

Gas Well Testing

Manual técnico



Autores:

- Juan José Jiménez Acevedo
- Dana Liseth Sierra Martínez

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas

Escuela de Ingeniería de Petróleos

Bucaramanga 2021

Contenido

1. Objetivo.....	2
1.1. Objetivos específicos.....	2
2. Alcance	3
3. Requerimientos técnicos	3
3.1. Software.....	3
3.2. Hardware.....	3
4. Herramientas utilizadas	3
4.1. Matlab®	3
4.2. AppDesginer	4
4.3. Microsoft Excel	4
5. Instalación.....	4
6. Diseño	7
6.1. Casos de uso.....	7
6.1.1. Prueba PDD.....	7
6.1.2. Prueba PBU.....	9
6.1.3. Pruebas de capacidad de entrega	11

1. Objetivo

El objetivo general de Gas Well Testing (GWT) consiste en permitir al usuario analizar pruebas de presión realizadas a pozos de gas natural, teniendo como base, principalmente, datos de presión, caudal y tiempo, registrados en campo.

1.1. Objetivos específicos

La herramienta software GWT permite analizar principalmente 3 pruebas de presión aplicadas a pozos de gas, las cuales se describen a continuación:

- **Pruebas de descenso de presión (PDD):** Este análisis parte de un registro de valores de presión y tiempo tomados en un pozo de gas natural, en donde la presión es función inversamente proporcional del

tiempo. Con dicho registro de datos es posible obtener gráficas que finalmente permiten al usuario obtener parámetros importantes del yacimiento y el pozo, tales como la permeabilidad (K), capacidad de almacenamiento (C) y factor de daño (S).

- **Pruebas de aumento de presión (PBU):** El análisis de pruebas PBU tiene el mismo objetivo específico que el análisis de las pruebas PDD respecto a la obtención de parámetros del yacimiento y el pozo gracias a gráficas, con la diferencia de que aquí el análisis parte de un registro de datos tomados de campo en donde la presión es función directamente proporcional del tiempo.
- **Pruebas de capacidad de entrega:** Aquí, se busca obtener un valor de caudal de un pozo de gas para una cierta presión ingresada por el usuario. Dicho análisis tiene como base datos de caudales y presiones de diferentes pruebas de descenso y aumento de presión.

2. Alcance

GWT es una herramienta software que describe gráficamente los parámetros de una prueba de presión (presión, caudal y tiempo) y permite obtener estimación de datos importantes, tales como la permeabilidad y el factor de skin del yacimiento.

3. Requerimientos técnicos

El usuario de GWT recibe un archivo de tipo aplicación para ser ejecutado en su ordenador, además de 2 documentos en Excel, los cuales son plantillas sobre las cuales el usuario debe agregar datos de pruebas de presión para posteriormente ser importados en el programa. Teniendo en cuenta esto, los requerimientos de software y hardware para el correcto funcionamiento de la herramienta se describen a continuación:

3.1. Software

- Sistema operativo Windows (Windows 7 en adelante).
- Microsoft Excel.

3.2. Hardware

- Computador portátil o de escritorio (monitor, teclado, mouse y CPU para computadores de escritorio).
- Procesador con frecuencia mínima de operación de 1.4 GHz.
- Memoria RAM mínimo de 2 GB.
- Permiso de administrador.

4. Herramientas utilizadas

4.1. Matlab®

Es una herramienta que cuenta con un Entorno de Desarrollo Integrado (*Integrated Development Environment*, IDE) que tiene su propio lenguaje de programación, conocido como lenguaje M. El IDE de Matlab® cuenta con un

editor de código fuente, una ventana de comando (*command window*), un espacio de trabajo donde se logran visualizar las variables que se tengan (matrices, vectores, entre otras) y un depurador.

(https://es.wikipedia.org/wiki/Entorno_de_desarrollo_integrado)

4.2. AppDesigner

Es un IDE de Matlab®, diferente al IDE principal ya mencionado anteriormente. También cuenta con un editor de código fuente, un depurador y una librería de componentes que pueden ser utilizadas para el desarrollo de aplicaciones de Matlab®, tales como botones de ejecución, planos cartesianos para gráficas en 2 dimensiones, etiquetas de texto, paneles, imágenes, tablas, campos de texto numérico, entre otros. Para utilizar esta herramienta, se debe digitar *app designer* en la ventana de comando de Matlab®. Aquí se desarrolló la totalidad del código fuente de GWT.

