

**HERRAMIENTA SOFTWARE PARA APOYAR LA ENSEÑANZA Y EL
APRENDIZAJE DE LA ASIGNATURA DE MÉTODOS NUMÉRICOS EN
INGENIERÍA APLICADA A PROCESOS DE HIDROCARBUROS**

**ALVARO ENRIQUE PUENTE BARROS
CHRISTIAN CAMILO SAENZ LIZARAZO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BUCARAMANGA**

2015

**HERRAMIENTA SOFTWARE PARA APOYAR LA ENSEÑANZA Y EL
APRENDIZAJE DE LA ASIGNATURA DE MÉTODOS NUMÉRICOS EN
INGENIERÍA APLICADA A PROCESOS DE HIDROCARBUROS**

**ALVARO ENRIQUE PUENTE BARROS
CHRISTIAN CAMILO SÁENZ LIZARAZO**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:
INGENIERO DE PETRÓLEOS**

Director:

**Ing. JESUS RAMIREZ MONTAÑEZ
Ingeniero Químico**

Codirector:

**Ing. NAYIBE RUÍZ CHAGUI
Ingeniera de sistemas**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BUCARAMANGA**

2015

DEDICATORIA

A Dios que me ha acompañado y guiado en todo el camino.

A mis padres Galo José Puente Villarreal y Lucy Mercedes Barros Cantillo que siempre me apoyaron para sacar este título de Ingeniero.

A mis hermanos Galo José Puente Barros y Julieth Milena Puente Barros y a mi abuela María de las Mercedes Cantillo Muñoz.

A toda mi familia que envió energía positiva a través de sus oraciones.

A mi novia Edna Fernanda Berrio Torres que estuvo presente apoyándome y ayudándome cuando lo necesite.

A mi compañero y amigo Christian Sáenz un logro conseguido de forma conjunta que nos dejó años de anécdotas y enseñanzas.

A Juan Quiroga un amigo incondicional que me deja la Universidad.

Al Ingeniero Jesús Ramírez y esposa por toda su colaboración y comprensión en este largo trayecto.

Alvaro Enrique Puente Barros

DEDICATORIA

A Dios que me ha acompañado y guiado en todo el camino.

A mi madre Por todo su apoyo y confianza depositada en mí.

A toda mi familia que envió energía positiva a través de sus oraciones.

A mi flaca que estuvo presente apoyándome y ayudándome cuando lo necesite.

**A mi compañero y amigo Alvaro Puento un logro conseguido de forma conjunta que nos dejó
años de anécdotas y enseñanzas.**

A Juan Quiroga un amigo incondicional que me deja la Universidad.

A María por siempre tratar de relajarme y alzarme el ánimo.

**Al Ingeniero Jesús Ramírez y esposa por toda su colaboración y comprensión en este largo
trayecto.**

CHRISTIAN CAMILO SAENZ LIZARAZO

TABLA DE CONTENIDO

| | pág. |
|--|------|
| INTRODUCCIÓN | 17 |
| 1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO | 18 |
| 2. MARCO TEÓRICO | 20 |
| 2.1 LAS TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN (TIC) | 20 |
| 2.1.1 Características de las TIC | 20 |
| 2.1.2 Ventajas y desventajas de las TIC | 21 |
| 2.2 LA EDUCACIÓN VIRTUAL | 22 |
| 2.3 ARQUITECTURA DE LA INFORMACIÓN | 23 |
| 2.4 LA MULTIMEDIA | 24 |
| 2.4.1 Herramientas de desarrollo multimedia | 25 |
| 3. MÉTODOS NUMÉRICOS | 26 |
| 3.1 RAICES DE ECUACIONES. | 26 |
| 3.2 Métodos directos para la solución de sistemas de ecuaciones lineales | 28 |
| 3.3 Métodos iterativos para la solución de sistemas de ecuaciones lineales | 28 |
| 3.4 Tratamiento de información | 29 |
| 3.5 Diferenciación e integración numéricas. | 30 |
| 3.6 Tratamiento numérico de ecuaciones ordinarias. | 31 |
| 3.7 Sistemas de ecuaciones diferenciales ordinarias | 32 |
| 3.8 Ecuaciones diferenciales parciales. | 33 |
| 4. GENERALIDADES INGENIERIA DE PETRÓLEOS | 35 |
| 4.1 FLUJO DE FLUIDOS EN MEDIOS POROSOS | 35 |
| 4.1.1 Clasificación flujo de fluidos | 35 |
| 4.1.2 Regímenes de flujo | 36 |
| 4.1.3 Fases de flujo en el yacimiento | 37 |
| 4.2 ECUACIONES DE FLUJO | 37 |
| 4.2.1 Ley de Darcy | 38 |
| 4.2.2 Ecuación de difusividad | 38 |

| | |
|---|-----|
| 4.3 ECUACIONES DE ESTADO | 39 |
| 4.3.1 Gas ideal | 40 |
| 4.4 Mezcla de gases ideales. | 40 |
| 4.5 Gases Reales. | 41 |
| 4.6 Correlaciones presión, volumen, temperatura. | 44 |
| 4.6.1 Estudio de los fluidos del yacimiento | 46 |
| 4.7 Flujo calorífico en estado inestable. | 49 |
| 4.8 PÉRDIDAS DE CALOR DURANTE UNA INYECCION DE VAPOR | 53 |
| 4.8.1 Mecanismos de transferencia de calor | 53 |
| 4.8.2 Pérdidas de calor en línea de superficie | 54 |
| 4.9 FACILIDADES DE SUPERFICIE (SEPARADORES HORIZONTALES) | 55 |
| 4.9.1 COEFICIENTE DE ARRASTRE | 57 |
| 4.9.2 DISEÑO DE UN SEPARADOR BIFÁSICO HORIZONTAL | 58 |
| 5. DESCRIPCIÓN DE LA HERRAMIENTA SOFTWARE | 61 |
| 5.1 GENERALIDADES DEL PROGRAMA | 61 |
| 5.2 DESCRIPCIÓN Y REQUERIMIENTOS PARA LA OPERACIÓN Y EL USO DE LA HERRAMIENTA | 61 |
| 5.3 PROCEDIMIENTO DE INICIO | 62 |
| 5.4 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA | 63 |
| 5.4.1 Interfaz de introducción al inicio de la herramienta | 63 |
| 5.4.2 Contenido | 64 |
| 5.4.3 Botones complementarios | 74 |
| 5.5 EJEMPLO NAVEGACIÓN EN EL SISTEMA | 75 |
| 6. CONCLUSIONES | 100 |
| 7. RECOMENDACIONES | 101 |
| BIBLIOGRAFIA | 102 |
| ANEXOS | 104 |

LISTA DE FIGURAS

| | pág. |
|--|------|
| Figura 1. Ilustración gráfica del método de un paso. | 32 |
| Figura 2. Balance de calor, en una barra aislada, en todos sus puntos excepto en sus extremos | 33 |
| Figura 3. Ilustraciones del cambio de volumen y densidad en función de la presión para los tres tipos de fluidos | 36 |
| Figura 4. Comparación entre la declinación de la presión en función de tiempo para regímenes de flujo | 37 |
| Figura 5. Isotherma que relaciona la presión y el volumen | 43 |
| Figura 6. Carta Generalizada para Estimar el Factor Z | 44 |
| Figura 7. Procedimiento de vaporización flash en el laboratorio. | 47 |
| Figura 8. Determinación de la presión de burbuja a partir de una vaporización flash | 48 |
| Figura 9. Diagrama Separador Flash | 49 |
| Figura 10. Dimensiones varilla | 50 |
| Figura 11. Representación perdida de energía en un sistema de inyección | 54 |
| Figura 12. Representación línea de superficie corte lateral | 55 |
| Figura 13. Diagrama de equilibrio de fases para un sistema típico de producción | 56 |
| Figura 14. Proceso de separación | 57 |
| Figura 15. Esquema reducción de presión en un proceso de separación | 58 |
| Figura 16. Diagrama separador horizontal bifásico | 60 |
| Figura 17. Ejecutable inicio | 63 |
| Figura 18. Interfaz de Introducción al inicio de la herramienta | 64 |
| Figura 19. Interfaz de inicio herramienta software | 65 |
| Figura 20. Interfaz Submenú | 68 |
| Figura 21. Interfaz Métodos | 68 |
| Figura 22. Interfaz Inserción en Métodos | 69 |

| | |
|--|----|
| Figura 23. Ejemplo ejercicio resuelto | 69 |
| Figura 24. Interfaz | 70 |
| Figura 25. Ejemplo Aplicaciones | 71 |
| Figura 26. Aplicación Métodos Abiertos- Raíces de Ecuaciones | 72 |
| Figura 27. Interfaz aplicación | 72 |
| Figura 28. Diagrama de flujo y Fundamentación Teórica presente en las aplicaciones | 73 |
| Figura 29. Interfaz de Resultados Aplicación Métodos Abiertos – Raíces de Ecuaciones | 74 |
| Figura 30. Interfaz de Introducción al inicio | 76 |
| Figura 31. Interfaz de Inicio Herramienta Software | 76 |
| Figura 32. Interfaz Inicio Énfasis “Raices de ecuaciones” | 77 |
| Figura 33. Interfaz Raíces de Ecuaciones | 78 |
| Figura 34. Interfaz Raíces de Ecuaciones Énfasis en Métodos Abiertos | 79 |
| Figura 35. Interfaz Inserción en Métodos Abiertos | 80 |
| Figura 36. Interfaz Métodos Abiertos Inserción en Métodos | 81 |
| Figura 37. Interfaz Raíces de Ecuaciones Inserción en Newton-Raphson | 81 |
| Figura 38. Ejercicio resuelto | 82 |
| Figura 39. Ejercicio Resuelto | 83 |
| Figura 40. Interfaz | 84 |
| Figura 41. Interfaz Inicial Aplicación | 84 |
| Figura 42. Diagramas de Flujo | 87 |
| Figura 43. Interfaz Inicial Aplicación | 88 |
| Figura 44. Propiedades Requeridas | 89 |
| Figura 45. Interfaz cálculo de propiedades | 90 |
| Figura 46. Interfaz datos | 91 |
| Figura 47. Interfaz aplicación | 92 |
| Figura 48. Interfaz resultado | 93 |
| Figura 49. Segunda interfaz | 94 |
| Figura 50. Interfaz cálculo de dimensiones separador | 94 |

| | |
|--|----|
| Figura 51. Interfaz aplicación separadores | 95 |
| Figura 52. Dimensiones Óptimas | 95 |
| Figura 53. Interfaz final aplicación | 96 |
| Figura 54. Interfaz de Resultados Aplicación | 97 |
| Figura 55. Interfaz diagrama de flujo y teoría | 98 |
| Figura 56. Interfaz desplegada | 99 |

LISTA DE ANEXOS

| | pág. |
|----------------------------|------|
| Anexo A. Manual de usuario | 104 |

RESUMEN

TITULO: HERRAMIENTA SOFTWARE PARA APOYAR LA ENSEÑANZA Y EL APRENDIZAJE DE LA ASIGNATURA DE METODOS NUMERICOS EN INGENIERÍA APLICADA A PROCESOS DE HIDROCARBUROS.*

AUTORES: ALVARO ENRIQUE PUENTE BARROS
CHRISTIAN CAMILO SAENZ LIZARAZO.**

PALABRAS CLAVE: métodos numéricos, TIC¹, software, procesos de hidrocarburos

DESCRIPCIÓN

Este proyecto fue realizado con el fin de apoyar la enseñanza de la asignatura de “métodos numéricos en ingeniería”, mediante herramientas computacionales como un soporte del aprendizaje tradicional. A través de la utilización de la herramienta se pretende que el estudiante afiance los conocimientos recibidos del docente y que cuente con un apoyo a la hora de estudiar la asignatura, así como también brindarles un enfoque de la materia aplicada a la ingeniería de petróleos. Esta herramienta fue pensada y proyectada para que el estudiante navegue de forma didáctica y agradable a través de los diferentes contenidos de la misma, logrando así adquirir competencias y destrezas propias del manejo de los métodos numéricos y de los temas propios de la ingeniería de petróleos.

Con esta herramienta los estudiantes pueden desarrollar competencias en el área de los métodos numéricos y la aplicación de estos en temas propios de la ingeniería de petróleos, así como en el manejo de software lo cual es un tema importante y de gran trascendencia en el avanzar tecnológico de las diferentes herramientas empleadas a nivel educativo y profesional. Este documento se estructura en cuatro secciones principales, de la siguiente manera: primero todo lo referente a las tecnologías de información y comunicación la segunda sección se basa en información perteneciente a los métodos numéricos, la tercera sección es la recopilación bibliográfica de los temas propios de la ingeniería de petróleos utilizados en la realización de las aplicaciones y por último la cuarta sección contiene la descripción de la herramienta diseñada.

¹ Tecnologías de información y Comunicación.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Director: Ing. Jesús Ramírez Montañez. Codirector: Nayibe Ruiz Chagüi

ABSTRACT

TITLE: SOFTWARE TOOL TO SUPPORT THE TEACHING AND LEARNING OF THE SUBJECT OF NUMERICAL METHODS IN ENGINEERING APPLIED TO HYDROCARBONS' PROCESSES.*

AUTHORS: ALVARO ENRIQUE PUENTE BARROS
CHRISTIAN CAMILO SAENZ LIZARAZO.**

KEY WORDS: numerical methods, ITC,² software, processes of hydrocarbons

DESCRIPTION

This project was conducted in order to support the teaching of the subject of "numerical methods in engineering" using computational tools as a support of traditional learning. Using the tool is intended to strengthen student's knowledge received by the teacher and that has a support when studying the subject, as well as provide an approach to subject applied to petroleum engineering. This tool was conceived and designed for the student to navigate in a didactic and friendly way through the different contents of itself, thus achieving acquiring skills and own skills of the handling of numerical methods and themes of the petroleum engineering.

With this tool, students can develop skills in the numerical methods area and in applying these themes of the petroleum engineering as well as the handling of the software which is an important issue and of great importance in technological progress of the different tools used in educational and professional level. For the development of this document four main sections composed as the following were handled: first everything related to information technology and communication, the second section is based on all pertaining information to numerical methods, the third section is the bibliographic compilation of the themes of the petroleum engineering used in the execution of applications and finally the fourth section contains the description of the tool designed.

* Project of grade

** Physicochemical Engineering Faculty. School of Petroleum Engineering. Director. Ing. Jesús Ramírez Montañez. Codirector: Nayibe Ruiz Chagüi

² Information Technology and Communication

INTRODUCCIÓN

Este proyecto es desarrollado con el fin de apoyar el aprendizaje de la asignatura de “métodos numéricos en ingeniería” por medio de técnicas computacionales a través de la creación de una herramienta software. Su énfasis académico busca afianzar el conocimiento de la asignatura de métodos numéricos en ingeniería, es un material de apoyo de estudio para el estudiante y para el proceso de enseñanza del docente.

El presente proyecto consta de los siguientes capítulos, el primero hace una breve descripción del estudio, el problema, los objetivos y la justificación, el segundo capítulo presenta el marco conceptual, en donde se describe lo referente a las tecnologías de información y comunicación (TIC), las bases teóricas de métodos numéricos, que es el tema central de la herramienta enseñanza y aprendizaje de la asignatura en pregrado. El tercer capítulo contiene la revisión bibliográfica de los temas propios de la ingeniería de petróleos, que fueron utilizados en el desarrollo de las aplicaciones de los métodos numéricos; el cuarto capítulo describe la herramienta computacional diseñada y finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones.

