	96.564	2255.99	2255	96.717	2256.04
2133	96.262	2255.96	2174	96.415	2256.04	2215	96.568	2255.99	2256	96.721	2256.06
2134	96.265	2256.03	2175	96.419	2256.04	2216	96.572	2256.08	2257	96.725	2256.02
2135	96.269	2255.98	2176	96.422	2255.99	2217	96.575	2255.96	2258	96.729	2256.07
2136	96.273	2256.02	2177	96.426	2256.06	2218	96.579	2256.01	2259	96.732	2256.07
2137	96.277	2255.95	2178	96.430	2256.05	2219	96.583	2256.04	2260	96.736	2256.04
2138	96.280	2255.93	2179	96.433	2256.03	2220	96.587	2256.01	2261	96.740	2255.97
2139	96.284	2255.96	2180	96.437	2255.99	2221	96.590	2256.05	2262	96.744	2256.02

2263	96.747	2256.02	2304	96.900	2256.13	2345	97.054	2256.19	2386	97.207	2256.15
2264	96.751	2256.04	2305	96.904	2256.08	2346	97.057	2256.12	2387	97.211	2256.15
2265	96.755	2256.02	2306	96.908	2256.13	2347	97.061	2256.17	2388	97.214	2256.26
2266	96.759	2256.08	2307	96.912	2256.16	2348	97.065	2256.14	2389	97.218	2256.17
2267	96.762	2255.99	2308	96.915	2256.14	2349	97.069	2256.2	2390	97.222	2256.15
2268	96.766	2256.04	2309	96.919	2256.11	2350	97.072	2256.15	2391	97.225	2256.14
2269	96.770	2256.03	2310	96.923	2256.07	2351	97.076	2256.2	2392	97.229	2256.22
2270	96.773	2256.06	2311	96.927	2256.1	2352	97.080	2256.1	2393	97.233	2256.17
2271	96.777	2256.01	2312	96.930	2256.13	2353	97.084	2256.13	2394	97.237	2256.15
2272	96.781	2256.1	2313	96.934	2256.13	2354	97.087	2256.15	2395	97.240	2256.19
2273	96.785	2256.05	2314	96.938	2256.09	2355	97.091	2256.15	2396	97.244	2256.2
2274	96.788	2256.07	2315	96.942	2256.14	2356	97.095	2256.19	2397	97.248	2256.19
2275	96.792	2256.08	2316	96.945	2256.11	2357	97.098	2256.15	2398	97.252	2256.21
2276	96.796	2256.04	2317	96.949	2256.08	2358	97.102	2256.14	2399	97.255	2256.16
2277	96.800	2256.05	2318	96.953	2256.06	2359	97.106	2256.26	2400	97.259	2256.21
2278	96.803	2256.02	2319	96.957	2256.1	2360	97.110	2256.2	2401	97.263	2256.22
2279	96.807	2256.08	2320	96.960	2256.11	2361	97.113	2256.14	2402	97.267	2256.3
2280	96.811	2256.07	2321	96.964	2256.07	2362	97.117	2256.19	2403	97.270	2256.19
2281	96.815	2256.11	2322	96.968	2256.15	2363	97.121	2256.21	2404	97.274	2256.21
2282	96.818	2256.1	2323	96.971	2256.12	2364	97.125	2256.2	2405	97.278	2256.23
2283	96.822	2256.1	2324	96.975	2256.03	2365	97.128	2256.07	2406	97.282	2256.28
2284	96.826	2256.03	2325	96.979	2256.19	2366	97.132	2256.14	2407	97.285	2256.19
2285	96.829	2256.12	2326	96.983	2256.16	2367	97.136	2256.18	2408	97.289	2256.2
2286	96.833	2256.08	2327	96.986	2256.13	2368	97.140	2256.08	2409	97.293	2256.19
2287	96.837	2256.04	2328	96.990	2256.13	2369	97.143	2256.21	2410	97.296	2256.19
2288	96.841	2256.08	2329	96.994	2256.1	2370	97.147	2256.17	2411	97.300	2256.18
2289	96.844	2256.1	2330	96.998	2256.16	2371	97.151	2256.1	2412	97.304	2256.16
2290	96.848	2256.12	2331	97.001	2256.16	2372	97.155	2256.14	2413	97.308	2256.16
2291	96.852	2256.06	2332	97.005	2256.13	2373	97.158	2256.17	2414	97.311	2256.23
2292	96.856	2256.09	2333	97.009	2256.13	2374	97.162	2256.18	2415	97.315	2256.24
2293	96.859	2256.04	2334	97.013	2256.13	2375	97.166	2256.21	2416	97.319	2256.23
2294	96.863	2256.1	2335	97.016	2256.16	2376	97.169	2256.16	2417	97.323	2256.19
2295	96.867	2256.04	2336	97.020	2256.15	2377	97.173	2256.17	2418	97.326	2256.2
2296	96.871	2256.09	2337	97.024	2256.13	2378	97.177	2256.16	2419	97.330	2256.2
2297	96.874	2256.1	2338	97.027	2256.2	2379	97.181	2256.19	2420	97.334	2256.26
2298	96.878	2256.15	2339	97.031	2256.15	2380	97.184	2256.21	2421	97.338	2256.22
2299	96.882	2256.08	2340	97.035	2256.07	2381	97.188	2256.23	2422	97.341	2256.26
2300	96.886	2256.12	2341	97.039	2256.05	2382	97.192	2256.09	2423	97.345	2256.2
2301	96.889	2256.12	2342	97.042	2256.13	2383	97.196	2256.16	2424	97.349	2256.23
2302	96.893	2256.06	2343	97.046	2256.14	2384	97.199	2256.18	2425	97.353	2256.19
2303	96.897	2256.11	2344	97.050	2256.06	2385	97.203	2256.16	2426	97.356	2256.21