(https://es.wikipedia.org/wiki/Entorno_de_desarrollo_integrado)

4.3. Microsoft Excel

El punto de partida del análisis de las pruebas de presión son tablas de datos asociadas tanto a las propiedades del gas como a los datos de la prueba en sí. Para facilitar el trabajo al usuario, se hace uso de la herramienta Excel para importar dichas tablas hacia el software GWT, ya que el lenguaje M utilizado ofrece dicha opción.

5. Instalación


Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
 MyAppInstaller_web	08/06/2021 14:31	Aplicación	5.434 KB

Figura 1: Archivo ejecutable de la aplicación

Como se mencionó anteriormente, el usuario cuenta con un archivo ejecutable de tipo aplicación para ser instalado en algún ordenador que cuente con los requerimientos anteriormente descritos. Dicha aplicación requiere permiso de administrador para ser ejecutada. (**figura 1**).

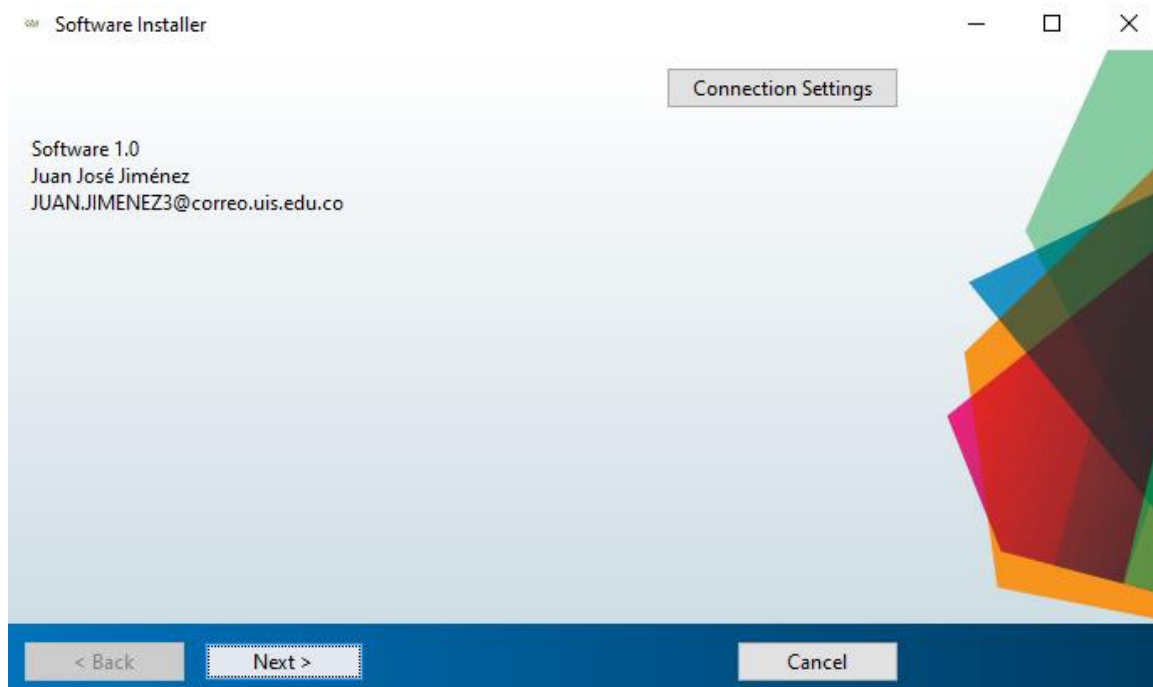


Figura 2: Primera pestaña de instalación

Luego de haber ejecutado la aplicación, se abrirá la pestaña que se presenta en la *figura 2*, en donde aparece el nombre y correo electrónico del usuario de Matlab® en donde fue programado GWT (Juan José Jiménez). Aquí, se debe hacer clic en “next” o “siguiente”.