1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

La creación de una herramienta software para apoyar la enseñanza y el aprendizaje de la asignatura de métodos numéricos en ingeniería aplicada a procesos de hidrocarburos, surge a raíz las carencias observadas con anterioridad en la asignatura de métodos numéricos, la cual pertenece al plan de estudios de ingeniería de petróleos. En dicha asignatura, el estudiante no cuenta con material de estudio apropiado que sea aplicado a la ingeniería de petróleos.

De no resolverse la situación anterior, el estudiante continuará teniendo dificultades al momento de resolver y abordar problemas de la vida real; obstaculizando el desempeño de manera adecuada en labores propias de su quehacer profesional.

Analizado el problema enunciado, surge la necesidad de plantear la construcción de un aplicativo software que proporcione al estudiante una relación directa entre el aprendizaje de los temas propios de la asignatura y la aplicación en la ingeniería de petróleos. La implementación de este software no solo tendrá beneficios para el estudiante, sino que a su vez le suministrará al docente una herramienta de enseñanza que le permitirá integrar la teoría con la praxis.

Con el propósito de crear esta herramienta software se plantearon los siguientes objetivos:

Objetivo General

Desarrollar una herramienta software que permita apoyar los procesos de enseñanza y aprendizaje de la asignatura de métodos numéricos en ingeniería aplicados a procesos de hidrocarburos.

Objetivos específicos

- Crear un material educativo computarizado (MEC) de fácil usabilidad, mediante la metodología de desarrollo de software educativo para apoyar la enseñanza y aprendizaje de métodos numéricos en ingeniería aplicados a procesos de hidrocarburos.
- Diseñar módulos de las temáticas de métodos numéricos para los procesos de hidrocarburos (Ingeniería de yacimientos, Propiedades de los fluidos).
- Implementar los módulos anteriores en la herramienta software.
- Elaborar el manual de usuario de la herramienta software.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 LAS TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN (TIC)

Según Guarín,³ las tecnologías de la información y la comunicación (TIC), hacen referencia al conjunto de tecnologías mediante las cuales se adquiere, produce, almacena, comunica, registra y se presenta la información en forma de individual y en datos, utilizando medios acústicos, ópticos o electromagnéticos.

La organización OCDE,⁴ las TIC son dispositivos que capturan, transmiten y despliegan datos e información electrónica, que apoyan el crecimiento de los sectores productivos. Para Haag y otros,⁵ las tecnologías de la información están compuestas de cualquier herramienta computacional que trabajan con datos e información.

Por su parte, Benjamin & Blunt⁶ definen a las TIC como tecnologías y comunicación por computadora, mediante la cual se transmite y almacena información para las personas y organizaciones. Las TIC, se aplican de diferente manera, según su finalidad; en la educación, lo importante no es la tecnología en sí, sino la aplicación que se le da para obtener mejores resultados en los procesos de enseñanza y aprendizaje.

2.1.1 Características de las TIC. Las características más importantes de las TIC son las siguientes:

³ GUARÍN, Angélica María. Tic's Tecnologías de Información y Comunicación. Madrid: Editorial Fundesco, 1986, p. 23.

⁴ OCDE. Science, Technology and Industry: Scoreboard Edition, 2003, spanish translation.

⁵ HAAG, S. Management information system for the information age. New York: Mc Graw-Hill.

⁶ BENJAMÍN & BLUNT. Tecnología de información y comunicación. México: Prentice Hall, 2006, p. 123.

- Son inmateriales, las TIC convierten información impresa en un medio físico en inmaterial. La digitalización permite almacenar grandes volúmenes de información y datos en dispositivos pequeños (memorias USB). Esta característica, es la que ha permitido hablar de “realidad virtual”.
- Instanteidad: la información puede transmitirse instantáneamente a lugares muy distantes, a través de las denominadas autopistas de la información, creándose el denominado ciberespacio o espacio virtual.
- Aplicaciones multimedia: los programas multimedia han sido desarrolladas como una interfaz amigable y sencilla de comunicación que facilita el acceso a todos los usuarios. De esto se deriva lo que se conoce como interactividad. Esto es lo que permite la creación de comunidades virtuales, en donde los usuarios asumen un rol de activo.

2.1.2 Ventajas y desventajas de las TIC. Las TIC como innovación tecnológica y científica, tiene una relación directa con cambios de tipo procedimental, cultural, estratégico y productivo. Esto exige que las personas y las organizaciones tengan que asimilar y adaptarse a dichos cambios.⁷

Desde la perspectiva del aprendizaje, las TIC favorecen la actividad intelectual, la creatividad y el aprendizaje cooperativo. Así mismo mejora las competencias de expresión y las habilidades de búsqueda y selección de información.⁸ A nivel de los estudiantes, las TIC permiten aprender en menos tiempo; el acceso a variados recursos educativos y entornos de aprendizaje; personaliza los procesos a través de los cuales se aprende; igualmente facilita la flexibilidad en los estudios para los profesores, las TIC permiten ser fuente de recursos educativos para la docencia y la orientación; facilita la evaluación y control; permite incrementar el interés del educando por la interactividad que ofrecen las TIC.

⁷ GALLEGO. Tecnologías de la información y la comunicación. Madrid: UNED, 2006, p. 32.

⁸ MAJO, J. Nuevas tecnologías y educación [en línea]. 2008. Disponible en internet: <URL:www.uoc.edu/web/esp/articles

Como desventajas que pueden tener las TIC, para los estudiantes, se reportan: posible adición y aislamiento; consenso visual y otros problemas físicos.

Para los docentes, las TIC pueden incrementar el interés; la supeditación a los sistemas informáticos y el desarrollo de estrategias de mínimo esfuerzo.

2.2 LA EDUCACIÓN VIRTUAL

La educación virtual es una forma de educación, mediada por las tecnologías de información y la comunicación, la cual se acopla al tiempo, espacio y necesidades del estudiante. Este tipo de educación facilita el manejo de la información, el desarrollo de contenidos, además de incentivar un aprendizaje más significativo.⁹

Dentro de sus características, se encuentra que es un método de enseñanza innovador, que provee nuevos escenarios, para el aprender; en donde se pueden presentar los contenidos de distintas formas, como datos, textos, gráficos, sonido, animaciones y video.

La educación virtual, promueve la autonomía, en la medida de que el estudiante es quien decide cómo maneja su tiempo de estudio, qué recursos utiliza y qué tipo de información necesita.

A nivel de las instituciones escolares, las TIC son un apoyo pedagógico a las distintas asignaturas; ayudan a disminuir los costos de desplazamiento. Ya que las plataformas e-learning permiten el trabajo, sin que haya restricciones de tiempo o de locación física.

⁹ ORTEGA, E. Educación y nuevas tecnologías. Madrid: Tecnos, 2002, p. 39

La educación virtual plantea roles diferentes para el docente, el estudiante y para la tecnología. El docente crea y orienta situaciones de aprendizaje, por esto debe haber una buena planeación académica, y desarrollar estrategias que faciliten una fluida interacción entre las partes involucradas, debido a que en este caso no existe una interacción física, tal como se da en la educación presencial.

El estudiante por su parte debe asumir un rol activo, a través del desarrollo de conocimientos y habilidades para interactuar con la información; planificar el tiempo de estudio y tener autonomía para tomar sus propias decisiones. El rol de la tecnología, no es menos importante, ya que es el medio o recurso de interacción entre docente y estudiante, a este le facilita el acceso a la información, a ayudas educativas, desde ubicaciones remotas.

A los docentes, la tecnología ayuda a la planeación, operación y evaluación del proceso de enseñanza; los contenidos, las actividades y las evaluaciones son presentados en la red y es esto lo que hace que exista una interacción fluida entre docentes y educandos.

2.3 ARQUITECTURA DE LA INFORMACIÓN

Según Aguilar,¹⁰ es la disciplina que se encarga del estudio, análisis, organización, disposición y estructuración de la información en espacios informáticos, igualmente se ocupa de la presentación de los datos.

Básicamente comprende: un diseño estructural en entornos de información compartida; una comunidad de usuarios que aplica principios de diseño y arquitectura en un entorno digital; la organización y rotulación de sitios de internet, intranet comunidades en línea y software.

¹⁰ AGUILAR, Joel. Materiales interactivos asistidos por la computadora. Bogotá: Universidad de los Andes, 1997.

La arquitectura de la información se ocupa del diseño de sitios web, material multimedia, interfaces de dispositivos móviles, CD interactivos y videoclips digitales entre otros. Esencialmente se busca facilitar al máximo los procesos de asimilación y comprensión de la información, y de las tareas que ejecutan los usuarios en un entorno virtual.

Para que la asimilación de contenidos por parte del usuario, sea eficiente y efectiva es necesario definir: el objeto y fines del sistema o sitio de información; el público objetivo; el diseño de la interacción, navegación, esquema de organización y temario de los contenidos; la planificación, gestión y desarrollo de contenidos; la facilidad de búsqueda y diseño de la interfaz; la usabilidad y accesibilidad.

2.4 LA MULTIMEDIA

Según Berenguer,¹¹ un sistema multimedia está constituido por un conjunto de informaciones representadas en texto, sonido, imágenes estáticas o en movimiento, codificadas digitalmente, registradas en un soporte cerrado.

La multimedia consiste entonces, en el uso de diferentes medios para transmitir, administrar o presentar información referida al ámbito de la informática, implica el uso de software y hardware para almacenar y presentar contenidos generalmente combinando texto, fotografías, video y audio.

Algunos tipos de multimedia, son las siguientes:

- Texto: sin formatos, lineal o hipertexto.
- Gráficos: presentan esquemas, planos, dibujos.

¹¹ BERENGUER, Xabier. Escribir programas interactivos. En: Revista Formats. Barcelona, 2007. Disponible en internet: <URL:www.iva.upf.es/formats>

- Imágenes: documentos generados a partir de copias del entorno (escaneado y fotografía digital).
- Animación: presentación de gráficos secuenciales por segundo, que generan sensación de movimiento.
- Sonido: sensación acústica producida por el habla, la música y otros sonidos.

2.4.1 Herramientas de desarrollo multimedia. Las herramientas de programación están diseñadas para administrar los elementos de multimedia individualmente, además de proporcionar un método para que los usuarios interactúen con el sistema.¹² La mayoría de herramientas ofrecen la facilidad de crear y editar texto e imágenes, controlar la reproducción de video, sonido e imagen. El conjunto de lo que se produce y la forma de presentarlo al usuario es la interfaz. El equipo y los programas que ofrece es la plataforma o ambiente multimedia. En el caso de este estudio se utilizó Microsoft Visual Studio 2013, para la programación del contenido de la misma.

¹² GARCÍA, Lorenzo. Multimedia educativa. México: Mc Graw-Hill, 2005, p. 31.

3. MÉTODOS NUMÉRICOS

Para el desarrollo de este proyecto los autores se basaron en la cátedra de métodos numéricos para ingeniería del pensum de Ingeniería de petróleos con el apoyo de uno de los docentes de la asignatura.

Los temas abordados para el desarrollo de este se detallan a continuación.

3.1 RAICES DE ECUACIONES.

El objeto del cálculo de las raíces de una ecuación es determinar los valores de x para los que se cumple:

$$f(x) = 0$$

Su importancia radica en que si se pueden determinar las raíces de una ecuación, se pueden llevar a cabo una serie de procedimientos que conllevará a determinar máximos y mínimos, valores propios de matrices, resolver sistemas de ecuaciones lineales y diferenciales, etc.

Existen diferentes alternativas en el contexto de los métodos numéricos que permiten llevar a cabo la estimación de estas raíces. De una forma general se pueden clasificar como métodos abiertos y métodos cerrados.

Métodos abiertos.

Los métodos abiertos se basan en ecuaciones que requieren de un solo valor de inicio de x , que no necesariamente encierran la raíz. En algunos casos estos divergen y se alejan de la raíz verdadera, pero cuando estos métodos convergen, lo hacen mucho más rápido que los métodos cerrados.

Son métodos abiertos:

- Interacción simple de punto fijo.

- Método de Newton-Raphson.
- Método de la secante.

Los autores Rubén Villafuerte Díaz, Rubén A. Villafuerte Salcedo, Edgar Mejía Sanchez y Jesús Medina Cervantes trabajaron con el método numérico de Newton-Raphson en su trabajo titulado “Métodos numéricos en el proceso enseñanza-aprendizaje de flujos de potencia” en donde concluyen que el uso de estos métodos en el flujo de potencia actúa como una iniciación a la aplicación de conceptos básicos al estudio de redes eléctricas.

Al igual que los anteriores los autores Diogenes Filho y Antonio A. de M. Filho trabajan con el método numérico de Newton-Raphson en su trabajo titulado “Cálculo do Volume Molar de um Gás de van der Waals em SCILAB: o Método Newton-Raphson na Resolução de um Problema Físico-Químico” del año 2014. En donde presentan las ecuaciones sobre el cálculo del volumen molar con aproximaciones lineales consecutivas del método Newton-Raphson concluyendo que el método no era práctico para este fin.

Métodos cerrados.

En los métodos cerrados, se saca provecho del cambio de signos en valores próximos a la raíz, para esto se requieren dos valores iniciales los cuales determinan un intervalo, en el que debe estar contenida la raíz.

Son métodos cerrados:

- El método gráfico.
- El método de bisección.
- El método de falsa posición.

Los autores Maritza Arganis Juárez, José Herrera Alanís y Ramón Domínguez

Mora, utilizan el método numérico de bisección y el método abierto de la secante en su trabajo titulado “Determinación de eventos de diseño de funciones bivariadas usando el método de bisección” del año 2013. Donde concluyen que el método de bisección resulta ser útil y práctico para la determinación de eventos de diseño siendo útil en una etapa intermedia de un análisis bivariado.

En casos de polinomios, los métodos que permiten determinar las raíces imaginarias son el método de Müller y el método de Bairstow.

3.2 Métodos directos para la solución de sistemas de ecuaciones lineales. Se aplican para determinar los valores x_1, x_2, \dots, x_n , que en forma simultánea, satisfacen un sistema de ecuaciones como el siguiente:

$$\begin{array}{r}
 f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \\
 f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \\
 \cdot \qquad \qquad \qquad \cdot \\
 \cdot \qquad \qquad \qquad \cdot \\
 f_n(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0
 \end{array}
 \qquad \text{(Ecuación 1)}$$

Algunas de las técnicas para determinar estos valores son: la eliminación de Gauss, la cual consta de eliminación hacia delante de incógnitas y sustitución hacia atrás. Igualmente se utilizan los métodos de solución convencionales, el cual incluye:

- El método gráfico.
- Determinantes y regla de Cramer.
- Eliminación de Gauss Jordan.

3.3 Métodos iterativos para la solución de sistemas de ecuaciones lineales. Los métodos iterativos son una alternativa a los métodos de eliminación descritos anteriormente, para aproximar la solución. Se utiliza básicamente el método de

Gauss-Seidel el cual emplea valores iniciales de x , y después itera, para obtener mejores aproximaciones a la solución.

Los autores Rubén Villafuerte Díaz, Rubén A. Villafuerte Salcedo, Edgar Mejía Sanchez y Jesús Medina Cervantes mencionados anteriormente trabajaron con el método Gauss-Seidel en su trabajo titulado “Métodos numéricos en el proceso enseñanza-aprendizaje de flujos de potencia” en donde concluyen que el uso de estos métodos en el flujo de potencia actúa como una iniciación a la aplicación de conceptos básicos al estudio de redes eléctricas.