2427	97.360	2256.24	2468	97.513	2256.24	2509	97.666	2256.35	2550	97.819	2256.47
2428	97.364	2256.26	2469	97.517	2256.23	2510	97.670	2256.36	2551	97.823	2256.45
2429	97.367	2256.24	2470	97.521	2256.35	2511	97.674	2256.33	2552	97.827	2256.39
2430	97.371	2256.25	2471	97.524	2256.3	2512	97.678	2256.41	2553	97.831	2256.46
2431	97.375	2256.2	2472	97.528	2256.31	2513	97.681	2256.36	2554	97.834	2256.38
2432	97.379	2256.23	2473	97.532	2256.32	2514	97.685	2256.4	2555	97.838	2256.4
2433	97.382	2256.25	2474	97.536	2256.38	2515	97.689	2256.46	2556	97.842	2256.44
2434	97.386	2256.25	2475	97.539	2256.27	2516	97.692	2256.43	2557	97.846	2256.45
2435	97.390	2256.32	2476	97.543	2256.34	2517	97.696	2256.4	2558	97.849	2256.42
2436	97.394	2256.28	2477	97.547	2256.31	2518	97.700	2256.37	2559	97.853	2256.47
2437	97.397	2256.2	2478	97.550	2256.33	2519	97.704	2256.37	2560	97.857	2256.48
2438	97.401	2256.28	2479	97.554	2256.34	2520	97.707	2256.39	2561	97.861	2256.48
2439	97.405	2256.27	2480	97.558	2256.34	2521	97.711	2256.42	2562	97.864	2256.39
2440	97.409	2256.27	2481	97.562	2256.37	2522	97.715	2256.38	2563	97.868	2256.42
2441	97.412	2256.26	2482	97.565	2256.32	2523	97.719	2256.43	2564	97.872	2256.44
2442	97.416	2256.27	2483	97.569	2256.33	2524	97.722	2256.33	2565	97.876	2256.36
2443	97.420	2256.31	2484	97.573	2256.26	2525	97.726	2256.36	2566	97.879	2256.41
2444	97.423	2256.21	2485	97.577	2256.28	2526	97.730	2256.36	2567	97.883	2256.42
2445	97.427	2256.29	2486	97.580	2256.37	2527	97.734	2256.34	2568	97.887	2256.48
2446	97.431	2256.22	2487	97.584	2256.36	2528	97.737	2256.37	2569	97.890	2256.46
2447	97.435	2256.28	2488	97.588	2256.35	2529	97.741	2256.39	2570	97.894	2256.41
2448	97.438	2256.26	2489	97.592	2256.43	2530	97.745	2256.44	2571	97.898	2256.46
2449	97.442	2256.32	2490	97.595	2256.39	2531	97.748	2256.4	2572	97.902	2256.46
2450	97.446	2256.25	2491	97.599	2256.34	2532	97.752	2256.42	2573	97.905	2256.48
2451	97.450	2256.35	2492	97.603	2256.38	2533	97.756	2256.45	2574	97.909	2256.5
2452	97.453	2256.34	2493	97.607	2256.32	2534	97.760	2256.41	2575	97.913	2256.46
2453	97.457	2256.32	2494	97.610	2256.29	2535	97.763	2256.35	2576	97.917	2256.42
2454	97.461	2256.24	2495	97.614	2256.36	2536	97.767	2256.34	2577	97.920	2256.45
2455	97.465	2256.26	2496	97.618	2256.24	2537	97.771	2256.36	2578	97.924	2256.45
2456	97.468	2256.3	2497	97.621	2256.32	2538	97.775	2256.42	2579	97.928	2256.48
2457	97.472	2256.25	2498	97.625	2256.33	2539	97.778	2256.39	2580	97.932	2256.42
2458	97.476	2256.3	2499	97.629	2256.32	2540	97.782	2256.43	2581	97.935	2256.49
2459	97.480	2256.34	2500	97.633	2256.28	2541	97.786	2256.38	2582	97.939	2256.47
2460	97.483	2256.22	2501	97.636	2256.34	2542	97.790	2256.43	2583	97.943	2256.48
2461	97.487	2256.27	2502	97.640	2256.37	2543	97.793	2256.43	2584	97.946	2256.47
2462	97.491	2256.33	2503	97.644	2256.41	2544	97.797	2256.39	2585	97.950	2256.52
2463	97.494	2256.28	2504	97.648	2256.44	2545	97.801	2256.46	2586	97.954	2256.45
2464	97.498	2256.29	2505	97.651	2256.36	2546	97.805	2256.42	2587	97.958	2256.49
2465	97.502	2256.32	2506	97.655	2256.34	2547	97.808	2256.52	2588	97.961	2256.44
2466	97.506	2256.31	2507	97.659	2256.36	2548	97.812	2256.46	2589	97.965	2256.44
2467	97.509	2256.34	2508	97.663	2256.42	2549	97.816	2256.38	2590	97.969	2256.51