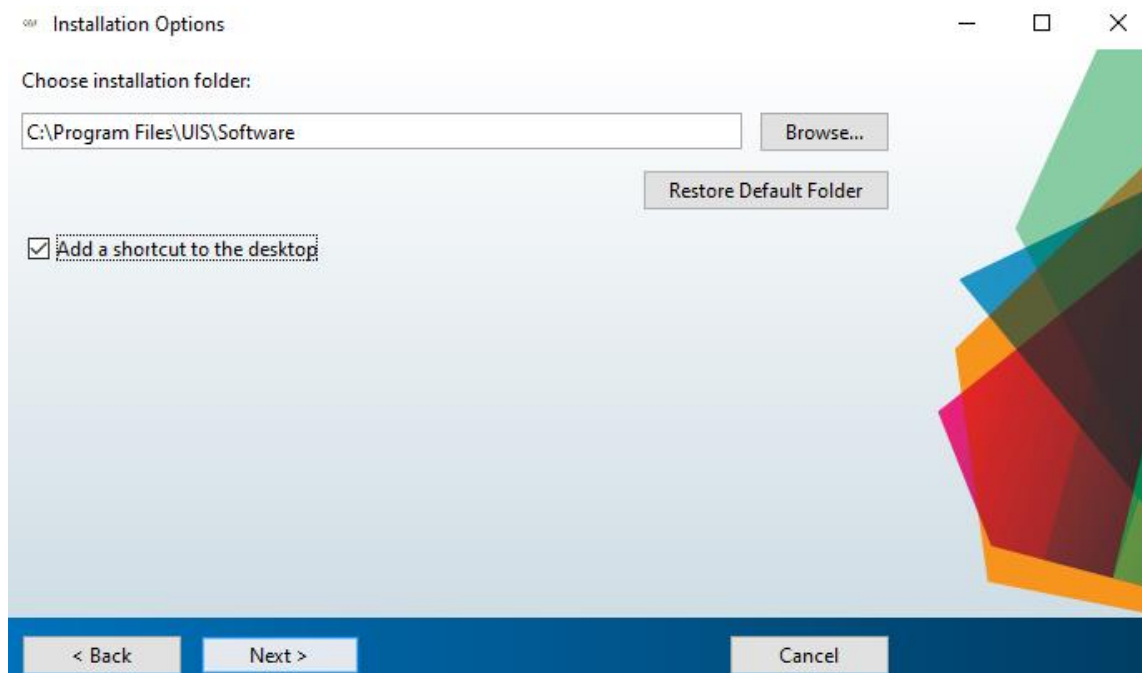


Figura 3: Segunda pestaña de instalación

Posteriormente, se debe elegir el lugar en el que se desea ubicar el archivo GWT (*figura 3*). Además, si el usuario lo desea, puede seleccionar el recuadro “Add a shortcut to the desktop”, con el fin de crear un acceso directo de dicha aplicación y el usuario no tenga la necesidad de buscar la carpeta en la cual se encuentra el archivo.