3.4 Tratamiento de información

Ajuste de curvas. Existen dos métodos generales para el ajuste de curvas que se distinguen entre sí al considerar la cantidad de error asociado con los datos. Primero, si los datos exhiben un grado significativo de error o “ruido”, la estrategia será obtener una sola curva que represente la tendencia general de los datos. Como cualquier dato individual puede ser incorrecto, no se busca intersecar todos los puntos. En lugar de esto, se construye una curva que siga la tendencia de los puntos tomados como un grupo. Un procedimiento de este tipo se llama regresión por mínimos cuadrados.

Segundo, si se sabe que los datos son muy precisos, el procedimiento básico será colocar una curva o una serie de curvas que pasen por cada uno de los puntos en forma directa. Usualmente tales datos provienen de tablas. Como ejemplos se tienen los valores de la densidad del agua o la capacidad calorífica de los gases en función de la temperatura. La estimación de valores entre puntos discretos bien conocidos se llama interpolación. Estos métodos son nombrados a continuación:

Regresión

- Regresión lineal
- Ajuste de una línea recta por mínimos cuadrados

- Regresión polinomial.

Los autores E. Cerna, J. Valenzuela y J. Landeros, trabajan con el método de regresión lineal en el trabajo titulado “Análisis de Regresión Lineal Simple para Predicción” del año 2012. Donde analizan las nociones de regresión y correlación lineal simple, presentando ejemplos para clarificar el papel de estos modelos numéricos en predicción de los procesos o fenómenos.

Interpolación

- Interpolación lineal
- Interpolación cuadrática
- Interpolación de LaGrange.

3.5 Diferenciación e integración numéricas. El tipo de fórmulas Newton-cotes para integración numérica, se basan en la estrategia de reemplazar una función complicada por un polinomio de aproximación que es fácil de integrar:

$$I = \int_a^b f(x)dx \cong \int_a^b f_n(x)dx \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde $f_n(x)dx$ = un polinomio de la forma

$$f_n(x) = a_0 + a_1x + \dots + a_{n-1}x^{n-1} + a_nx^n \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde n es el grado del polinomio.

Existen formas cerradas y abiertas de las fórmulas de Newton-Cotes. Las formas cerradas son aquellas donde se conocen los datos al inicio y al final de los límites de integración. Estos métodos son:

- Regla del trapecio.
- Reglas de Simpson.
- Regla de Simpson 1/3.
- Regla de Simpson 3/8.

Las formas abiertas tienen límites de integración que se extienden más allá del intervalo de los datos. Por lo general, las formas abiertas de Newton-Cotes no se usan para integración definida. Sin embargo, se utilizan para evaluar integrales impropias y para obtener la solución de ecuaciones diferenciales ordinarias.

Los autores Ramón Eddie Peña Abreu y Ciro Sam Palanco trabajan con el método de Simpson y trapecio para la integración numérica en el trabajo titulado “Integración numérica en Microsoft excel para cálculo del tiempo medio de residencia en reactores continuos” del año 2006. Donde concluyen que el procedimiento llevado a cabo se hace de una manera fácil que permite mejorar la exactitud y la rapidez de los resultados siendo el método de Simpson el más exacto.

3.6 Tratamiento numérico de ecuaciones ordinarias. Para darle solución a las ecuaciones diferenciales con la forma:

$$\frac{dy}{dx} = f(x, y) \quad (\text{Ecuación 4})$$

Se utiliza un método numérico para resolver la ecuación diferencial, el método con fórmula general:

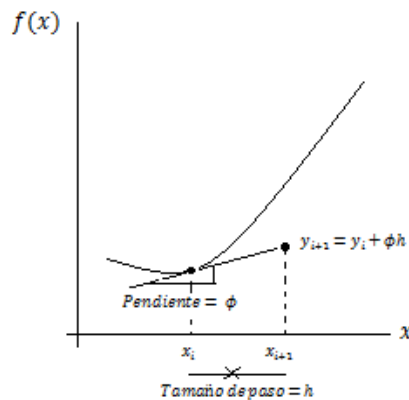
$$y_{i+1} = y_i + \phi h \quad (\text{Ecuación 5})$$

Siendo:

$$\text{Nuevovalor} = \text{valoranterior} + \text{pendiente} \times \text{tamañodepaso}$$

De acuerdo con esta ecuación, la pendiente estimada ϕ se usa para extrapolar desde un valor anterior y_i a un nuevo valor y_{i+1} en una distancia h (figura 1). Esta fórmula se aplica paso a paso para calcular un valor posterior y , por lo tanto, para trazar la trayectoria de la solución. Todos los métodos de un paso que se expresen de esta forma general, tan sólo van a diferir en la manera en la que se estima la pendiente.

Figura 1. Ilustración gráfica del método de un paso.



Fuente: Tomada y Modificada métodos numéricos para ingenieros

- Método de EULER
- Método de HEUN
- Método del Punto Medio
- Métodos de Runge-Kutta de cuarto orden.
- Métodos de Runge-Kutta de orden superior

3.7 Sistemas de ecuaciones diferenciales ordinarias. Muchos problemas prácticos en la ingeniería y en la ciencia requieren la solución de un sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias simultáneas más que de una sola ecuación. Tales sistemas en general se representan como:

$$\frac{dy_1}{dx} = f_1(x, y_1, y_2, \dots, y_n) \quad (\text{Ecuación 6})$$

$$\frac{dy_2}{dx} = f_2(x, y_1, y_2, \dots, y_n)$$

$$\frac{dy_n}{dx} = f_n(x, y_1, y_2, \dots, y_n)$$

La solución de este sistema requiere que se conozcan n condiciones iniciales en el valor inicial de x. Algunos de estos métodos son:

- Métodos de Runge-Kutta
- Problemas de valor de frontera

3.8 Ecuaciones diferenciales parciales. Cada una de las categorías de ecuaciones diferenciales parciales (elíptica, parabólica, hiperbólicas) corresponde a una clase específica de problemas en ingeniería.

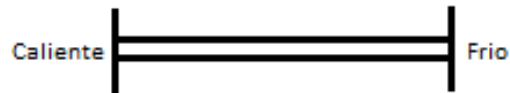
- **Ecuaciones elípticas**

- Ecuación de Laplace

La ecuación de Laplace se utiliza para modelar diversos problemas que tienen que ver con el potencial de una variable desconocida. Debido a su simplicidad y a su relevancia en la mayoría de las áreas de la ingeniería, para su solución se utiliza el método de Liebmann.

- **Ecuaciones Parabólicas.** Las ecuaciones parabólicas se emplean para dar solución a problemas que varían con el tiempo. Es la ecuación de conducción de calor, en la cual se hace un balance sobre el calor almacenada en una barra larga, delgada y aislada en un período de tiempo Δt , como se muestra en la figura 2. El balance considera entradas, menos salidas, dando como resultado el calor acumulado.

Figura 2. Balance de calor, en una barra aislada, en todos sus puntos excepto en sus extremos



Fuente: Tomada y Modificada métodos numéricos para ingenieros

Los métodos para realizar este procedimiento son:

- Métodos explícitos.
- Métodos implícitos.
- El método de Crank-Nicolson

Los autores Zulma Millán, Leonor de la Torre, Laura Oliva y María del Carmen Berenguer trabajan con los métodos explícitos, implícitos y Crank-Nicolson en su trabajo titulado "Simulación Numérica. Ecuación de Difusión" del año 2011. En donde concluyen que la aplicación de un método implícito permite obtener la solución sin caer en el fenómeno de inestabilidad. Además el método de Crank Nicolson permite una mejor aproximación. Sin embargo habrán casos en los que un error de aproximación tan estricto puede que no sea necesario y entonces bastará un método explícito con menos cálculos, pero cuidando la estabilidad del esquema.

4. GENERALIDADES INGENIERIA DE PETRÓLEOS

En este capítulo se mencionan los temas pertinentes en el desarrollo de las aplicaciones, de una manera muy breve para el conocimiento y entendimiento de las mismas.

4.1 FLUJO DE FLUIDOS EN MEDIOS POROSOS

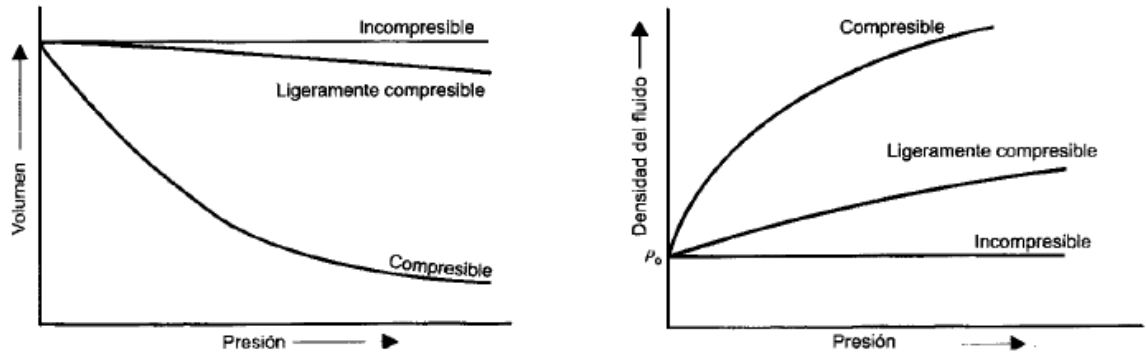
De acuerdo con Paris,¹³ el estudio de flujo de fluidos en el yacimiento es probablemente una de las áreas de ingeniería de yacimientos que requiere más matemática. Las formas matemáticas de estas relaciones están basadas en dos conceptos fundamentales: la ley de Darcy y el balance de los materiales, y sus variaciones dependen de las características del yacimiento, entre las cuales deben considerarse: la configuración geométrica del sistema, la compresibilidad de los fluidos, la invariabilidad de las tasas de flujo y de la presión con tiempo, o bien el flujo de una o más fases simultáneas.

4.1.1 Clasificación flujo de fluidos. Los sistemas de fluidos en el yacimiento se clasifican de acuerdo con el tipo de fluido, los regímenes de flujo, el ángulo de buzamiento, la geometría de flujo y el número de fases fluyentes. Para identificar los fluidos del yacimiento se toma en cuenta el coeficiente de compresibilidad isotérmica, en general, desde este punto de vista, los fluidos se clasifican en tres grupos:

- Fluidos incompresibles.
- Fluidos ligeramente compresibles.
- Fluidos compresibles.

¹³ PARIS, Magdalena. Fundamentos de Ingeniería de Yacimientos. Neiva: Universidad Surcolombiana, 2009.

Figura 3. Ilustraciones del cambio de volumen y densidad en función de la presión para los tres tipos de fluidos

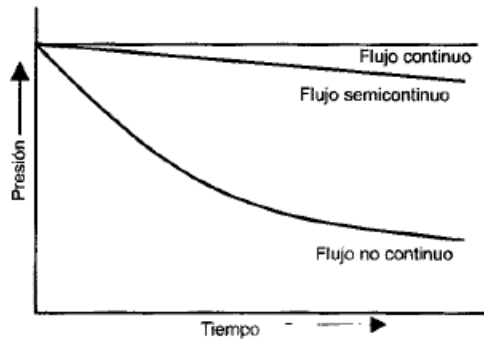


Fuente: PARIS DE FERRER, Magdalena. Fundamentos de Ingeniería de Yacimientos. 1ra Edición, Editorial Universidad Surcolombiana. p. 346.

4.1.2 Regímenes de flujo. Existen básicamente tres tipos de condiciones o regímenes de flujo en función de la presión y del tiempo que deben ser identificados para clasificar el flujo de los fluidos del yacimiento: de flujo continuo, de flujo semicontinuo y de flujo no continuo o transitorio.

- Flujo continuo.
- Flujo semicontinuo
- Flujo no continuo

Figura 4. Comparación entre la declinación de la presión en función de tiempo para regímenes de flujo



Fuente: PARIS DE FERRER, Magdalena. Fundamentos de Ingeniería de Yacimientos. Neiva: Editorial Universidad Surcolombiana. 2009 p. 347.

4.1.3 Fases de flujo en el yacimiento. Las expresiones matemáticas que se usan para predecir el comportamiento volumétrico y la presión en el yacimiento varían en forma y en complejidad, dependiendo del número de fases en movimiento. Existen en general, tres casos de sistemas de flujo:

- De una sola fase: petróleo, agua o gas.
- De dos fases: petróleo-agua, petróleo-gas, o gas-agua.
- De tres fases: petróleo, agua y gas.

4.2 ECUACIONES DE FLUJO

Las ecuaciones que se utilizan para describir el comportamiento de flujo continuo en un yacimiento pueden tomar muchas formas según el número de variables presentes; y, en general, se pueden desarrollar combinando la ecuación de la conservación de la masa con la del transporte y ecuaciones de estado. Como todas dependen de la ley de Darcy, es importante considerar primero esta relación de transporte de fluidos.

4.2.1 Ley de Darcy. Es la ley fundamental que rige el flujo de fluidos en el medio poroso, introducida por primera vez en 1856 por Henry Darcy. Esta expresión matemática establece que la velocidad de un fluido homogéneo en un medio poroso es proporcional al gradiente de presión e inversamente proporcional a la viscosidad del fluido. Para un sistema lineal horizontal la relación es:

$$v = \frac{q}{a} = -\frac{k}{\mu} \frac{dp}{dx} \quad (\text{Ecuación 7})$$

La ley de Darcy es solo aplicable si se cumplen las siguientes condiciones:

- 1) Flujo laminar: si el número de Reynolds es mayor que uno, no es aplicable.
- 2) Flujo continuo.
- 3) Fluidos incompresibles.
- 4) Formación homogénea: no existe reacción entre el fluido y la roca.

Para flujo turbulento, que se produce a altas velocidades, el gradiente de presión aumenta en mayor porcentaje que la tasa de flujo y por lo tanto la aplicación de la ley de Darcy puede dar lugar a errores graves, haciéndose necesario realizar una modificación en la ecuación de Darcy.

4.2.2 Ecuación de difusividad. Según Escobar,¹⁴ al inicio de la producción, la presión en el pozo cae abruptamente y los fluidos cerca al pozo se expanden y se mueven hacia el área de menor presión. Dicho movimiento es retardado por la fricción contra las paredes del pozo y la propia inercia y viscosidad del fluido. A medida que el fluido se mueve se crea un desbalance de presión que induce a los fluidos aledaños a moverse hacia el pozo. El proceso continúa hasta que la caída de presión creada por la puesta en producción se disipa a lo largo del yacimiento. El proceso físico que toma lugar en el yacimiento puede describirse mediante la

¹⁴ ESCOBAR, Freddy. Análisis moderno de presiones de pozo. México, 2003.

ecuación de difusividad. La ecuación de la difusividad es la combinación de las principales ecuaciones que describen el proceso físico del movimiento de fluido dentro del medio poroso de un yacimiento de hidrocarburos, combina la ecuación de continuidad (que es el principio de la conservación de la masa, y de aquí se obtiene el balance de materia), la ecuación de flujo (ecuación de Darcy) y la ecuación de estado (compresibilidad). La siguiente es la ecuación de difusividad:

$$\frac{d^2 P}{dx^2} = \frac{C\phi\mu}{0.00633k} \frac{dP}{dt} \quad (\text{Ecuación 8})$$

Sí.

$$\alpha = \frac{C\phi\mu}{0.00633k} \quad \frac{d^2 P}{dx^2} = \alpha \frac{dP}{dt}$$

4.3 ECUACIONES DE ESTADO

Según Navarro,¹⁵ un gas puede definirse como un fluido homogéneo de baja densidad y baja viscosidad, que no tiene ni forma ni volumen independiente pero que se expande, hasta llenar completamente el recipiente en donde está contenido, las propiedades de los gases difieren considerablemente de las propiedades de los líquidos, debido principalmente a que las moléculas en los gases están mucho más separadas que la de los líquidos.