2591	97.973	2256.49	2632	98.126	2256.54	2673	98.279	2256.58	2714	98.432	2256.68
2592	97.976	2256.49	2633	98.130	2256.57	2674	98.283	2256.61	2715	98.436	2256.62
2593	97.980	2256.51	2634	98.133	2256.59	2675	98.286	2256.64	2716	98.440	2256.72
2594	97.984	2256.45	2635	98.137	2256.52	2676	98.290	2256.57	2717	98.443	2256.73
2595	97.988	2256.43	2636	98.141	2256.56	2677	98.294	2256.62	2718	98.447	2256.65
2596	97.991	2256.51	2637	98.144	2256.61	2678	98.298	2256.6	2719	98.451	2256.69
2597	97.995	2256.47	2638	98.148	2256.56	2679	98.301	2256.67	2720	98.455	2256.72
2598	97.999	2256.49	2639	98.152	2256.6	2680	98.305	2256.6	2721	98.458	2256.76
2599	98.003	2256.51	2640	98.156	2256.53	2681	98.309	2256.72	2722	98.462	2256.68
2600	98.006	2256.47	2641	98.159	2256.54	2682	98.313	2256.65	2723	98.466	2256.72
2601	98.010	2256.53	2642	98.163	2256.55	2683	98.316	2256.59	2724	98.470	2256.68
2602	98.014	2256.48	2643	98.167	2256.44	2684	98.320	2256.65	2725	98.473	2256.7
2603	98.017	2256.54	2644	98.171	2256.53	2685	98.324	2256.6	2726	98.477	2256.74
2604	98.021	2256.52	2645	98.174	2256.57	2686	98.328	2256.65	2727	98.481	2256.74
2605	98.025	2256.5	2646	98.178	2256.63	2687	98.331	2256.62	2728	98.484	2256.71
2606	98.029	2256.49	2647	98.182	2256.51	2688	98.335	2256.68	2729	98.488	2256.71
2607	98.032	2256.51	2648	98.186	2256.55	2689	98.339	2256.66	2730	98.492	2256.77
2608	98.036	2256.47	2649	98.189	2256.63	2690	98.342	2256.64	2731	98.496	2256.77
2609	98.040	2256.49	2650	98.193	2256.54	2691	98.346	2256.57	2732	98.499	2256.74
2610	98.044	2256.56	2651	98.197	2256.56	2692	98.350	2256.6	2733	98.503	2256.71
2611	98.047	2256.53	2652	98.201	2256.61	2693	98.354	2256.66	2734	98.507	2256.69
2612	98.051	2256.47	2653	98.204	2256.61	2694	98.357	2256.65	2735	98.511	2256.72
2613	98.055	2256.48	2654	98.208	2256.57	2695	98.361	2256.62	2736	98.514	2256.67
2614	98.059	2256.56	2655	98.212	2256.55	2696	98.365	2256.64	2737	98.518	2256.76
2615	98.062	2256.48	2656	98.215	2256.59	2697	98.369	2256.65	2738	98.522	2256.72
2616	98.066	2256.55	2657	98.219	2256.56	2698	98.372	2256.66	2739	98.526	2256.79
2617	98.070	2256.49	2658	98.223	2256.55	2699	98.376	2256.62	2740	98.529	2256.75
2618	98.074	2256.5	2659	98.227	2256.56	2700	98.380	2256.69	2741	98.533	2256.78
2619	98.077	2256.56	2660	98.230	2256.59	2701	98.384	2256.61	2742	98.537	2256.7
2620	98.081	2256.61	2661	98.234	2256.57	2702	98.387	2256.64	2743	98.540	2256.69
2621	98.085	2256.54	2662	98.238	2256.6	2703	98.391	2256.64	2744	98.544	2256.75
2622	98.088	2256.55	2663	98.242	2256.63	2704	98.395	2256.68	2745	98.548	2256.7
2623	98.092	2256.52	2664	98.245	2256.61	2705	98.399	2256.66	2746	98.552	2256.75
2624	98.096	2256.48	2665	98.249	2256.62	2706	98.402	2256.66	2747	98.555	2256.75
2625	98.100	2256.51	2666	98.253	2256.64	2707	98.406	2256.77	2748	98.559	2256.76
2626	98.103	2256.59	2667	98.257	2256.61	2708	98.410	2256.69	2749	98.563	2256.7
2627	98.107	2256.57	2668	98.260	2256.63	2709	98.413	2256.63	2750	98.567	2256.74
2628	98.111	2256.54	2669	98.264	2256.64	2710	98.417	2256.68	2751	98.570	2256.85
2629	98.115	2256.55	2670	98.268	2256.67	2711	98.421	2256.66	2752	98.574	2256.78
2630	98.118	2256.54	2671	98.272	2256.7	2712	98.425	2256.7	2753	98.578	2256.67
2631	98.122	2256.52	2672	98.275	2256.58	2713	98.428	2256.71	2754	98.582	2256.77

2755	98.585	2256.74	2794	98.731	2256.84	2833	98.877	2256.8	2872	101.790	2255.77
2756	98.589	2256.76	2795	98.735	2256.87	2834	98.880	2256.79	2873	102.336	2255.86
2757	98.593	2256.75	2796	98.738	2256.74	2835	98.884	2256.82	2874	102.889	2255.95
2758	98.597	2256.75	2797	98.742	2256.84	2836	98.888	2256.78	2875	103.445	2256.01
2759	98.600	2256.8	2798	98.746	2256.79	2837	98.892	2256.86	2876	104.002	2256.18
2760	98.604	2256.8	2799	98.750	2256.79	2838	98.895	2256.83	2877	104.562	2256.33
2761	98.608	2256.77	2800	98.753	2256.76	2839	98.899	2256.83	2878	105.126	2256.64
2762	98.611	2256.71	2801	98.757	2256.79	2840	98.903	2256.83	2879	105.694	2256.8
2763	98.615	2256.75	2802	98.761	2256.77	2841	98.907	2256.86	2880	106.266	2256.9
2764	98.619	2256.73	2803	98.765	2256.76	2842	98.910	2256.9	2881	106.837	2257.09
2765	98.623	2256.75	2804	98.768	2256.79	2843	98.914	2256.91	2882	107.417	2257.35
2766	98.626	2256.81	2805	98.772	2256.8	2844	98.918	2256.89	2883	107.996	2257.63
2767	98.630	2256.75	2806	98.776	2256.79	2845	98.922	2256.83	2884	108.578	2257.87
2768	98.634	2256.77	2807	98.780	2256.73	2846	98.925	2256.86	2885	109.169	2258.09
2769	98.638	2256.76	2808	98.783	2256.77	2847	98.929	2256.9	2886	109.759	2258.25
2770	98.641	2256.82	2809	98.787	2256.86	2848	98.933	2256.88	2887	110.353	2258.44
2771	98.645	2256.8	2810	98.791	2256.77	2849	98.936	2256.84	2888	110.951	2258.63
2772	98.649	2256.75	2811	98.795	2256.76	2850	98.940	2256.9	2889	111.552	2258.92
2773	98.653	2256.73	2812	98.798	2256.75	2851	98.944	2256.87	2890	112.157	2259.2
2774	98.656	2256.73	2813	98.802	2256.75	2852	98.948	2256.77	2891	112.763	2259.27
2775	98.660	2256.8	2814	98.806	2256.76	2853	98.951	2256.87	2892	113.375	2259.44
2776	98.664	2256.76	2815	98.809	2256.78	2854	98.955	2256.81	2893	113.988	2259.69
2777	98.668	2256.76	2816	98.813	2256.84	2855	98.959	2256.78	2894	114.608	2259.92
2778	98.671	2256.8	2817	98.817	2256.75	2856	98.963	2256.84	2895	115.232	2260.35
2779	98.675	2256.75	2818	98.821	2256.76	2857	98.966	2256.79	2896	115.856	2260.77
2780	98.679	2256.77	2819	98.824	2256.78	2858	98.970	2256.78	2897	116.487	2260.95
2781	98.682	2256.77	2820	98.828	2256.78	2859	98.974	2256.84	2898	117.118	2261.48
2782	98.686	2256.81	2821	98.832	2256.77	2860	98.978	2256.89	2899	117.757	2261.64
2783	98.690	2256.82	2822	98.836	2256.77	2861	98.981	2256.88	2900	118.325	2261.65
2784	98.694	2256.83	2823	98.839	2256.82	2862	98.985	2256.83	2901	118.329	2261.7
2785	98.697	2256.8	2824	98.843	2256.8	2863	98.989	2256.9	2902	118.333	2261.59
2786	98.701	2256.75	2825	98.847	2256.8	2864	98.993	2256.91	2903	118.336	2261.64
2787	98.705	2256.77	2826	98.851	2256.86	2865	98.996	2256.89			
2788	98.709	2256.7	2827	98.854	2256.8	2866	99.000	2256.93			
2789	98.712	2256.78	2828	98.858	2256.82	2867	99.097	2255.97			
2790	98.716	2256.73	2829	98.862	2256.78	2868	99.627	2255.72			
2791	98.720	2256.77	2830	98.866	2256.85	2869	100.165	2255.52			
2792	98.724	2256.79	2831	98.869	2256.87	2870	100.703	2255.8			
2793	98.727	2256.77	2832	98.873	2256.82	2871	101.245	2255.75			