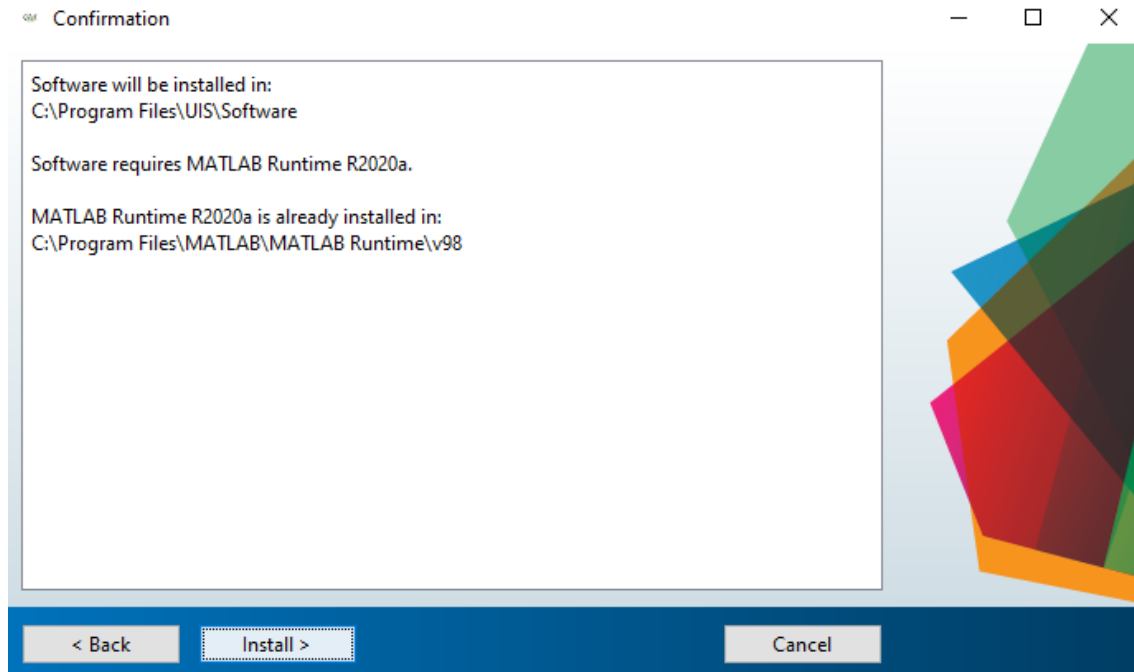


Figura 4: Tercera pestaña de instalación

Finalmente, se debe hacer clic en “Install”. Con este último paso, la aplicación queda instalada en la carpeta asignada y, a su vez, como acceso directo en el escritorio (en caso de haber seleccionado esta opción). En este momento, GWT está listo para ser utilizado.

6. Diseño



Figura 5: Interfaz inicial

Al ejecutar el software GWT, se presenta la interfaz de la **figura 5**, en donde el usuario debe dar clic en “Analizar” (parte superior izquierda), con el fin de escoger el tipo de prueba de presión que se desee analizar. Como ya se mencionó anteriormente, es posible analizar pruebas de descenso de presión (PDD), pruebas de aumento de presión (PBU) y pruebas de capacidad de entrega.

6.1. Casos de uso

Para cada tipo de prueba de presión, se tiene un caso de uso específico, el cual cuenta con un flujo principal, un flujo alterno y unas excepciones, según el paso a paso que siga el usuario.

6.1.1. Prueba PDD

- **Actor:** Usuario
- **Descripción:** El usuario importa una tabla de propiedades del gas para posteriormente analizar la función de pseudopresiones y finalmente elegir el método de solución que desee (pseudopresiones es sugerido) para graficar el histórico de presión de la prueba y obtener resultados de la permeabilidad del yacimiento, la presión a 1 hora de prueba y el factor de skin (además de los parámetros D y β involucrados en el cálculo de este último, los cuales hacen referencia al flujo no-Darcy del pozo).
- **Requisitos:** En el dispositivo que se haya ejecutado el software GWT (computador portátil o de escritorio), se requiere encontrar un documento de Excel en la carpeta “Documentos” llamado “Pseudopresión”, el cual debe contener dos hojas de cálculo: la primera, se nombra “Pseudopresión” (allí se deben encontrar los datos de P , Z y

μ del gas, los cuales deben estar ubicados en ese mismo orden de izquierda a derecha, iniciando en la columna A de la hoja), y la segunda se nombra "PDD" (allí se deben encontrar los datos de tiempo y presión de la prueba, los cuales deben estar ubicados en ese mismo orden de izquierda a derecha, iniciando en la columna A de la hoja). Es menester que los nombres del documento, las hojas y el orden de las columnas sea exacto y preciso, de tal forma que no haya errores en el proceso de importación de datos.

- **Flujo principal**

1. Importar la tabla de propiedades del gas.
2. Graficar la presión del gas en función de la pseudopresión.
3. Obtener una ecuación para el tipo de regresión más adecuado para la gráfica del paso 2 (cuadrática o cúbica), con sus respectivos coeficientes, coeficiente de determinación" (R^2), media aritmética y desviación estándar.
4. Importar tabla de histórico de presión de la prueba (tiempo Vs. Pwf)
5. Digitar las propiedades del yacimiento y los fluidos (gas): caudal, temperatura, presión inicial, porosidad, compresibilidad total, espesor, radio del pozo, viscosidad inicial, gravedad específica del gas y factor volumétrico de formación.
6. Visualizar la guía (parámetros de las gráficas y ecuaciones) del método de solución deseado (presión de fondo, pseudopresión, presión cuadrática y presión normalizada) para el cálculo de permeabilidad y factor de skin del yacimiento.
7. Obtener las 3 gráficas (derivada, semilogarítmica y logarítmica) utilizadas en el análisis de pruebas de presión en función del método de solución escogido anteriormente.
8. Obtener la pendiente de la línea recta que se adecúa a los puntos del intervalo seleccionado de la gráfica semilogarítmica.
9. Corroborar el valor de la presión a 1 hora de prueba estimado con el calculado por el software.
10. Obtener la pendiente del intervalo de la ETR en la gráfica logarítmica.
11. Calcular la permeabilidad y el factor de skin del yacimiento (el cual está en función de los parámetros D y β , variables correspondientes al flujo no-Darcy).
12. Limpiar todo (gráficas y resultados) para realizar un nuevo análisis.