La ecuación de estado es la representación matemática de las variables de un estado, es una relación que existe entre dos o más propiedades termodinámicas. En sistemas de un componente y de una fase, la ecuación de estado incluirá tres propiedades, las cuales pueden ser consideradas como independientes.

¹⁵ MUÑOZ, Samuel. Propiedades de los fluidos en los yacimientos petrolíferos. Primera Edición. Bucaramanga, UIS. 1993.

Gas ideal. Como punto de partida en el estudio de las ecuaciones de estado de los gases reales, se considera un gas hipotético conocido como gas ideal a partir de hechos experimentales. La forma de la ecuación para los gases ideales, puede usarse como base para las ecuaciones de los gases reales. Un gas ideal tiene las siguientes propiedades:

1. El volumen ocupado por las moléculas es insignificante con respecto al volumen ocupado por el gas.
2. No hay fuerzas de atracción o repulsión entre las moléculas ni entre las moléculas y las paredes del recipiente.
3. Todas las colisiones de las moléculas son perfectamente elásticas, esto significa, que no hay pérdida de energía interna en la colisión.

Algunas de estas ecuaciones de estado son:

- Ecuación de Boyle
- Ecuación de Charles
- Ley de Avogadro.
- La ecuación de estado para un gas ideal.

4.4 Mezcla de gases ideales. Dado que el ingeniero de petróleos trabaja comúnmente con mezclas de gases, McCain¹⁶ menciona que las leyes que rigen el comportamiento de mezclas de gases ideales son las siguientes:

- Ley de Dalton de las presiones parciales.
- Ley de Amagat de los volúmenes parciales.

¹⁶ McCain, William. The properties of petroleum fluids. Second Edition. Tulsa, Oklahoma, 1990.

Una mezcla gaseosa está compuesta de moléculas de varios tamaños, entonces no es estrictamente correcto decir que la mezcla gaseosa tiene un peso molecular. Sin embargo, una mezcla gaseosa se comporta como si esta tuviese un peso molecular definido. Este peso molecular es conocido como el “peso molecular aparente” y se define como:

$$M_a = \sum y_j M_j \quad (\text{Ecuación 9})$$

Puesto que la densidad es definida como la masa del gas por unidad de volumen, una ecuación de estado puede usarse para calcular la densidad de un gas a varias temperaturas y presiones. Esta se puede obtener como:

$$\rho_g = \frac{m}{V} \quad \text{o} \quad \rho_g = \frac{PM}{RT} \quad (\text{Ecuación 10})$$

Y para un gas real esta es igual a:

$$\rho_g = \frac{PM}{ZRT} \quad (\text{Ecuación 11})$$

4.5 Gases Reales. Muñoz,¹⁷ considera que los gases reales están constituidos por moléculas o por átomos, que poseen un volumen propio, y entre los que existen interacciones tanto de tipo atractivo como repulsivo. La desviación cuantitativa del comportamiento de un gas real, a una temperatura dada, puede considerarse dada por el factor de compresibilidad, a esa temperatura, referido a un mol de gas.

Las ecuaciones principales para este tipo de gases son las siguientes:

- Ecuación de estado de compresibilidad
- Ley de estados correspondientes.¹⁸

¹⁷ MUÑOZ, Op. Cit., p. 53.

¹⁸ McCAIN, William D. jr. The Properties Of Petroleum Fluids. Second Edition 1990. Tulsa Oklahoma.

La ley de estados correspondientes se ha extendido a las mezclas de gases que están estrechamente relacionadas químicamente, la obtención del punto crítico para las mezclas de multicomponentes es difícil; los conceptos de temperatura pseudocrítica y presión pseudocrítica han sido definidos.

$$T_{pc} = \sum_l y_j T_{cj} \quad y \quad P_{pc} = \sum_l y_j P_{cj} \quad (\text{Ecuación 12})$$

Estas propiedades pseudocríticas fueron ideadas simplemente para ser usadas en la correlación de propiedades físicas. Las propiedades pseudocríticas no son equivalentes a las verdaderas propiedades críticas de una mezcla de gas.

Las propiedades físicas de las mezclas de gases son correlacionadas con la temperatura y la presión pseudoreducidas en la misma forma que las propiedades de los gases puros son correlacionadas con la temperatura y presión reducida.

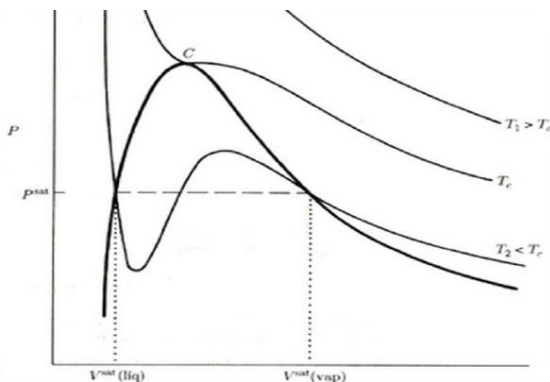
$$T_{pr} = \frac{T}{T_{pc}} \quad y \quad P_{pr} = \frac{P}{P_{pc}} \quad (\text{Ecuación 13})$$

Recuerde que los factores Z son función del tipo de gas, como también de la temperatura y presión

Ecuación de Redlich – Kwong. Según Levenspiel,¹⁹ la ecuación de Redlich-Kwong fue una mejora considerable sobre las otras ecuaciones de la época. Aunque es mejor que la ecuación de Van der Waals, no da buenos resultados sobre la fase líquida y por ello no puede usarse para calcular precisamente los equilibrios líquido-vapor. Sin embargo, puede usarse conjuntamente con expresiones concretas para la fase líquida en tal caso. La ecuación de estado de Redlich-Kwong es muy utilizada para calcular propiedades termodinámicas para la fase de vapor en combinación con modelos termodinámicos más complejos.

¹⁹ LEVENSPIEL, Octave. Fundamentos de termodinámica. México: Prentice Hall, 2008.

Figura 5. Isotherma que relaciona la presión y el volumen



Fuente: MAGALLANES, Lourdes. Ecuaciones de Estado. Facultad Ingeniería Química. 2010

Ecuaciones Viriales. Otra forma de expresar las relaciones PVT de los fluidos reales según Magallanes, es a través de series de potencia en $P_0 V$, conocidas como “ecuaciones viriales”. La ecuación de estado virial se deriva de una serie de potencias en $(1/V)$ para el factor de compresibilidad z , a una temperatura específica, tiene la siguiente forma:

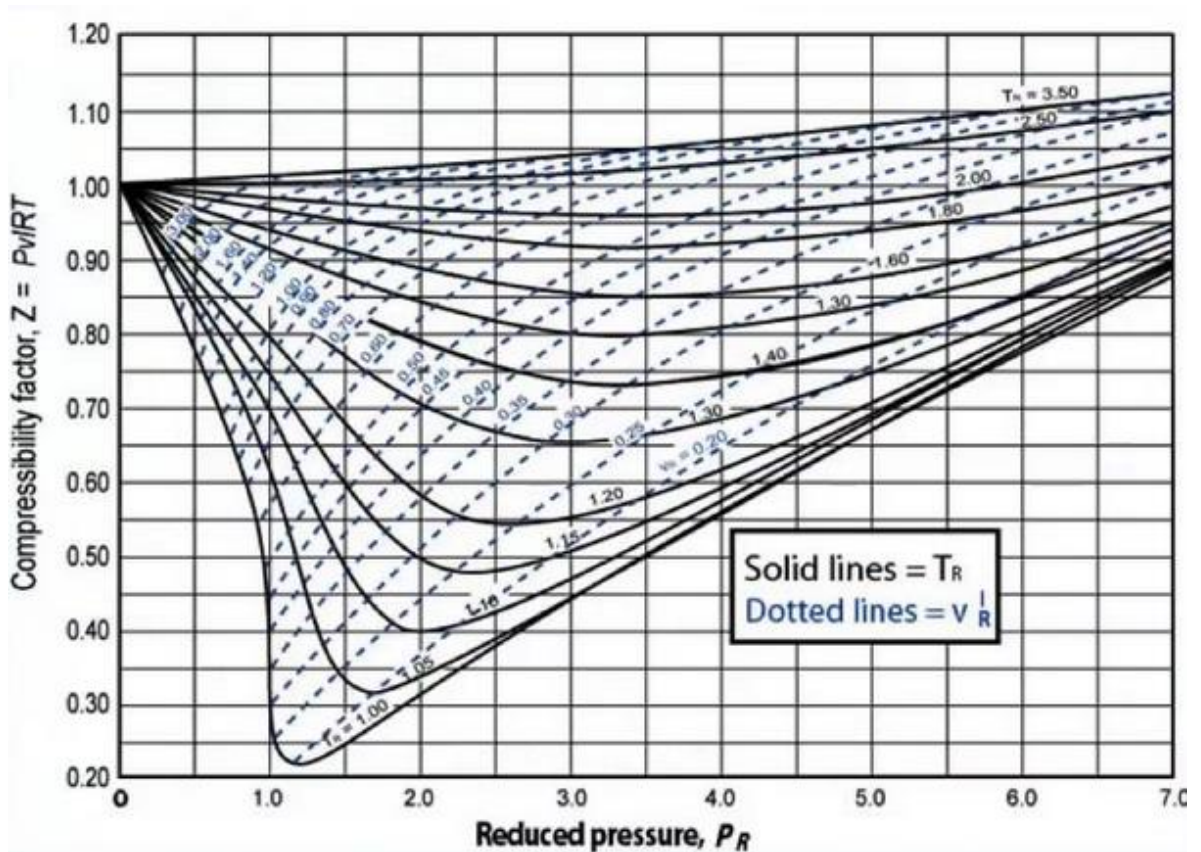
$$Z = \frac{PV}{RT} = 1 + \frac{B}{V} + \frac{C}{V^2} + \frac{D}{V^3} + \dots \quad (\text{Ecuación 14})$$

Ecuación de Soave. En 1972, Soave reemplazó el término a/\sqrt{T} de la ecuación de Redlich-Kwong por una expresión $\alpha(T,\omega)$ función de la temperatura y del factor acéntrico. La función α fue concebida para cuadrar con los datos de las presiones de vapor de los hidrocarburos; esta ecuación describe acertadamente el comportamiento de estas sustancias.

Ecuación de Peng- Robinson. La ecuación de Peng-Robinson fue desarrollada en 1976 para cumplir los siguientes objetivos:

- Los parámetros debían ser expresados en función de las propiedades críticas y el factor acéntrico.
- El modelo debía ser razonablemente preciso cerca del punto crítico, particularmente para cálculos del factor de compresibilidad y la densidad líquida.

Figura 6. Carta Generalizada para Estimar el Factor Z



Fuente: Adaptado de la GPSA

4.6 Correlaciones presión, volumen, temperatura. Según Bánzer,²⁰ las correlaciones P.V.T son desarrolladas a partir de datos de laboratorio y/o de campo y formuladas de manera que puedan ser utilizadas con datos obtenidos, sin pérdida de tiempo y/o inversión de esfuerzo. Estos datos son:

²⁰ BÁNZER, Carlos. Correlaciones numéricas PVT. Edición preliminar. Maracaibo, 1996.

a) Propiedades de los fluidos

- Gravedad específica del petróleo, γ_o
- Gravedad específica del gas, γ_{gas}
- Razón gas producido-petróleo, R

b) Propiedades del yacimiento

- Presión, p
- Temperatura, T

Antes de determinar una propiedad, se debe asegurar que la aplicación de interés se encuentra dentro del rango de los datos para la cual la correlación fue desarrollada.

Cuando el petróleo, el gas y el agua de la formación son producidos en la superficie, sus volúmenes se modifican debido a la compresibilidad de los tres fluidos y a la solubilidad del gas en el petróleo y en el agua. Para convertir los volúmenes (O caudales) desde las condiciones de fondo hasta las condiciones de superficie se aplican los parámetros PVT. Ellos son los factores de volumen de la formación para el petróleo, gas y agua y la solubilidad del gas en el petróleo y en el agua.

Los factores de volumen de la formación relacionan el volumen del fluido en condiciones de presión y temperatura del reservorio con el volumen en condiciones estándar. Se denominan B_o , B_g y B_w y son funciones de la composición de los fluidos y, por supuesto, de la presión y la temperatura.

La solubilidad del gas en el petróleo, R_s , también se llama relación gas-petróleo disuelto.

4.6.1 Estudio de los fluidos del yacimiento. McCain,²¹ menciona que el estudio de los fluidos del yacimiento (aceites negros) consiste de una serie de procedimientos de laboratorio diseñados para proveer valores a las propiedades físicas requeridas en el método de cálculo conocido como “cálculos de balance de materia” hay cinco procedimientos principales en el estudio del aceite negro, los cuales son desarrollados con muestras del líquido del yacimiento. Los cinco procedimientos principales son:

- Medición de la composición.
- Vaporización flash.
- Vaporización diferencial.
- Pruebas en el separador.
- Medida de la viscosidad del aceite.

Los resultados de estos procedimientos son conocidos como el estudio de los fluidos del yacimiento; a menudo se le llama como prueba PVT.

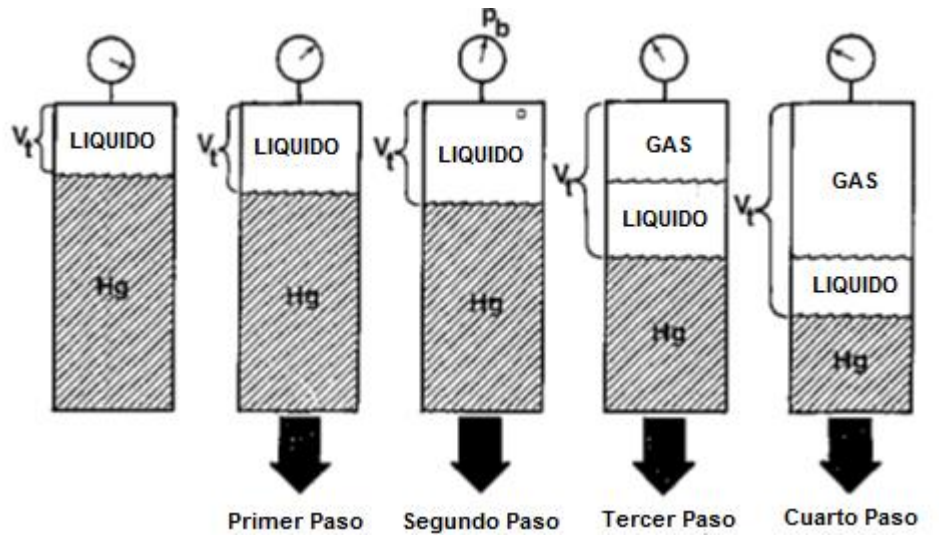
Vaporización flash. Una muestra de líquido del yacimiento es colocado en una celda de laboratorio como se muestra en la figura 7. La presión es ajustada a un valor igual o mayor que la presión inicial en el yacimiento Primer paso figura 7. La temperatura es colocada a condiciones del yacimiento. La presión es reducida mediante incrementos en el volumen de la celda lo que se puede evidenciar en el manómetro en cada uno de los pasos de la figura 7.