TABLA B

CASO 2: POZO CENTENARIO-1

La Tabla B-1 contiene los valores de Δt vs p_{wf} que representan una prueba Mini-Fall-Off.

Tabla B-1											
No.	Δt (h)	p_{wf} (psi)									
1	0.000	3005.37	33	0.089	2882.40	67	0.186	2850.26	101	0.281	2829.60
2	0.003	2994.61	34	0.092	2881.16	68	0.189	2849.58	102	0.283	2829.02
3	0.006	2973.65	35	0.094	2879.95	69	0.192	2848.89	103	0.286	2828.59
4	0.008	2959.17	36	0.097	2878.84	70	0.194	2848.24	104	0.289	2828.01
5	0.011	2948.82	37	0.103	2876.60	71	0.197	2847.40	105	0.292	2827.49
6	0.014	2945.08	38	0.106	2875.43	72	0.200	2846.79	106	0.294	2826.96
7	0.017	2938.66	39	0.108	2874.41	73	0.203	2846.17	107	0.297	2826.56
8	0.019	2934.89	40	0.111	2873.40	74	0.206	2845.44	108	0.300	2825.96
9	0.022	2930.08	41	0.114	2872.33	75	0.208	2844.78	109	0.303	2825.52
10	0.025	2926.41	42	0.117	2871.26	76	0.211	2844.17	110	0.306	2825.03
11	0.028	2923.10	43	0.119	2870.28	77	0.214	2843.49	111	0.308	2824.46
12	0.031	2920.04	44	0.122	2869.33	78	0.217	2842.80	112	0.311	2824.09
13	0.033	2917.25	45	0.125	2868.32	79	0.219	2842.29	113	0.314	2823.49
14	0.036	2914.53	46	0.128	2867.43	80	0.222	2841.56	114	0.317	2823.04
15	0.039	2912.24	47	0.131	2866.48	81	0.225	2841.07	115	0.319	2822.54
16	0.042	2909.77	48	0.133	2865.52	82	0.228	2840.32	116	0.322	2822.07
17	0.044	2907.62	49	0.136	2864.57	83	0.231	2839.70	117	0.325	2821.68
18	0.047	2905.63	50	0.139	2863.73	84	0.233	2839.21	118	0.328	2821.17
19	0.050	2903.66	51	0.142	2862.88	85	0.236	2838.56	119	0.331	2820.59
20	0.053	2901.76	52	0.144	2861.97	86	0.239	2838.05	120	0.333	2820.25
21	0.056	2899.97	53	0.147	2861.10	87	0.242	2837.38	121	0.336	2819.75
22	0.058	2898.14	54	0.150	2860.37	88	0.244	2836.79	122	0.339	2819.25
23	0.061	2896.48	55	0.153	2859.40	89	0.247	2836.15	123	0.342	2818.85
24	0.064	2894.86	56	0.156	2858.61	90	0.250	2835.59	124	0.344	2818.36
25	0.067	2893.28	57	0.158	2857.80	91	0.253	2835.08	125	0.347	2817.92
26	0.069	2891.80	58	0.161	2857.04	92	0.256	2834.45	126	0.350	2817.44
27	0.072	2890.32	59	0.164	2856.19	93	0.258	2833.89	127	0.353	2817.04
28	0.075	2888.99	60	0.167	2855.44	94	0.261	2833.40	128	0.356	2816.59
29	0.078	2887.56	61	0.169	2854.70	95	0.264	2832.84	129	0.358	2816.18
30	0.081	2886.17	62	0.172	2853.89	96	0.267	2832.23	130	0.361	2815.70
31	0.083	2884.84	63	0.175	2853.14	97	0.269	2831.78	131	0.364	2815.23
32	0.086	2883.67	64	0.178	2852.44	98	0.272	2831.16	132	0.367	2814.86
			65	0.181	2851.76	99	0.275	2830.63	133	0.369	2814.44
			66	0.183	2851.00	100	0.278	2830.14	134	0.372	2813.95