- **Flujo alterno**

1. Luego del paso 1 y antes de pasar al paso 4 del flujo principal, es posible importar nuevamente la tabla de propiedades del gas. En este caso, se debe volver a pasar por los pasos 2 y 3.
2. Posterior al paso 7 del flujo principal, el usuario puede visualizar la guía de un método de solución distinto al que se está utilizando en ese momento. Allí, es posible elegir si se quiere únicamente visualizar dicha guía o, en su defecto, iniciar un nuevo método de

solución. En este último, se muestra la guía de dicho método deseado y se continua nuevamente desde el paso 7.

3. Al obtener los resultados (paso 11 del flujo principal), es posible ingresar nuevas propiedades de roca y fluido para realizar unos nuevos cálculos (considerando la misma tabla de histórico de presión y las gráficas ya obtenidas), sin embargo, esto solo será posible hasta tanto exista un valor lógico (mayor a cero) asignado a cada propiedad.
4. Nuevamente luego del paso 7, en cualquier momento el usuario puede importar una nueva tabla de histórico de presión sin necesidad de haber terminado el análisis en su totalidad, sin embargo, con esto se retrocede al paso 6.

- **Excepciones**

1. Si el usuario no ha ingresado un valor lógico (mayor a cero) para todas las propiedades de roca y fluido, no es posible obtener el valor de la pendiente de la línea que se considera en la gráfica logarítmica. En tal caso, se muestra un mensaje de advertencia.
2. El software genera un sonido de error al no seleccionar correctamente los puntos de la línea tanto de la gráfica semilogarítmica como de la gráfica logarítmica con fines de obtener su pendiente. En tal caso, se debe cerrar la pestaña desplegada y volver a hacer clic sobre el botón “pendiente”.

6.1.2. Prueba PBU

- **Actor:** Usuario.
- **Descripción:** El usuario importa una tabla de propiedades del gas para posteriormente analizar la función de pseudopresiones y finalmente elegir el método de solución que desee (pseudopresiones es sugerido) para graficar el histórico de presión de la prueba y obtener resultados de la permeabilidad del yacimiento, la presión a 1 hora de prueba y el factor de skin (además de los parámetros D y β involucrados en el cálculo de este último, los cuales hacen referencia al flujo no-Darcy del pozo).
- **Requisitos:** En el dispositivo que se haya ejecutado el software GWT (computador portátil o de escritorio), se requiere encontrar un documento de Excel en la carpeta “Documentos” llamado “Pseudopresión”, el cual debe contener dos hojas de cálculo: la primera, se nombra “Pseudopresión” (allí se deben encontrar los datos de P , Z y μ del gas, los cuales deben estar ubicados en ese mismo orden de izquierda a derecha, iniciando en la columna A de la hoja), y la segunda se nombra “PBU” (allí se deben encontrar los datos de delta de tiempo y presión de la prueba, los cuales deben estar ubicados en ese mismo orden de izquierda a derecha, iniciando en la columna A de la hoja). Es menester que los nombres del documento, las hojas y el orden de las columnas sea exacto y preciso, de tal forma que no haya errores en el proceso de importación de datos.