La celda es agitada regularmente para asegurar que su contenido este en equilibrio. Ni el gas, ni el líquido son removidos de la celda. En cada paso, la presión y el volumen del fluido son medidas.

²¹ McCAIN, Op. Cit., p. 66.

El volumen es llamado volumen total, V_t , ya que a presiones por debajo del punto de burbuja. Tercer paso figura 7, el volumen incluye tanto líquido como el gas. La presión es graficada contra el volumen total, como lo muestra la figura 8 la gráfica reproduce parte de una isoterma en un diagrama de presión contra volumen.

Figura 7. Procedimiento de vaporización flash en el laboratorio.

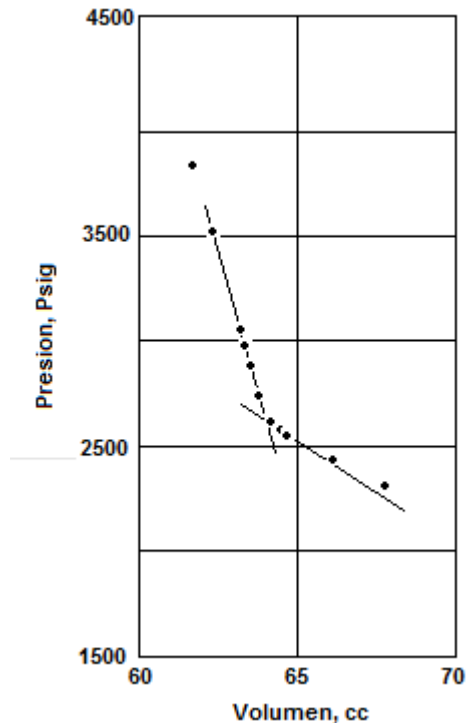


Fuente: Tomada y modificada de McCAIN, William D. jr. The Properties Of Petroleum Fluids.

La presión a la cual la pendiente cambia es la presión de punto de burbuja de la mezcla y el volumen en ese punto, es el volumen de líquido en el punto de burbuja. A menudo denotado con el símbolo V_{sat} .

Equilibrio Gas-Líquido. El separador flash en equilibrio es el más sencillo de los procesos de etapas de equilibrio con el que se puede encontrar un diseñador. Aun cuando interviene solamente una etapa, el cálculo de las composiciones y cantidades relativas de las fases de líquido y vapor para una temperatura y presión dadas requiere una tediosa solución por tanteo.²²

Figura 8. Determinación de la presión de burbuja a partir de una vaporización flash



Fuente: McCAIN, William D. jr. The Properties Of Petroleum Fluids. Second Edition. Tulsa Oklahoma. p. 272.

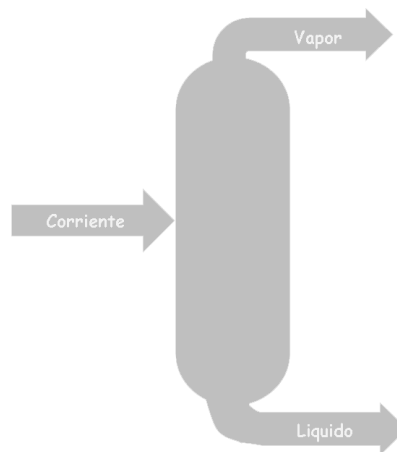
Los autores Jorge Herrera, Juan Patiño, Mario Álvarez, Rubén Castro y Gustavo Maya trabajaron en el equilibrio de fases y el comportamiento volumétrico del fluido de yacimiento en el trabajo titulado “Ajuste de una ecuación de estado cúbica (EOS) por el método de regresión no lineal múltiple (mnr) para simular el comportamiento

²² UIBS. Vaporización y condensación parcial de equilibrio. 2008. Disponible en Internet: <URL:www.uibs.org>.

volumétrico y de fases del crudo producido en el campo escuela colorado” en donde concluyen que la EOS generada es representativa del comportamiento de los fluidos del campo colorado.

Un flash es una sola etapa de destilación donde una alimentación se vaporiza parcialmente para producir un vapor más rico en el componente más volátil. Una alimentación líquida se calienta a presión y se somete a una operación adiabática de flash mediante descenso de la presión a través de una válvula, separándose el vapor del líquido residual en una cámara de flash.

Figura 9. Diagrama Separador Flash



Fuente: Creada por autores

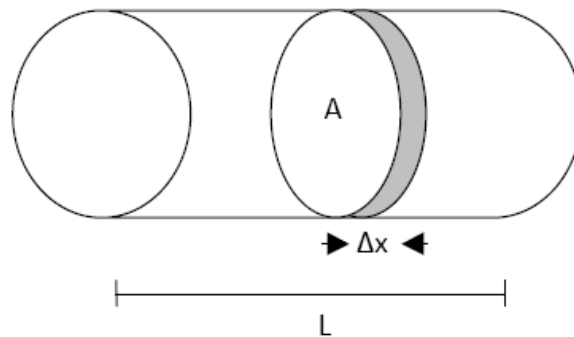
Si la temperatura de equilibrio T_V (o T_L) y la presión de equilibrio P_V (o P_L) de una mezcla multicomponentes están especificadas, y estas son funciones de la constante de equilibrio se pueden determinar esta misma para cada componente.

4.7 Flujo calorífico en estado inestable. De acuerdo con Oliveros,²³ los problemas de estado inestable son aquellos que son función del tiempo; los que no son función

²³ OLIVEROS, Luis. Simulación numérica de yacimientos. Ecuaciones diferenciales. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2012.

del tiempo se les denomina problemas en estado estable. El caso más simple, es considerar el flujo de calor en una sola dirección. Imagínese una varilla de sección transversal uniforme y aislada alrededor de su perímetro, de manera que el calor sólo fluye longitudinalmente. Considérese una parte diferencial de la varilla de longitud ∂x con un área de sección transversal A . Sea T la temperatura en cualquier punto de la varilla, cuya distancia al extremo izquierdo es x . El calor fluye de izquierda a derecha bajo la influencia de un gradiente de temperatura $\partial T/\partial x$.

Figura 10. Dimensiones varilla



Fuente: OLIVEROS, Luis. Simulación Numérica de Yacimientos. Ecuaciones Diferenciales. Universidad Industrial de Santander. 2012.

Haciéndose un balance de la rapidez de flujo calorífico que entra y que sale del elemento, y siendo la constante K la conductividad térmica (cal/g.cm2/cc) se tiene:

$$\text{Entra} - \text{Sale} = \text{Acumula}$$

La diferencia entre la rapidez de flujo que entra y sale es la rapidez con la cual el calor está siendo almacenado en el sistema.

Rapidez de flujo del calor que entra:

$$-KA \frac{dT}{dx} \quad (\text{Ecuación 15})$$

Rapidez de flujo del calor que sale:

$$-KA \left[\frac{dT}{dx} + \frac{d}{dx} \left(\frac{dT}{dx} \right) dx \right] \quad (\text{Ecuación 16})$$

Rapidez a la cual el calor está siendo acumulado:

$$C\rho A dx \frac{dT}{dt} \quad (\text{Ecuación 17})$$

$$-KA \frac{dT}{dx} + KA \left[\frac{dT}{dx} + \frac{d}{dx} \left(\frac{dT}{dx} \right) dx \right] = C\rho A dx \frac{dT}{dt}$$

$$K \frac{d^2T}{dx^2} = C\rho \frac{dT}{dt} \dots \dots \dots 1D$$

La ecuación se clasifica como parabólica si se compara con la forma estándar que posee dos variables independientes x y t . La ecuación anterior en dos y tres dimensiones es:

$$K \left[\frac{d^2T}{dx^2} + \frac{d^2T}{dy^2} \right] = C\rho \frac{dT}{dt} \dots \dots \dots 2D$$

$$K \left[\frac{d^2T}{dx^2} + \frac{d^2T}{dy^2} + \frac{d^2T}{dz^2} \right] = C\rho \frac{dT}{dt} \dots \dots \dots 3D$$

(Ecuación 18)

La solución, a la cual se le llama solución del problema, no sólo obedecerá la ED que se dio antes, sino que también debe satisfacer a una condición inicial y a un conjunto de condiciones en la frontera. Para la varilla la condición inicial será las temperaturas iniciales en todos los puntos a lo largo de la varilla.

$$T(x, t) \Big|_{t=0} = T(x, 0) \Big|_{t=0} = f(x) \quad (\text{Ecuación 19})$$

Condiciones en la frontera describen la temperatura en cada extremo de la varilla como funciones del tiempo.

$$T(0, t) = C_1$$

$$T(L, t) = C_2$$

La ecuación en 1D puede ser rescrita como:

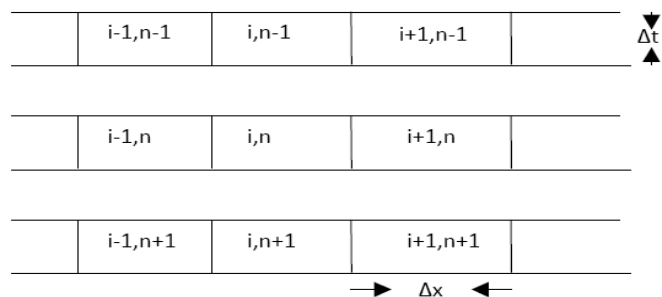
$$\frac{d^2T}{dx^2} = \frac{c\rho}{K} \frac{dT}{dt} \quad (\text{Ecuación 20})$$

$$\frac{d^2T}{dx^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{dT}{dt} \text{ con } \alpha = \frac{K}{C\rho}$$

Solución Analítica. La solución analítica a la EDP de flujo de calor es:

$$T(x, t) = 800 \sum_{n=0}^{\alpha} \frac{1}{\pi^2(2n+1)^2} \cos \left[\frac{(2n+1)\pi(x-1)}{L_x} \right] e^{-(2n+1)^2 \alpha \frac{x^2}{L_x^2}} \quad (\text{Ecuación 21})$$

Solución numérica. Si se observa la red formada por la representación discreta de la función.



Es posible representar EDP,

$$\frac{d^2T}{dx^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{dT}{dt} \quad (\text{Ecuación 22})$$

Para darle solución a este tipo de ecuaciones se utilizan dos clases de métodos

- Método Explicito.

- Método Implícito.

4.8 PÉRDIDAS DE CALOR DURANTE UNA INYECCION DE VAPOR

Palma,²⁴ señala la diferencia de temperatura existente entre el agua caliente, aire caliente o vapor, y el medio ambiente que rodea las líneas de superficie (líneas que transportan el fluido caliente hasta el cabezal de pozo) y la tubería de inyección en el pozo, parte del contenido de calor del fluido se pierde antes de llegar a la formación. Por lo tanto, es importante cuantificar cuánto calor se pierde para tratar de reducir estas pérdidas a un valor mínimo.

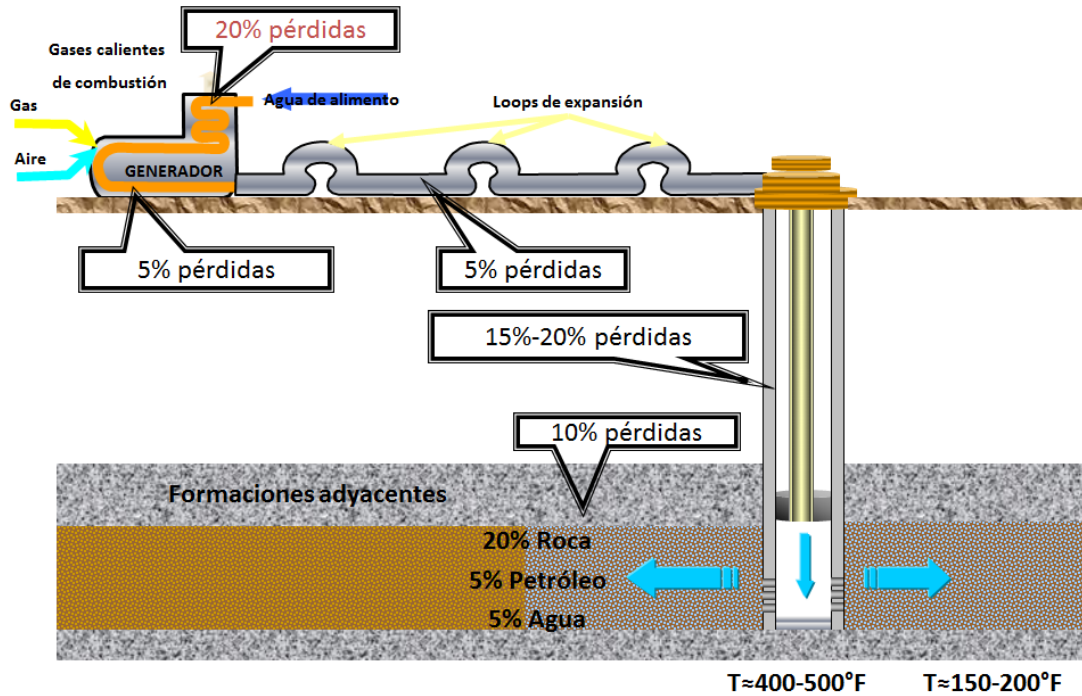
4.8.1 Mecanismos de transferencia de calor. Por definición, calor es la energía que se transfiere como resultado de una diferencia o gradiente de temperatura. Matemáticamente es una cantidad vectorial, en el sentido de que fluye de regiones de altas temperaturas a regiones de bajas temperaturas. Los mecanismos básicos de transferencia de calor son:

- Conducción.
- Radiación.
- Convección.

Aunque una inspección detallada del mecanismo de convección revela que éste es una combinación de los mecanismos de conducción y radiación.

²⁴ PALMA, Jorge. Catedra Métodos de Recobro, pérdidas de calor durante la inyección de vapor. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.

Figura 11. Representación perdida de energía en un sistema de inyección

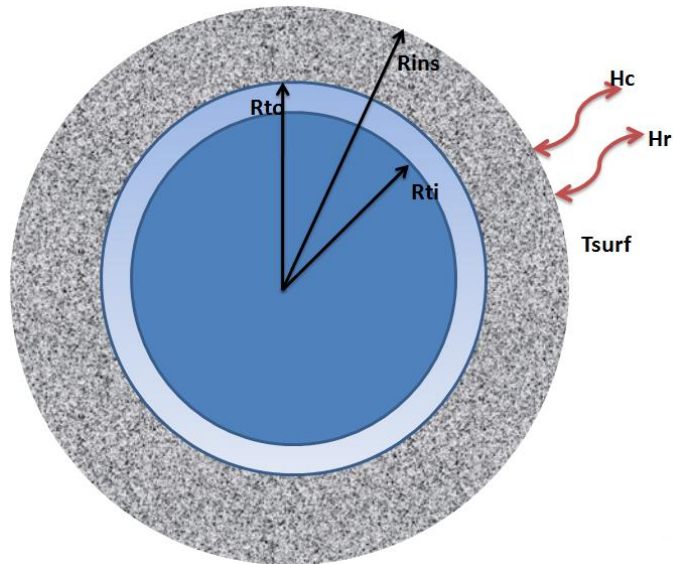


Fuente: PALMA. Jorge. Cátedra Métodos de Recobro. Pérdidas de Calor Durante la Inyección de Vapor. Universidad Industrial de Santander.