135	0.375	2813.58	176	0.489	2797.79	217	0.619	2782.55	258	0.783	2766.50
136	0.378	2813.20	177	0.492	2797.39	218	0.622	2782.27	259	0.789	2766.06
137	0.381	2812.72	178	0.494	2797.09	219	0.625	2781.94	260	0.792	2765.84
138	0.383	2812.33	179	0.497	2796.72	220	0.631	2781.42	261	0.797	2765.40
139	0.386	2811.87	180	0.500	2796.36	221	0.633	2781.09	262	0.803	2764.91
140	0.389	2811.49	181	0.503	2796.09	222	0.636	2780.82	263	0.806	2764.63
141	0.392	2811.08	182	0.506	2795.61	223	0.642	2780.19	264	0.811	2764.13
142	0.394	2810.61	183	0.508	2795.34	224	0.644	2780.00	265	0.817	2763.61
143	0.397	2810.19	184	0.511	2795.04	225	0.647	2779.63	266	0.822	2763.12
144	0.400	2809.85	185	0.514	2794.61	226	0.653	2779.05	267	0.825	2762.90
145	0.403	2809.45	186	0.517	2794.28	227	0.656	2778.74	268	0.831	2762.44
146	0.406	2808.95	187	0.519	2793.90	228	0.658	2778.58	269	0.836	2761.95
147	0.408	2808.64	188	0.522	2793.65	229	0.664	2777.91	270	0.839	2761.77
148	0.411	2808.31	189	0.528	2792.90	230	0.667	2777.70	271	0.844	2761.23
149	0.414	2807.86	190	0.531	2792.66	231	0.669	2777.46	272	0.850	2760.81
150	0.417	2807.46	191	0.533	2792.26	232	0.675	2776.76	273	0.856	2760.42
151	0.419	2807.01	192	0.536	2791.92	233	0.678	2776.54	274	0.858	2760.13
152	0.422	2806.61	193	0.539	2791.62	234	0.683	2775.98	275	0.864	2759.61
153	0.425	2806.27	194	0.542	2791.30	235	0.686	2775.77	276	0.869	2759.12
154	0.428	2805.87	195	0.544	2790.89	236	0.692	2775.16	277	0.875	2758.70
155	0.431	2805.57	196	0.547	2790.68	237	0.694	2774.91	278	0.881	2758.28
156	0.433	2805.13	197	0.550	2790.31	238	0.697	2774.67	279	0.886	2757.88
157	0.436	2804.80	198	0.556	2789.66	239	0.703	2774.15	280	0.889	2757.66
158	0.439	2804.26	199	0.558	2789.33	240	0.706	2773.88	281	0.894	2757.11
159	0.442	2803.86	200	0.561	2788.97	241	0.711	2773.38	282	0.900	2756.65
160	0.444	2803.62	201	0.564	2788.62	242	0.714	2773.07	283	0.906	2756.21
161	0.447	2803.24	202	0.567	2788.38	243	0.719	2772.55	284	0.911	2755.83
162	0.450	2802.79	203	0.569	2788.03	244	0.722	2772.23	285	0.917	2755.41
163	0.453	2802.48	204	0.575	2787.37	245	0.728	2771.69	286	0.922	2754.95
164	0.456	2802.07	205	0.578	2787.12	246	0.731	2771.44	287	0.928	2754.54
165	0.458	2801.74	206	0.581	2786.72	247	0.736	2770.88	288	0.931	2754.26
166	0.461	2801.38	207	0.583	2786.43	248	0.739	2770.64	289	0.936	2753.79
167	0.464	2800.86	208	0.586	2786.08	249	0.744	2770.14	290	0.942	2753.44
168	0.467	2800.64	209	0.592	2785.54	250	0.747	2769.89	291	0.947	2753.02
169	0.469	2800.16	210	0.594	2785.27	251	0.753	2769.35	292	0.953	2752.60
170	0.472	2799.92	211	0.597	2784.98	252	0.758	2768.82	293	0.958	2752.30
171	0.475	2799.51	212	0.600	2784.63	253	0.761	2768.61	294	0.964	2751.74
172	0.478	2799.23	213	0.606	2784.04	254	0.767	2768.03	295	0.969	2751.33
173	0.481	2798.90	214	0.608	2783.67	255	0.769	2767.91	296	0.975	2750.94
174	0.483	2798.42	215	0.611	2783.47	256	0.775	2767.37	297	0.981	2750.47
175	0.486	2798.03	216	0.614	2783.11	257	0.781	2766.74	298	0.986	2750.08