- **Flujo principal**

1. Importar la tabla de propiedades del gas.
2. Graficar la presión del gas en función de la pseudopresión.
3. Obtener una ecuación para el tipo de regresión más adecuado para la gráfica del paso 2 (cuadrática o cúbica), con sus respectivos coeficientes, coeficiente de determinación (R^2), media aritmética y desviación estándar.
4. Importar tabla de histórico de presión de la prueba (delta de tiempo Vs. Pws)
5. Digitar las propiedades del yacimiento y los fluidos (gas): caudal, temperatura, presión inicial, porosidad, compresibilidad total, espesor, radio del pozo, viscosidad inicial, tiempo de producción, gravedad específica del gas y factor volumétrico de formación.
6. Visualizar la guía (parámetros de las gráficas y ecuaciones) del método de solución deseado (presión de fondo, pseudopresión, presión cuadrática y presión normalizada) para el cálculo de permeabilidad y factor de skin del yacimiento.
7. Obtener las 3 gráficas (derivada, semilogarítmica y logarítmica) utilizadas en el análisis de pruebas de presión en función del método de solución escogido anteriormente.
8. Obtener la pendiente de la línea recta que se adecúa a los puntos del intervalo seleccionado de la gráfica semilogarítmica.
9. Corroborar el valor de la presión a 1 hora de prueba estimado con el calculado por el software.
10. Obtener la pendiente del intervalo de la ETR en la gráfica logarítmica.
11. Calcular la permeabilidad y el factor de skin del yacimiento (el cual está en función de los parámetros D y β , variables correspondientes al flujo no-Darcy).
12. Limpiar todo (gráficas y resultados) para realizar un nuevo análisis.

- **Flujo alterno**

1. Luego del paso 1 y antes de pasar al paso 4 del flujo principal, es posible importar nuevamente la tabla de propiedades del gas. En este caso, se debe volver a pasar por los pasos 2 y 3.
2. Posterior al paso 7 del flujo principal, el usuario puede visualizar la guía de un método de solución distinto al que se está utilizando en ese momento. Allí, es posible elegir si se quiere únicamente visualizar dicha guía o, en su defecto, iniciar un nuevo método de solución. En este último, se muestra la guía de dicho método deseado y se continua nuevamente desde el paso 7.
3. Al obtener los resultados (paso 11 del flujo principal), es posible ingresar nuevas propiedades de roca y fluido para realizar unos nuevos cálculos (considerando la misma tabla de histórico de presión y las gráficas ya obtenidas), sin embargo, esto solo será posible hasta tanto exista un valor lógico (mayor a cero) asignado a cada propiedad.

4. Nuevamente luego del paso 7, en cualquier momento el usuario puede importar una nueva tabla de histórico de presión sin necesidad de haber terminado el análisis en su totalidad, sin embargo, con esto se retrocede al paso 6.
- **Excepciones**
 1. No se podrán obtener las gráficas del análisis hasta tanto el usuario no haya ingresado el tiempo de producción de la prueba. En tal caso, se mostrará un mensaje de advertencia para esto.
 2. Si el usuario no ha ingresado un valor lógico (mayor a cero) para todas las propiedades de roca y fluido, no es posible obtener el valor de la pendiente de la línea que se considera en la gráfica logarítmica. En tal caso, se muestra un mensaje de advertencia.
 3. El software genera un sonido de error al no seleccionar correctamente los puntos de la línea tanto de la gráfica semilogarítmica como de la gráfica logarítmica con fines de obtener su pendiente. En tal caso, se debe cerrar la pestaña desplegada y volver a hacer clic sobre el botón “pendiente”.

6.1.3. Pruebas de capacidad de entrega

- **Actor:** Usuario
- **Descripción:** El usuario puede hacer análisis de 3 tipos de prueba: flujo después de flujo, prueba isocrona y prueba isocrona modificada. Para cada una de estas, puede importar una tabla en función de caudal y presión, principalmente, y para el caso de las dos últimas (isocrona e isocrona modificada) se incluye la duración de los períodos de flujo y cierre. Con esto, se busca obtener el caudal del pozo para cualquier presión deseada por el usuario, en donde se debe cumplir que dicho valor debe ser superior a 14.7 psia e inferior o igual a la presión promedio de la prueba. En caso de ingresar una presión de 14.7 psia, se obtiene el AOF (*Absolute Open Flow*) del pozo.
- **Requisitos:** En el dispositivo que se haya ejecutado el software GWT (computador portátil o de escritorio), se requiere encontrar un documento de Excel en la carpeta “Documentos” llamado “DT”, el cual debe contener tres hojas de cálculo: la primera, se nombra “FDF” (allí se deben encontrar los datos de la enumeración de cada prueba, presión de fondo y caudal, los cuales deben estar ubicados en ese mismo orden de izquierda a derecha, iniciando en la columna A de la hoja), la segunda se nombra “PI” (allí se deben encontrar los datos de períodos de flujo y cierre, duración de cada período, presión de fondo o de cierre y caudal, los cuales deben estar ubicados en ese mismo orden de izquierda a derecha, iniciando en la columna A de la hoja), y la tercera se nombra “PIM” (cuyos datos y orden de columnas es igual al de la hoja dos). Es menester que los nombres del documento, las hojas y el orden

de las columnas sea exacto y preciso, de tal forma que no haya errores en el proceso de importación de datos.