4.8.2 Pérdidas de calor en línea de superficie. El próximo punto de pérdidas de calor en un sistema de inyección, se encuentra en las líneas de transmisión de calor del generador al cabezal de inyección del pozo (Palma). En este tipo de pérdidas están incluidos los tres mecanismos de transferencia de calor: conducción, convección y radiación. Su magnitud depende de la longitud de la tubería y su diámetro, de la naturaleza y espesor del aislante, y de la temperatura del fluido caliente en la línea y del medio ambiente que lo rodea.²⁵

²⁵ Ibid., p. 99.

Figura 12. Representación línea de superficie corte lateral



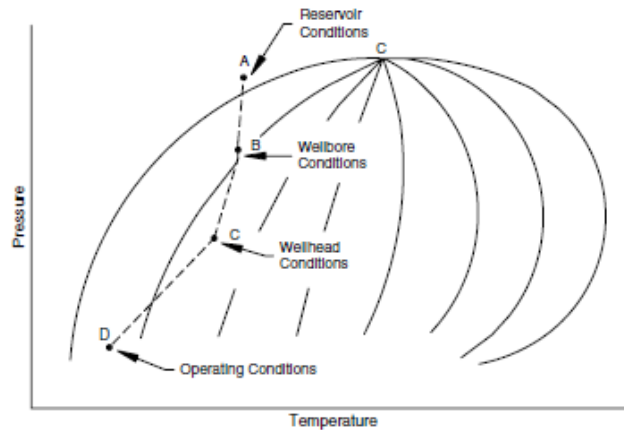
Fuente: PALMA. Jorge. Cátedra Métodos de Recobro. Pérdidas de Calor Durante la Inyección de Vapor. Universidad Industrial de Santander.

4.9 FACILIDADES DE SUPERFICIE (SEPARADORES HORIZONTALES)

Conforme con Arnold,²⁶ los fluidos producidos en cabeza de pozo son una mezcla compleja de diferentes componentes de hidrogeno y carbono, todos con diferentes densidades, presiones de vapor y otras características físicas. La corriente de flujo proveniente de una alta temperatura y alta presión en el yacimiento, experimenta una reducción de presión y temperatura figura 13. El gas evoluciona a partir de los líquidos y las propiedades de la corriente del pozo cambian. La velocidad del gas transporta gotas de líquido, y el líquido transporta burbujas de gas. La separación física de estas fases es una de las operaciones básicas en la producción, procesamiento y tratamiento de aceite y gas.

²⁶ ARNOLD, Ken. STEWART, Maurice. Surface Production Operation. Design Of Oil Handling Systems and Facilities. Volume one. Third Edition. 2008.

Figura 13. Diagrama de equilibrio de fases para un sistema típico de producción



Fuente: ARNOLD, Ken. STEWART, Maurice. Surface Production Operation. Design Of Oil Handling Systems and Facilities. Volume one. Third Edition. 2008

En el diseño de separadores de aceite y de gas, se separa mecánicamente de la corriente de hidrocarburos los componentes líquidos y gaseosos que existen a una presión y temperatura específica. Un diseño correcto del separador es importante debido a que este es un proceso inicial que está presente normalmente en cualquier facilidad, un diseño inapropiado de este proceso puede conducir a un embotellamiento lo cual reducirá la capacidad de toda la facilidad.

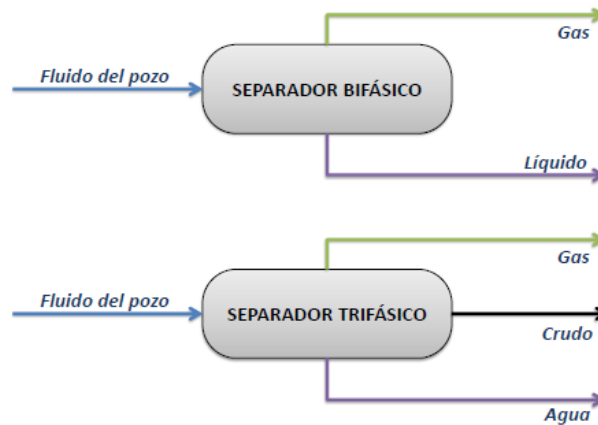
Los separadores están clasificados como de dos fases si se quiere separar el gas de la corriente total de líquidos y de tres fases si la corriente de líquidos quiere ser separada en aceite crudo y agua.

Factores que afectan la separación. Las características de la corriente de flujo pueden ser altamente afectadas por el diseño y operación del separador. Los siguientes factores deben ser determinados antes del diseño del separador:

- Ratas de flujo de gas y de líquidos (mínimo, promedio y máximo)
- Presión y temperatura de operación.

- Propiedades físicas de los fluidos tales como densidad y factor de compresibilidad.
- Designar grado de separación (ejemplo: remover 100% de partículas mayores que 10 micras)
- Presencia de impurezas (parafinas, arenas, etc.)
- Tendencia a la formación de espuma (foaming)
- Tendencias corrosivas del líquido o el gas.

Figura 14. Proceso de separación



Fuente: MONTES, Erik Giovany. Facilidades de Superficie. Diseño de Separadores Horizontales. Universidad Industrial de Santander

4.9.1 COEFICIENTE DE ARRASTRE

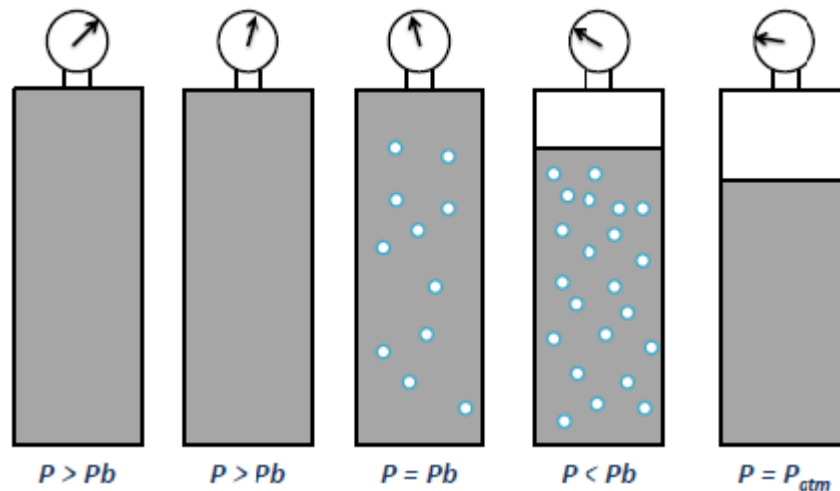
En dinámica de fluidos, el coeficiente de arrastre (comúnmente denotado como: c_d , c_x o c_w) es una cantidad adimensional que se usa para cuantificar el arrastre o resistencia de un objeto en un medio fluido como el aire o el agua. Es utilizado en la ecuación de arrastre, en donde un coeficiente de arrastre bajo indica que el objeto tendrá menos arrastre aerodinámico o hidrodinámico. El coeficiente de arrastre está siempre asociado con una superficie particular.

En ingeniería de petróleos el coeficiente de arrastre es un parámetro operacional para el diseño de separadores bifásicos y trifásico, el cual se basa en el comportamiento físico que tiene las distintas fases de los fluidos presentes, este es un indicador que puede cuantificar el número de partículas de determinado tamaño que puede remover por efectos de la gravedad y la turbulencia que provoca el cuerpo del separador.

Separación bifásica²⁷

Montes indica que el fenómeno se debe a una reducción de presión por debajo de la presión de saturación (presión de burbuja), que lleva a la liberación de una fase gaseosa.

Figura 15. Esquema reducción de presión en un proceso de separación



Fuente: MONTES, Erik Giovany. Facilidades de Superficie. Diseño de Separadores Horizontales. Universidad Industrial de Santander

4.9.2 DISEÑO DE UN SEPARADOR BIFÁSICO HORIZONTAL

²⁷ MONTES, Erik Giovany. Facilidades de Superficie. Diseño de Separadores Horizontales. Universidad Industrial de Santander.

La metodología a aplicar en un diseño de separador bifásico horizontal es la siguiente:

1. Determinar el coeficiente de arrastre C_D por medio de un proceso iterativo (suponer un $C_D = 0.34$).

$$\begin{aligned}
 V_1 &= 0.0119 \left[\left(\frac{\rho_l - \rho_g}{\rho_g} \right) \frac{d_m}{C_D} \right]^{1/2} \\
 Re &= 0.0049 \frac{\rho_g d_m V}{u_g} \\
 C_D &= \frac{24}{Re} + \frac{3}{Re^{0.5}} + 0.34
 \end{aligned}$$

2. Calcular la capacidad al gas.

$$dL_{eff} = 420 \left[\frac{T Z Q_g}{P} \right] \left[\left(\frac{\rho_g}{\rho_l - \rho_g} \right) \frac{C_D}{d_m} \right]^{1/2} \quad (\text{Ecuación 23})$$

3. Calcular la capacidad al líquido.

$$d^2 L_{eff} = \frac{t_r Q_l}{0.7} \quad (\text{Ecuación 24})$$

4. Establecer relaciones entre el diámetro del separador (d) y la longitud efectiva (L_{eff}) para las capacidades al gas y al líquido.

| d (in) | Gas L_{eff} (ft) | Líquido L_{eff} (ft) |
|--------|--------------------|------------------------|
| 16 | | |
| 20 | | |
| 24 | | |
| 30 | | |
| 36 | | |
| 42 | | |
| 48 | | |

5. Calcular la longitud entre cordones de soldadura (L_{SS}) para cada diámetro.

$$\text{Para } L_{\text{eff}} > 7,5ft: L_{ss} = L_{\text{eff}} + \frac{d}{12}$$

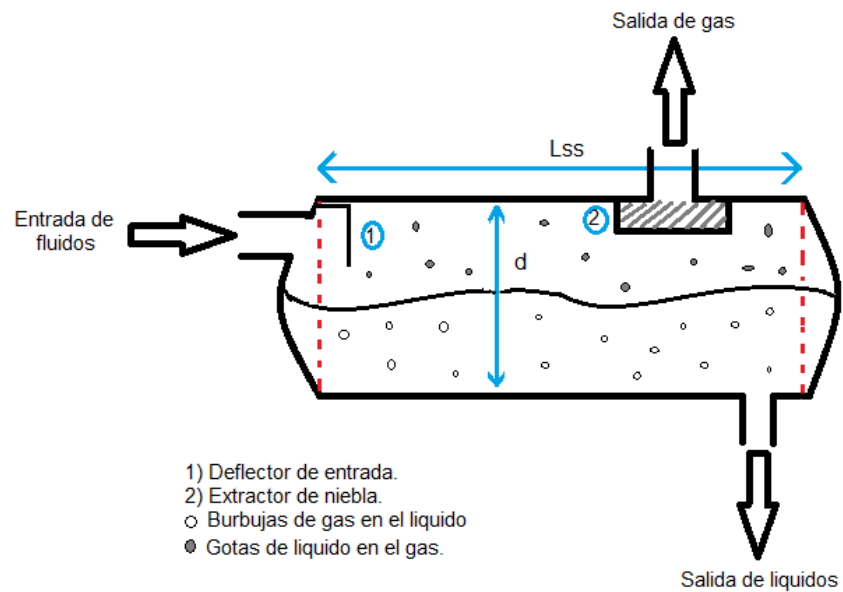
$$\text{Para } L_{\text{eff}} < 7,5ft: L_{ss} = L_{\text{eff}} + 2.5$$

6. Determinar la relación de esbeltez para cada diámetro.

$$SR = \frac{12L_{ss}}{d}$$

7. Seleccionar la opción que contenga una relación de esbeltez entre 3 y 4. Es caso de que dos o más opciones se encuentren en ese rango, se puede tomar la decisión de usar el diámetro menor, pues implica un costo más bajo.

Figura 16. Diagrama separador horizontal bifásico



Fuente: Los autores.

5. DESCRIPCIÓN DE LA HERRAMIENTA SOFTWARE

5.1 GENERALIDADES DEL PROGRAMA

El software diseñado es una herramienta con énfasis académico dirigido a los estudiantes de ingeniería de petróleos de VI nivel, para apoyar el aprendizaje de la asignatura de métodos numéricos. La herramienta cuenta con una serie de contenidos teóricos de la asignatura concernientes a los métodos numéricos así como contenidos aplicativos que buscan emplear los diferentes métodos numéricos para resolver problemas propios de la ingeniería de petróleos. En la herramienta el estudiante puede recurrir también a los ejercicios resueltos propuestos para una mejor comprensión de la asignatura.

La función principal del programa es brindar al estudiante un apoyo en el aprendizaje de la asignatura mediante un ambiente virtual, brindándole herramientas para la comprensión de cada uno de los métodos numéricos a nivel conceptual, y por medio de las aplicaciones desarrolladas por los autores los estudiantes encontraran la aplicación a temáticas de la asignatura enfocadas a temas propios de la ingeniería de petróleos.

Esta herramienta con énfasis académico pretende afianzar el conocimiento de la asignatura de métodos numéricos en ingeniería, convirtiéndose en un material de apoyo de estudio para el estudiante y como apoyo en el proceso de enseñanza del docente.

5.2 DESCRIPCIÓN Y REQUERIMIENTOS PARA LA OPERACIÓN Y EL USO DE LA HERRAMIENTA

La herramienta fue desarrollada haciendo uso de Microsoft Visual Studio 2013, la codificación se encuentra disponible para que pueda ser estudiada libremente, al

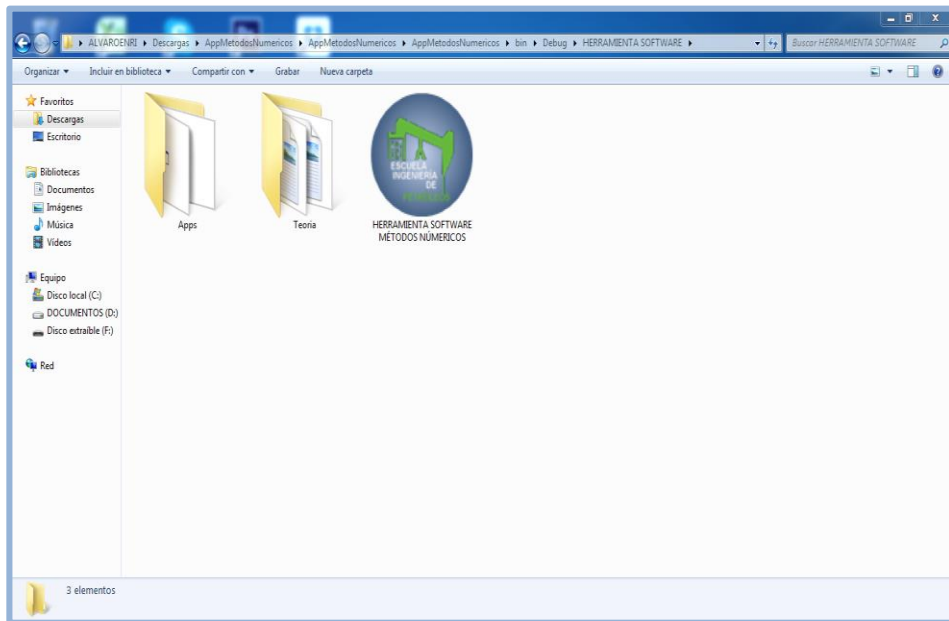
trabajar con este programa se genera un archivo ejecutable de Windows denominado setup.exe, también conocido como el arranque, este es el responsable de instalar requisitos previos antes de ejecutar la aplicación. Con el objetivo de llevar a cabo un adecuado manejo de la herramienta y un exitoso proceso de instalación, se enunciarán una serie de requerimientos y recomendaciones necesarias para el correcto uso de la herramienta.