299	0.992	2749.70	340	1.258	2731.69	381	1.592	2712.72	422	2.017	2693.00
300	0.997	2749.23	341	1.264	2731.16	382	1.603	2712.21	423	2.028	2692.38
301	1.006	2748.60	342	1.272	2730.69	383	1.611	2711.85	424	2.042	2691.79
302	1.011	2748.13	343	1.281	2730.22	384	1.619	2711.38	425	2.053	2691.25
303	1.017	2747.79	344	1.286	2729.84	385	1.631	2710.82	426	2.064	2690.83
304	1.022	2747.44	345	1.294	2729.28	386	1.639	2710.46	427	2.075	2690.45
305	1.028	2746.91	346	1.303	2728.87	387	1.650	2709.84	428	2.089	2689.76
306	1.033	2746.57	347	1.308	2728.52	388	1.658	2709.54	429	2.100	2689.37
307	1.039	2746.20	348	1.317	2727.97	389	1.667	2709.18	430	2.111	2688.93
308	1.044	2745.74	349	1.325	2727.52	390	1.678	2708.50	431	2.125	2688.38
309	1.053	2745.18	350	1.333	2726.99	391	1.686	2708.05	432	2.136	2687.84
310	1.058	2744.72	351	1.339	2726.57	392	1.697	2707.52	433	2.150	2687.28
311	1.064	2744.40	352	1.347	2726.22	393	1.706	2707.19	434	2.161	2686.78
312	1.069	2744.05	353	1.356	2725.63	394	1.717	2706.65	435	2.175	2686.23
313	1.075	2743.70	354	1.364	2725.21	395	1.728	2706.07	436	2.186	2685.67
314	1.083	2743.13	355	1.372	2724.77	396	1.736	2705.64	437	2.200	2685.21
315	1.089	2742.65	356	1.378	2724.36	397	1.747	2705.13	438	2.211	2684.84
316	1.094	2742.34	357	1.386	2724.00	398	1.756	2704.87	439	2.225	2684.17
317	1.103	2741.74	358	1.394	2723.41	399	1.767	2704.24	440	2.236	2683.76
318	1.108	2741.33	359	1.403	2722.96	400	1.778	2703.70	441	2.250	2683.29
319	1.114	2740.94	360	1.411	2722.54	401	1.786	2703.29	442	2.264	2682.62
320	1.119	2740.60	361	1.419	2722.07	402	1.797	2702.77	443	2.275	2682.18
321	1.128	2740.03	362	1.428	2721.56	403	1.808	2702.33	444	2.289	2681.68
322	1.133	2739.68	363	1.436	2721.10	404	1.819	2701.76	445	2.303	2681.23
323	1.139	2739.29	364	1.444	2720.67	405	1.828	2701.42	446	2.317	2680.68
324	1.147	2738.62	365	1.453	2720.13	406	1.839	2700.87	447	2.331	2680.12
325	1.153	2738.33	366	1.461	2719.71	407	1.850	2700.29	448	2.342	2679.74
326	1.161	2737.78	367	1.469	2719.26	408	1.861	2699.79	449	2.356	2679.25
327	1.167	2737.50	368	1.478	2718.74	409	1.872	2699.27	450	2.369	2678.69
328	1.172	2737.03	369	1.486	2718.39	410	1.883	2698.85	451	2.383	2678.23
329	1.181	2736.55	370	1.494	2717.94	411	1.894	2698.25	452	2.397	2677.67
330	1.186	2736.22	371	1.503	2717.46	412	1.903	2697.88	453	2.411	2677.13
331	1.194	2735.68	372	1.511	2717.02	413	1.914	2697.37	454	2.425	2676.67
332	1.200	2735.33	373	1.522	2716.47	414	1.925	2696.94	455	2.439	2676.17
333	1.208	2734.67	374	1.531	2715.97	415	1.936	2696.43	456	2.453	2675.67
334	1.214	2734.47	375	1.539	2715.59	416	1.947	2695.98	457	2.467	2675.12
335	1.222	2733.92	376	1.547	2715.07	417	1.958	2695.38	458	2.481	2674.63
336	1.228	2733.51	377	1.556	2714.66	418	1.972	2694.80	459	2.497	2673.99
337	1.236	2732.98	378	1.567	2714.06	419	1.983	2694.37	460	2.511	2673.54
338	1.244	2732.40	379	1.575	2713.60	420	1.994	2693.86	461	2.525	2673.14
339	1.250	2732.09	380	1.583	2713.17	421	2.006	2693.41	462	2.539	2672.67

463	2.556	2671.98	504	3.233	2650.92	545	4.097	2629.70	586	5.186	2608.41
464	2.569	2671.51	505	3.253	2650.43	546	4.119	2629.22	587	5.217	2607.86
465	2.583	2671.00	506	3.272	2649.91	547	4.144	2628.71	588	5.247	2607.38
466	2.600	2670.49	507	3.292	2649.21	548	4.167	2628.14	589	5.278	2606.87
467	2.614	2670.05	508	3.311	2648.82	549	4.192	2627.59	590	5.308	2606.40
468	2.628	2669.52	509	3.328	2648.28	550	4.217	2627.09	591	5.339	2605.85
469	2.644	2668.98	510	3.347	2647.81	551	4.239	2626.66	592	5.369	2605.30
470	2.658	2668.42	511	3.367	2647.37	552	4.264	2626.03	593	5.400	2604.79
471	2.675	2667.94	512	3.386	2646.76	553	4.289	2625.62	594	5.431	2604.31
472	2.689	2667.45	513	3.406	2646.18	554	4.314	2625.04	595	5.461	2603.82
473	2.706	2666.92	514	3.425	2645.71	555	4.339	2624.42	596	5.494	2603.30
474	2.722	2666.31	515	3.447	2645.17	556	4.364	2624.03	597	5.525	2602.66
475	2.736	2665.89	516	3.467	2644.76	557	4.389	2623.50	598	5.558	2602.17
476	2.753	2665.44	517	3.486	2644.23	558	4.414	2622.90	599	5.589	2601.71
477	2.769	2664.79	518	3.506	2643.62	559	4.439	2622.44	600	5.622	2601.11
478	2.786	2664.31	519	3.525	2643.18	560	4.467	2621.91	601	5.656	2600.48
479	2.800	2663.83	520	3.547	2642.76	561	4.492	2621.40	602	5.686	2600.22
480	2.817	2663.32	521	3.567	2642.24	562	4.517	2620.83	603	5.719	2599.67
481	2.833	2662.79	522	3.589	2641.72	563	4.544	2620.36	604	5.753	2599.03
482	2.850	2662.23	523	3.608	2641.20	564	4.569	2619.83	605	5.786	2598.50
483	2.867	2661.74	524	3.631	2640.70	565	4.597	2619.25	606	5.819	2597.99
484	2.883	2661.20	525	3.650	2640.10	566	4.622	2618.72	607	5.853	2597.48
485	2.900	2660.73	526	3.672	2639.70	567	4.650	2618.24	608	5.886	2596.88
486	2.917	2660.17	527	3.692	2639.14	568	4.675	2617.75	609	5.922	2596.29
487	2.933	2659.68	528	3.714	2638.66	569	4.703	2617.28	610	5.956	2595.84
488	2.950	2659.22	529	3.736	2638.08	570	4.731	2616.70	611	5.989	2595.40
489	2.967	2658.67	530	3.758	2637.64	571	4.758	2616.25	612	6.025	2594.90
490	2.983	2658.13	531	3.778	2637.17	572	4.786	2615.72	613	6.058	2594.33
491	3.000	2657.67	532	3.800	2636.66	573	4.814	2615.17	614	6.094	2593.71
492	3.019	2657.16	533	3.822	2636.05	574	4.842	2614.64	615	6.131	2593.28
493	3.036	2656.67	534	3.844	2635.52	575	4.869	2614.11	616	6.164	2592.70
494	3.053	2656.01	535	3.867	2634.99	576	4.897	2613.53	617	6.200	2592.20
495	3.072	2655.57	536	3.889	2634.52	577	4.925	2613.09	618	6.236	2591.67
496	3.089	2655.08	537	3.911	2634.00	578	4.953	2612.64	619	6.272	2591.19
497	3.106	2654.61	538	3.933	2633.45	579	4.981	2612.10	620	6.308	2590.67
498	3.125	2654.01	539	3.956	2632.97	580	5.011	2611.57	621	6.344	2590.21
499	3.142	2653.55	540	3.981	2632.39	581	5.039	2611.08	622	6.381	2589.67
500	3.161	2652.95	541	4.003	2631.93	582	5.069	2610.52	623	6.419	2589.19
501	3.178	2652.54	542	4.025	2631.38	583	5.097	2610.04	624	6.456	2588.63
502	3.197	2651.86	543	4.050	2630.84	584	5.128	2609.43	625	6.492	2588.12
503	3.217	2651.37	544	4.072	2630.27	585	5.156	2608.94	626	6.531	2587.57