- **Flujo principal**

1. Visualizar la guía de la prueba de flujo después de flujo.
2. Importar la tabla correspondiente.
3. Ingresar el valor de la presión promedio de la prueba (P_{avg}).
4. Obtener la gráfica de caudal (eje X) y la diferencia de la P_{avg} al cuadrado y la presión de cada prueba al cuadrado partido por el caudal de cada prueba, utilizando el método teórico.
5. Obtener el valor de la pendiente (b) y el intercepto (a) de la línea de tendencia que se ajusta a los puntos de las pruebas que se tengan.
6. Visualizar la línea de tendencia de los puntos de prueba.
7. Digitar el valor de presión para el cual se desea obtener el caudal del pozo.
8. Visualizar la guía de la prueba isocrona.
9. Importar la tabla correspondiente.
10. Obtener la gráfica de caudal (eje X) y la diferencia de la P_{avg} al cuadrado y la presión de cada prueba al cuadrado partido por el caudal de cada prueba, utilizando el método teórico.
11. Obtener el valor de la pendiente (b) de la línea de tendencia de los períodos de flujo y el intercepto (a) de la línea del punto estabilizado (correspondiente al flujo extendido).
12. Visualizar las dos líneas obtenidas: la de los períodos de flujo de la prueba y la del flujo extendido de la prueba (punto estabilizado).
13. Digitar el valor de presión para el cual se desea obtener el caudal del pozo.
14. Visualizar la guía de la prueba isocrona modificada.
15. Importar la tabla correspondiente.
16. Obtener la gráfica de caudal (eje X) y la diferencia de la P_{avg} al cuadrado y la presión de cada prueba al cuadrado partido por el caudal de cada prueba, utilizando el método teórico.
17. Obtener el valor de la pendiente (b) de la línea de tendencia de los períodos de flujo y el intercepto (a) de la línea del punto estabilizado (correspondiente al flujo extendido).
18. Visualizar las dos líneas obtenidas: la de los períodos de flujo de la prueba y la del flujo extendido de la prueba (punto estabilizado).
19. Digitar el valor de presión para el cual se desea obtener el caudal del pozo.

- **Flujo alterno**

1. El flujo principal está diseñado para que el usuario analice primero la prueba de flujo después de flujo, luego la prueba isocrona y finalmente la prueba isocrona modificada, sin embargo, es posible iniciar el análisis con cualquiera de las tres pruebas.
2. El usuario puede importar nuevamente una tabla de la prueba (flujo después de flujo, isocrona o isocrona modificada) luego de haber

iniciado el análisis. En tal caso, se borrará todo el progreso obtenido hasta el momento de la prueba que se esté analizando.

- **Excepciones**

1. No será posible obtener la gráfica del método teórico si el usuario no ha ingresado la presión promedio (P_{avg}). En tal caso, se mostrará un mensaje de advertencia.
2. El usuario tiene a su disposición los botones de “graficar”, “pendiente”, “ver línea” y “calcular”, los cuales son utilizados siguiendo el flujo principal ya descrito, sin embargo, si el usuario omite alguno de estos en el proceso normal, se muestran mensajes de advertencia (no es posible visualizar la(s) línea(s) del método teórico sin haber obtenido la pendiente, ni tampoco es posible obtener la pendiente de la gráfica sin haber presionado el botón de “graficar”).
3. A la hora de obtener el caudal del pozo, si se ingresa un valor de presión negativo, inferior a 14.7 o superior a la P_{avg} , se mostrará un mensaje de advertencia para modificar dicho valor ingresado.
4. GWT identifica cuando una prueba es isocrona (los períodos de flujo deben tener la misma duración) y cuando una prueba es isocrona modificada (los períodos de flujo y de cierre deben tener la misma duración entre sí, y los períodos de flujo no pueden durar menos que los períodos de cierre). Teniendo esto en cuenta,