Para implementar de una forma correcta la aplicación, se deben implementar todos los componentes a los que esta hace referencia, las aplicaciones creadas a través de Visual Studio dependen de .Net Framework, En el equipo debe estar presente la versión correspondiente de Common Language Runtime antes de instalar la aplicación. La instalación y el funcionamiento de la herramienta se detallan en el anexo A de este documento.

5.3 PROCEDIMIENTO DE INICIO

Para dar inicio a la operación de la herramienta se debe proceder a dar doble clic en el archivo ejecutable de la herramienta software figura. 17. Al dar clic en el archivo ejecutable se desplegará la interfaz de inicio de la herramienta mostrada en la figura 18.

Figura 17. Ejecutable inicio



Fuente: Los Autores

5.4 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA

Dado que la herramienta contiene numerosos vínculos, comandos y botones, se entrara de manera general a la descripción y utilidad de cada componente presente en la herramienta multimedia.

5.4.1 Interfaz de introducción al inicio de la herramienta. La interfaz de introducción al inicio de la herramienta aparece después de ejecutar el archivo en el sistema, la interfaz se puede observar en la figura 18.

Figura 19. Interfaz de inicio herramienta software



Fuente: Autores

2) Métodos directos para solución de sistemas de ecuaciones lineales.

Esta sección se ocupara de determinar los valores x_1, x_2, \dots, x_n que en forma simultánea satisfacen un sistema de ecuaciones a través de métodos directos.

3) Métodos iterativos para solución de sistemas de ecuaciones lineales.

Esta sección se centra en los métodos iterativos como un método alternativo a los métodos de eliminación directos, El enfoque se da con procesos iterativos que emplean valores iniciales y después itera para obtener mejores aproximaciones a la solución.

4) Tratamiento de información.

Esta sección describe las técnicas para ajustar curvas necesarias para obtener estimaciones intermedias entre datos de valores discretos.

5) Diferenciación e integración numéricas.

Aquí se presenta los procedimientos para la integración numérica (“las fórmulas de integración de Newton Cotes”).

6) Tratamiento numérico de ecuaciones diferenciales ordinarias.

Esta sección se centra en los métodos numéricos que dan solución a las ecuaciones diferenciales ordinarias.

7) Tratamiento numérico de ecuaciones diferenciales parciales.

Aquí nuevamente se centra en los métodos numéricos que resuelven las ecuaciones diferenciales parciales donde cada una de las categorías de estas corresponde a una clase en específico de problemas en ingeniería.

8) Extras.

Finalmente en esta sección se presenta el manual de usuario y los créditos de la herramienta.

Cabe aclarar que la descripción general del sistema, se realiza tomando como modelo una sección en particular, ya que todas las secciones están diseñadas de la misma forma y tienen los mismos componentes con algunas modificaciones muy pequeñas.

Al elegir cada una de las secciones, se desplazara un sub-menú figura 20 en donde se desplegaran una serie de pestañas en las cuales se complementara la información de cada capítulo y se profundizara en cada uno de ellos, a través de un ágil y fácil acceso se encontrara la información deseada. Esto permite al usuario la

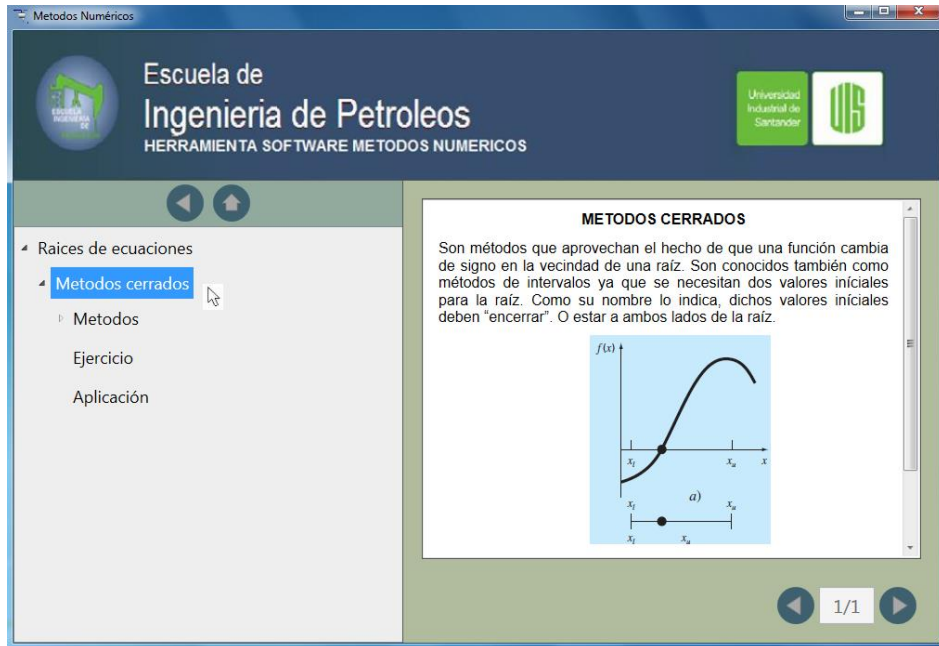
fácil identificación del tema estudiado, las secciones estudiadas y los capítulos remanentes.

Todos los sub-menú están organizados en tres secciones secundarias figura 20. La primera de ellas es donde se presentan los métodos numéricos que dan solución a la sección principal elegida figura 21. Al elegir la opción de métodos se desplegará la totalidad de ellos figura 22 correspondientes a cada sección principal.

Cada una de las siete primeras secciones de la herramienta despliega este contenido teórico en donde se presentan y explican cada uno de los métodos numéricos correspondientes a cada sección.

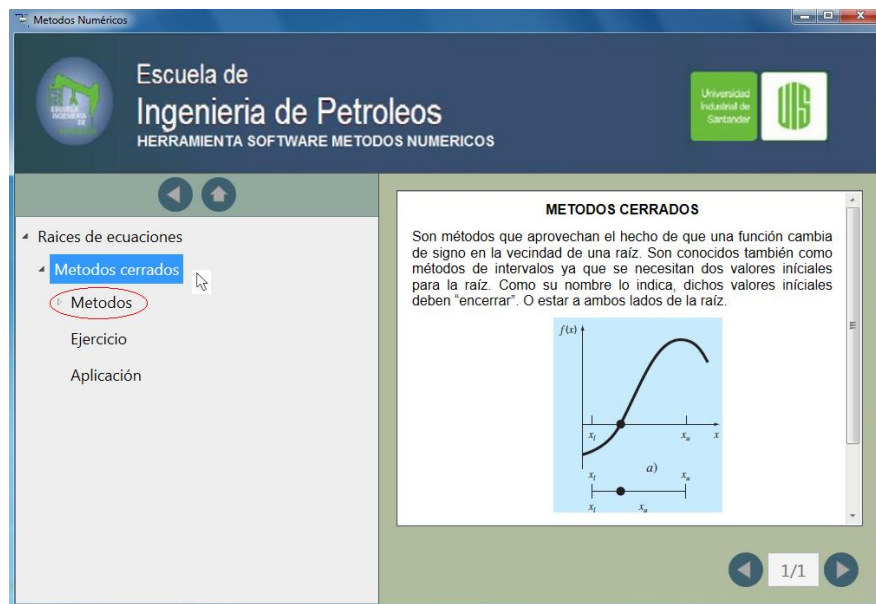
En la segunda sección secundaria se puede encontrar una serie de ejercicios resueltos en diferentes formatos figura (23) donde se da solución a un ejercicio a través de los métodos numéricos correspondientes a cada capítulo, el objetivo de este es que sea utilizado como una guía y apoyo del aprendizaje del estudiante, en algunos de ellos se llevara a cabo un análisis de sensibilidad de los métodos lo cual permitirá al estudiante entender como cada método converge y como este se comporta comparado con otros. Así como lo conducirá a la conclusión de cual método es más o menos efectivo.

Figura 20. Interfaz Submenú



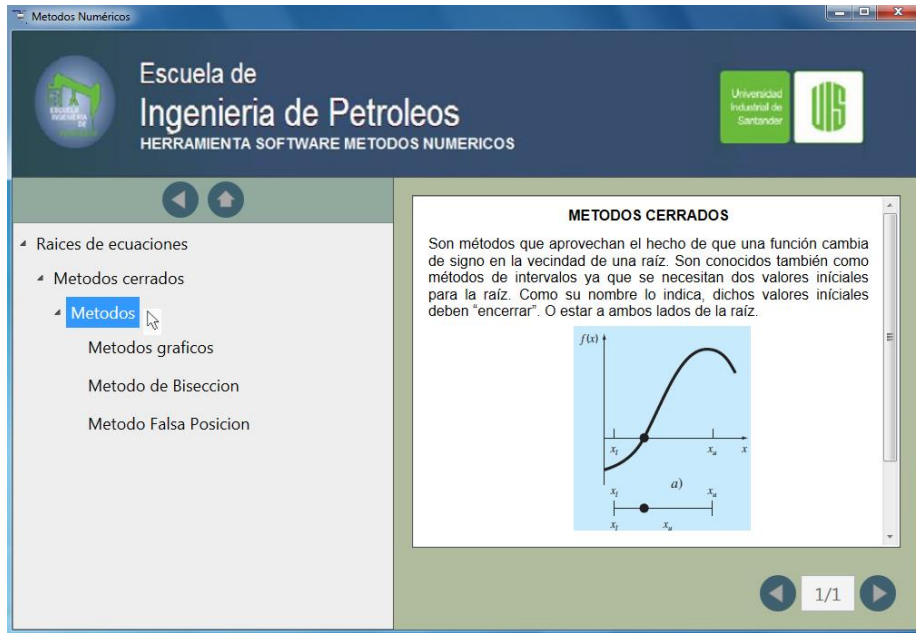
Fuente: Los autores

Figura 21. Interfaz Métodos



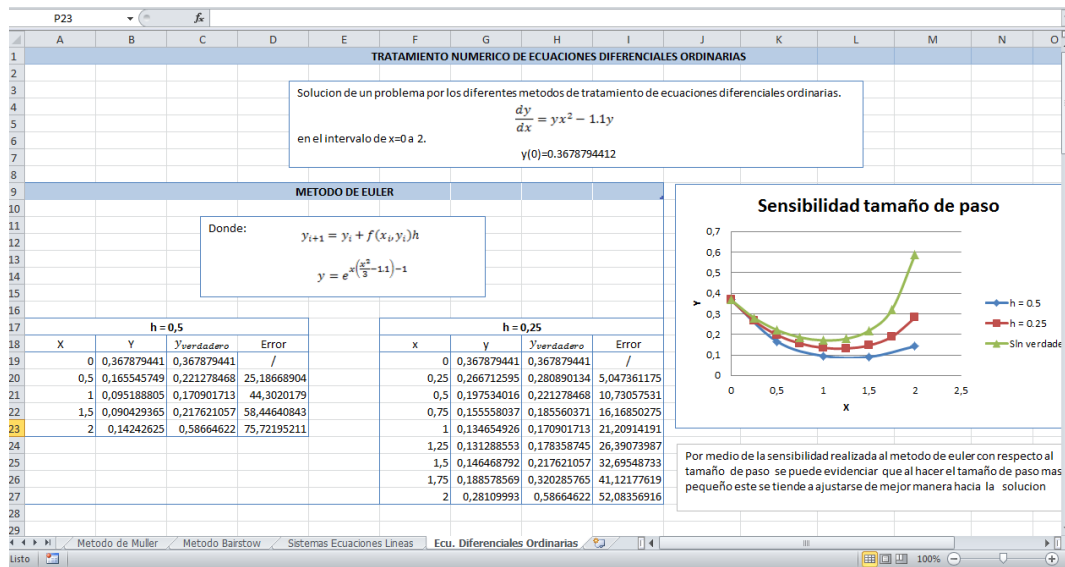
Fuente: Los autores.

Figura 22. Interfaz Inserción en Métodos



Fuente: Los autores

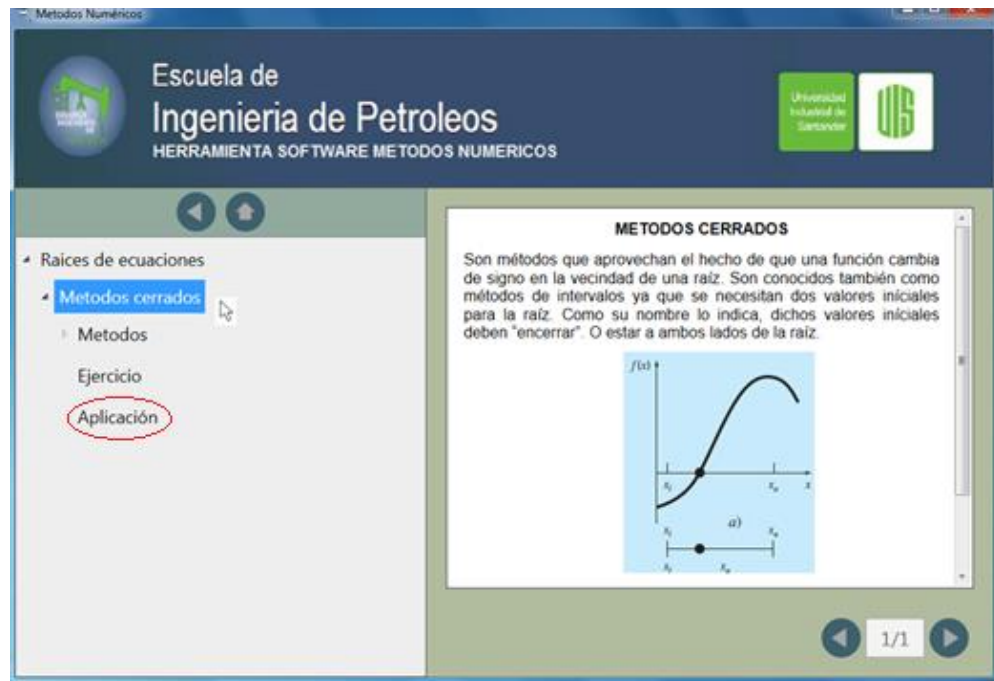
Figura 23. Ejemplo ejercicio resuelto



Fuente: Los autores

La tercera sección lleva el nombre de aplicación figura 24 es en donde se presenta las aplicaciones de cada uno de los métodos numéricos de cada sección principal.