627	6.567	2587.13	668	8.317	2565.28	709	10.531	2543.84	750	13.333	2522.57
628	6.606	2586.55	669	8.364	2565.04	710	10.592	2543.33	751	13.411	2522.18
629	6.644	2585.93	670	8.414	2564.58	711	10.653	2542.86	752	13.489	2521.67
630	6.683	2585.48	671	8.461	2564.14	712	10.714	2542.41	753	13.567	2521.08
631	6.719	2584.96	672	8.511	2563.65	713	10.775	2541.93	754	13.644	2520.58
632	6.758	2584.51	673	8.558	2563.22	714	10.839	2541.28	755	13.722	2520.04
633	6.797	2584.01	674	8.608	2562.72	715	10.900	2540.84	756	13.803	2519.45
634	6.839	2583.51	675	8.658	2562.29	716	10.964	2540.25	757	13.883	2518.99
635	6.878	2583.07	676	8.708	2561.90	717	11.028	2539.90	758	13.961	2518.34
636	6.917	2582.32	677	8.758	2561.42	718	11.092	2539.44	759	14.042	2517.77
637	6.956	2581.75	678	8.808	2560.81	719	11.156	2539.02	760	14.125	2517.13
638	6.997	2581.13	679	8.861	2560.16	720	11.219	2538.38	761	14.206	2516.42
639	7.036	2580.52	680	8.911	2559.65	721	11.283	2537.91	762	14.289	2515.82
640	7.078	2579.94	681	8.964	2559.18	722	11.350	2537.32	763	14.369	2515.18
641	7.119	2579.40	682	9.014	2558.71	723	11.414	2536.88	764	14.453	2514.66
642	7.161	2578.84	683	9.067	2558.20	724	11.481	2536.36	765	14.536	2514.12
643	7.200	2578.23	684	9.119	2557.59	725	11.547	2535.77	766	14.619	2513.51
644	7.242	2577.74	685	9.172	2557.02	726	11.614	2535.28	767	14.706	2513.01
645	7.286	2577.28	686	9.225	2556.49	727	11.681	2534.80	768	14.789	2512.52
646	7.328	2576.68	687	9.278	2555.84	728	11.747	2534.19	769	14.875	2512.03
647	7.369	2576.24	688	9.331	2555.30	729	11.817	2533.73	770	14.961	2511.55
648	7.411	2575.72	689	9.386	2554.77	730	11.883	2533.27	771	15.047	2510.98
649	7.456	2575.15	690	9.439	2554.15	731	11.953	2532.69	772	15.133	2510.42
650	7.497	2574.59	691	9.494	2553.60	732	12.022	2532.17	773	15.222	2509.89
651	7.542	2574.19	692	9.547	2553.14	733	12.092	2531.71	774	15.308	2509.32
652	7.583	2573.62	693	9.603	2552.46	734	12.161	2531.12	775	15.397	2508.70
653	7.628	2573.13	694	9.658	2551.83	735	12.231	2530.62	776	15.486	2508.21
654	7.672	2572.52	695	9.714	2551.38	736	12.300	2530.01	777	15.575	2507.53
655	7.717	2572.04	696	9.772	2550.77	737	12.372	2529.55	778	15.667	2506.98
656	7.761	2571.44	697	9.828	2550.26	738	12.444	2528.95	779	15.756	2506.50
657	7.806	2570.97	698	9.883	2549.68	739	12.517	2528.39	780	15.847	2506.09
658	7.850	2570.40	699	9.942	2549.21	740	12.589	2527.92	781	15.939	2505.49
659	7.897	2569.95	700	9.997	2548.73	741	12.661	2527.31	782	16.031	2504.88
660	7.942	2569.34	701	10.056	2548.10	742	12.733	2526.69	783	16.125	2504.46
661	7.989	2568.86	702	10.114	2547.54	743	12.808	2525.84	784	16.217	2504.00
662	8.033	2568.23	703	10.172	2547.14	744	12.881	2525.39	785	16.311	2503.50
663	8.081	2567.58	704	10.231	2546.59	745	12.956	2524.79	786	16.406	2502.97
664	8.128	2567.17	705	10.292	2545.96	746	13.031	2524.49	787	16.500	2502.39
665	8.175	2566.68	706	10.350	2545.48	747	13.106	2524.13	788	16.594	2501.90
666	8.222	2566.17	707	10.411	2544.86	748	13.181	2523.63	789	16.692	2501.32
667	8.269	2565.70	708	10.469	2544.36	749	13.258	2523.08	790	16.786	2500.71

791	16.883	2500.24	826	20.653	2482.33	861	25.261	2462.71	896	30.903	2446.26
792	16.981	2499.60	827	20.772	2481.93	862	25.408	2462.34	897	31.081	2445.85
793	17.078	2498.96	828	20.892	2481.53	863	25.556	2461.97	898	31.258	2445.42
794	17.178	2498.35	829	21.011	2480.98	864	25.703	2461.58	899	31.439	2444.92
795	17.278	2497.95	830	21.133	2480.33	865	25.850	2461.13	900	31.622	2444.36
796	17.378	2497.47	831	21.256	2479.83	866	26.000	2460.71	901	31.803	2443.95
797	17.478	2496.92	832	21.378	2479.23	867	26.150	2460.31	902	31.989	2443.28
798	17.578	2496.35	833	21.503	2478.87	868	26.300	2459.74	903	32.172	2442.72
799	17.681	2495.93	834	21.625	2478.32	869	26.453	2459.41	904	32.358	2442.10
800	17.781	2495.43	835	21.750	2477.84	870	26.606	2459.02	905	32.544	2441.46
801	17.883	2495.03	836	21.875	2477.21	871	26.758	2458.68	906	32.733	2440.82
802	17.986	2494.43	837	22.003	2476.65	872	26.914	2458.11	907	32.922	2440.16
803	18.092	2494.10	838	22.131	2475.92	873	27.069	2457.73	908	33.111	2439.70
804	18.194	2493.52	839	22.258	2475.28	874	27.225	2457.04	909	33.303	2439.11
805	18.300	2493.06	840	22.386	2474.78	875	27.383	2456.62	910	33.494	2438.72
806	18.406	2492.47	841	22.514	2474.23	876	27.542	2456.17	911	33.689	2438.24
807	18.514	2492.01	842	22.644	2473.82	877	27.700	2455.78	912	33.883	2437.84
808	18.619	2491.52	843	22.775	2473.25	878	27.861	2455.38	913	34.078	2437.26
809	18.728	2490.90	844	22.908	2472.71	879	28.019	2454.95	914	34.275	2436.75
810	18.836	2490.27	845	23.039	2472.12	880	28.183	2454.45	915	34.472	2436.13
811	18.944	2489.79	846	23.172	2471.57	881	28.344	2453.86	916	34.672	2435.46
812	19.053	2489.22	847	23.306	2471.14	882	28.508	2453.38	917	34.872	2434.88
813	19.164	2488.72	848	23.442	2470.49	883	28.672	2452.98	918	35.075	2434.27
814	19.275	2488.29	849	23.575	2469.91	884	28.839	2452.56	919	35.275	2433.82
815	19.386	2487.81	850	23.711	2469.39	885	29.006	2452.09	920	35.481	2433.15
816	19.497	2487.35	851	23.850	2468.83	886	29.172	2451.71	921	35.686	2432.63
817	19.608	2486.97	852	23.986	2468.40	887	29.342	2451.21	922	35.892	2431.97
818	19.722	2486.57	853	24.125	2467.74	888	29.511	2450.77	923	36.097	2431.56
819	19.836	2486.07	854	24.264	2466.98	889	29.681	2450.18	924	36.306	2431.00
820	19.950	2485.60	855	24.406	2466.12	890	29.853	2449.65			
821	20.067	2485.10	856	24.544	2465.44	891	30.025	2449.17			
822	20.183	2484.52	857	24.686	2464.80	892	30.197	2448.42			
823	20.300	2484.00	858	24.831	2464.25	893	30.372	2447.99			
824	20.417	2483.55	859	24.972	2463.70	894	30.547	2447.30			
825	20.533	2482.96	860	25.117	2463.23	895	30.725	2446.84			

BIBLIOGRAFÍA

1. Ayoub, J.A. et al; *"Impulse Testing,"* SPEFE, 534, Sep. 1988.
2. Bourdet, D.; *"Well Testing and Interpretation,"* Ecole du Pétrole et des Moteurs, Francia, 171-173, 2002.
3. Ceccarelli, R.L. et al; *"New Methodology of Mini-Fall-Off Test to Optimize Hydraulic in Unconventional Reservoirs,"* SPE 122326, Mayo 2009.
4. Cinco Ley, H.; *"Análisis de Pruebas de Presión",* presentaciones de posgrado, F.I., UNAM, 2002.
5. Cinco Ley, H. et al: *"Analysis of Pressure Tests Through the Use of Instantaneous Source Response Concepts,"* artículo SPE 15476 presentado en 1986 en la SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Nueva Orleans, Oct. 5-8.
6. Cinco Ley, H. et al: *"Nuevos Conceptos en el Diseño, Conducción e Interpretación de Pruebas de Incremento de Presión,"* Feb. 1990.
7. Comisión Nacional de Hidrocarburos; *"Proyecto Aceite Terciario del Golfo, Primera Revisión y Recomendaciones,"* Abril 2010.
8. Earlougher, R. C., Jr; *"Advances in Well Test Analysis,"* Society of Petroleum Engineers of AIME, Dallas, Tex. 1977.
9. Harting, T.A. et al; *"Application of Mini-Fall-Off Test to Determine Reservoir Parameters and Optimize Fracture Design in a Tight Gas Field,"* SPE 90455, Sep. 2004.
10. Horne R.N; *"Modern Well Test Analysis,"* Petroway Inc., Palo Alto, California, 1-6, 1990.
11. Johnson, K. et al; *"The Nuts and Bolts of Fall-Off Testing,"* Environmental Protection Agency, E.U., Marzo 2003.
12. Lee, J.; *"Well Testing",* Vol. 1, SPE Textbook, Society of Petroleum Engineers of AIME, Dallas, Texas, 1982.
13. Matthews, C.S. et al; *"Pressure Buildup an Flow Tests in Wells,"* Society of Petroleum Engineers of AIME, Nueva York, 18-30, 1967.
14. Soliman, M.Y.: *"Analysis of Buildup tests With Short Producing Time,"* SPEFE 363-371; Trans., AIME, 285. Ago. 1985.