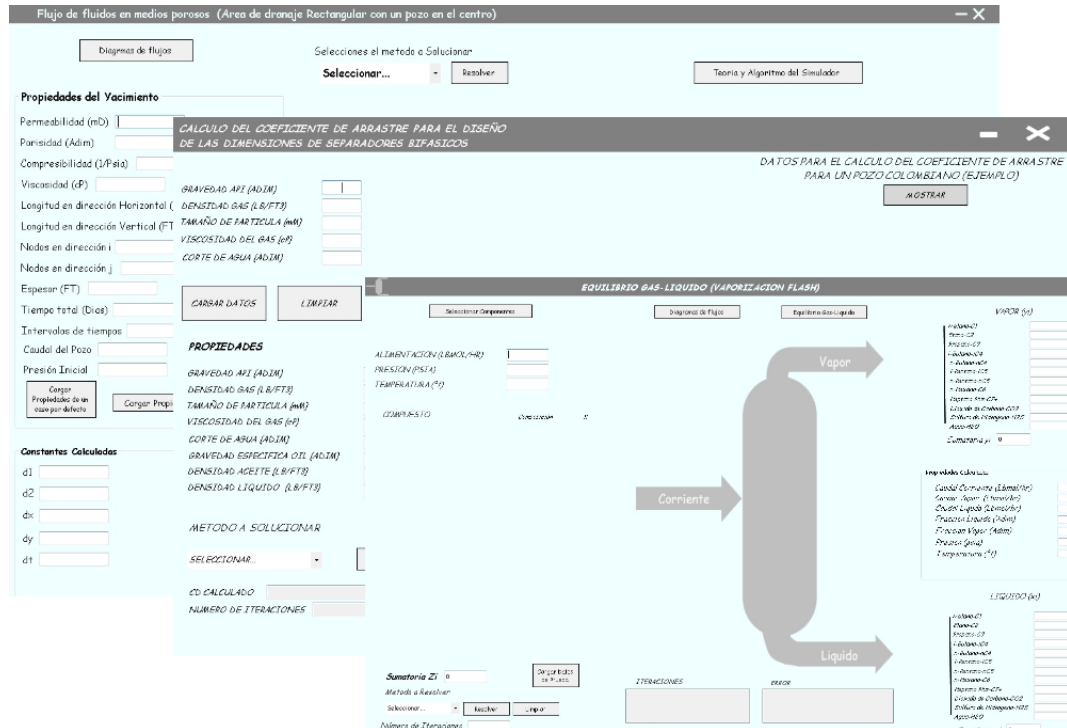
Figura 24. Interfaz



Fuente: Los autores

Siendo utilizados en la solución de problemas propios de la ingeniería de petróleo. Al elegir esta sección se desplegara una serie de aplicaciones concernientes a cada sección principal figura 25.

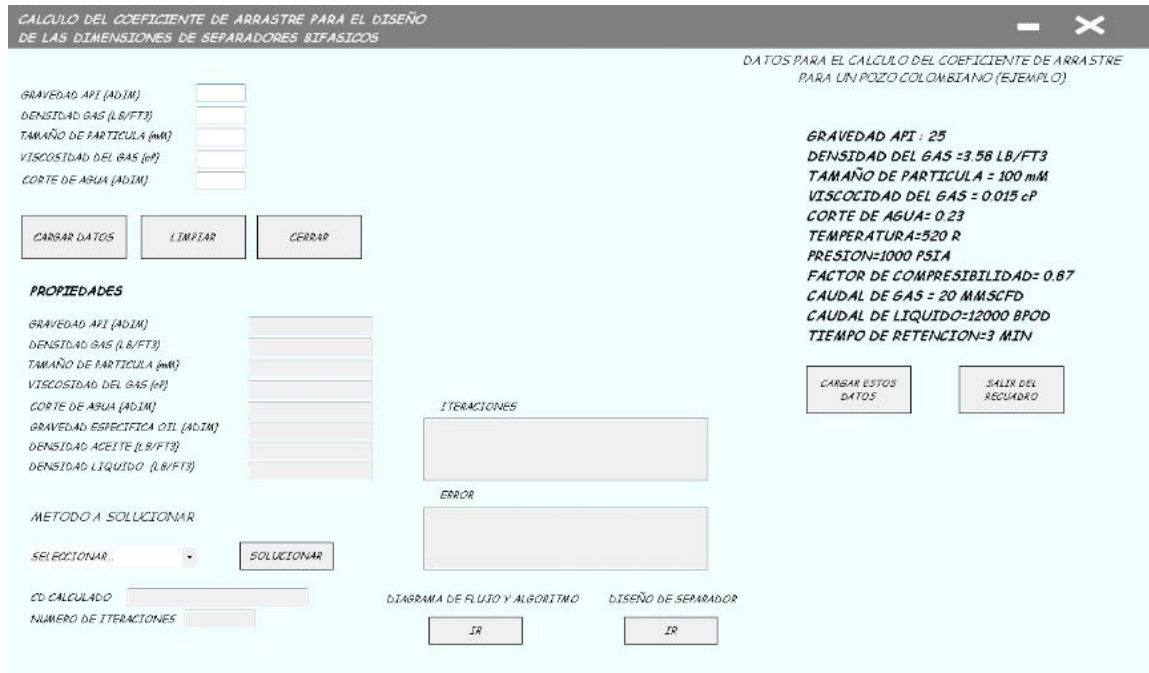
Figura 25. Ejemplo Aplicaciones



Fuente: Los autores

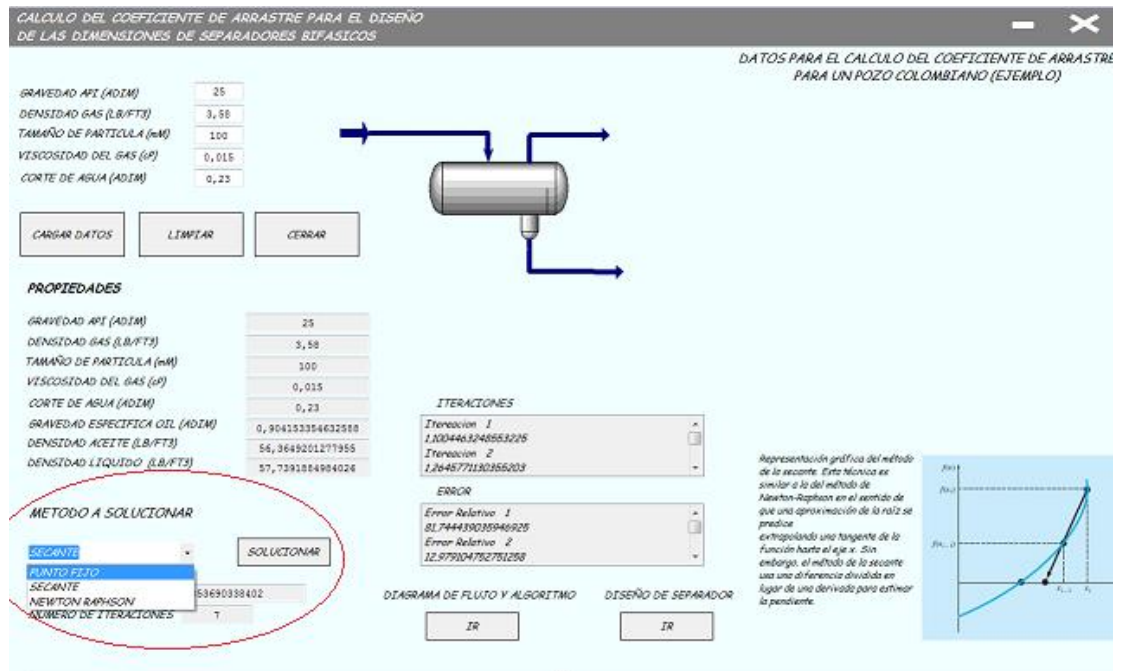
La cual tendrá diferentes contenidos referentes a la aplicación como tal. Tomando como ejemplo la aplicación de los métodos abiertos de las raíces de ecuaciones figura 26. En donde se utilizan los métodos numéricos para dar solución al cálculo del coeficiente de arrastre empleado para el diseño de separadores bifásicos. A continuación se describirá el contenido presente en la aplicación, El usuario estará en la condición de elegir por medio de cual método dar solución al problema en particular así como ingresar las diferentes variables de diseño figura 27, También se presenta la fundamentación teórica en el área de la ingeniería de petróleos utilizada en la realización de la aplicación, necesaria para la comprensión y el entendimiento de la misma, así como el correspondiente diagrama de flujo de cada método Numérico por el cual se ha dado solución al problema en particular manejado por la aplicación figura 28.

Figura 26. Aplicación Métodos Abiertos- Raíces de Ecuaciones



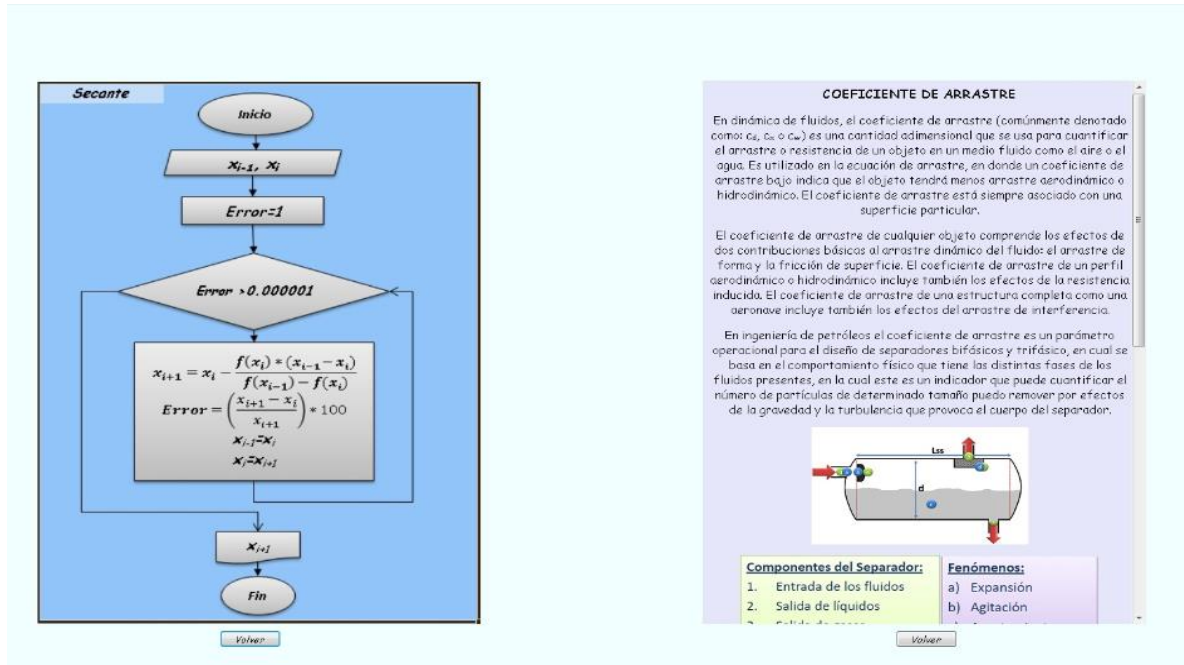
Fuente: los Autores

Figura 27. Interfaz aplicación



Fuente: Los Autores

Figura 28. Diagrama de flujo y Fundamentación Teórica presente en las aplicaciones



Fuente: Los Autores.

Y claro está se dará solución a un problema propio de la ingeniería de petróleos a través de los diferentes métodos numéricos presentados en cada sección principal en el caso de la aplicación tomada como ejemplo se obtendrán las dimensiones óptimas para el diseño de un separador bifásico figura (29) presentando también la metodología utilizada en el cálculo de las mismas.

Figura 29. Interfaz de Resultados Aplicación Métodos Abiertos – Raíces de Ecuaciones

CALCULO DE LAS DIMENSIONES DE UN SEPARADOR BIFASICO HORIZONTAL

TEMPERATURA DE OPERACION (R)

PRESION DE OPERACION (PSIA)

FACTOR COMPRESIBILIDAD DEL GAS (Z)

CAUDAL DEL GAS (MMSCFD)

CAUDAL DEL LIQUIDO (BPD)

TIEMPO DE RETENCION DEL LIQUIDO (MIN)

CARGAR DATOS POR DEFECTO

CAPACIDAD AL GAS

CAPACIDAD AL LIQUIDO

CALCULAR

LIMPIAR

ATRAS

DIMENSIONES OPTIMAS PARA EL DISEÑO DEL SEPARADOR BIFASICO HORIZONTAL

DIMENSIONES OPTIMAS --> 54 in x 18 ft

Algoritmo para encontrar las dimensiones del separador

IR OCULTAR

DISEÑO DE SEPARADORES BIFÁSICOS (Horiz.)

1. Determinar el coeficiente de arrastre C_D por medio de un proceso iterativo

$$C_D = \frac{24}{a * (b * \frac{d_m}{C_D})^{0.5}} + \frac{3}{(a * (b * \frac{d_m}{C_D})^{0.5})^{0.5}} + 0.34$$

$$f(C_D) = \frac{24}{a * (b * \frac{d_m}{C_D})^{0.5}} + \frac{3}{(a * (b * \frac{d_m}{C_D})^{0.5})^{0.5}} + 0.34 - C_D$$

LONGITUD PARA CADA DIAMETRO DEL SEPARADOR BIFASICO

| Diametro (in) | Gas leff (ft) | Liquido leff (ft) | Cordones de soldadura (ft) | Longitud separador (ft) | Relacion Esbeltez |
|---------------|---------------|-------------------|----------------------------|-------------------------|-------------------|
| 16 | 6.8911722... | 200.892857142... | 200.892857142857 | 201 | 150.669642857143 |
| 20 | 5.5129378... | 128.5714285714... | 128.571428571429 | 129 | 77.1428571428572 |
| 24 | 4.5941148... | 89.2857142857... | 89.2857142857143 | 90 | 44.6428571428571 |
| 30 | 3.6752918... | 57.1428571428... | 57.1428571428572 | 58 | 22.8571428571429 |
| 36 | 3.062743... | 39.6825396825... | 39.6825396825397 | 40 | 13.2275132275132 |
| 42 | 2.625208... | 29.1545189504... | 29.1545189504373 | 30 | 8.3298625726781 |
| 48 | 2.297057... | 22.3214285714... | 22.3214285714286 | 23 | 5.58035714285714 |
| 54 | 2.0418288... | 17.636684303351 | 17.636684303351 | 18 | 3.91926317852244 |
| 60 | 1.8376459... | 14.28571428571... | 14.2857142857143 | 15 | 2.85714285714286 |
| 72 | 1.5313716... | 9.92063492063... | 9.92063492063492 | 10 | 1.65343915343919 |
| 84 | 1.3126042... | 7.28862973760... | 7.28862973760933 | 8 | 1.04123261965848 |

Fuente: Los Autores

5.4.3 Botones complementarios. La herramienta multimedia cuenta con una serie de botones complementarios que le permiten al usuario acceder a diferentes funciones dentro del sistema. Estos botones ayudan a una pronta, eficaz y favorable navegación dentro de la herramienta.

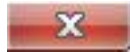
a) Botón de índice

Este botón se encuentra ubicado en el lado superior izquierdo de la herramienta, esta opción permite al usuario ir al menú principal desde cualquier ubicación de la herramienta en forma instantánea.



b) Botón cerrar

Este botón se encuentra en la parte superior derecha de la herramienta, este botón permite cerrar la herramienta desde cualquier posición dentro del sistema.



c) Botón de menú anterior (back)

Este botón se encuentra ubicado en la parte superior izquierda, al lado izquierdo del botón índice, este comando permite al usuario retornar al menú anterior una vez ha entrado a un menú en específico.



5.5 EJEMPLO NAVEGACIÓN EN EL SISTEMA

A continuación se llevara a cabo la navegación en el sistema tomando como ejemplo una sección en específico en donde se describirá los contenidos pertenecientes a cada inserción en el sistema. La sección elegida como ejemplo es la correspondiente a la de la solución de raíces de ecuaciones para métodos abiertos. Al dar doble clic en el archivo ejecutable de la herramienta se ejecutara el programa mostrando la interfaz de introducción al inicio del sistema fig. 30.

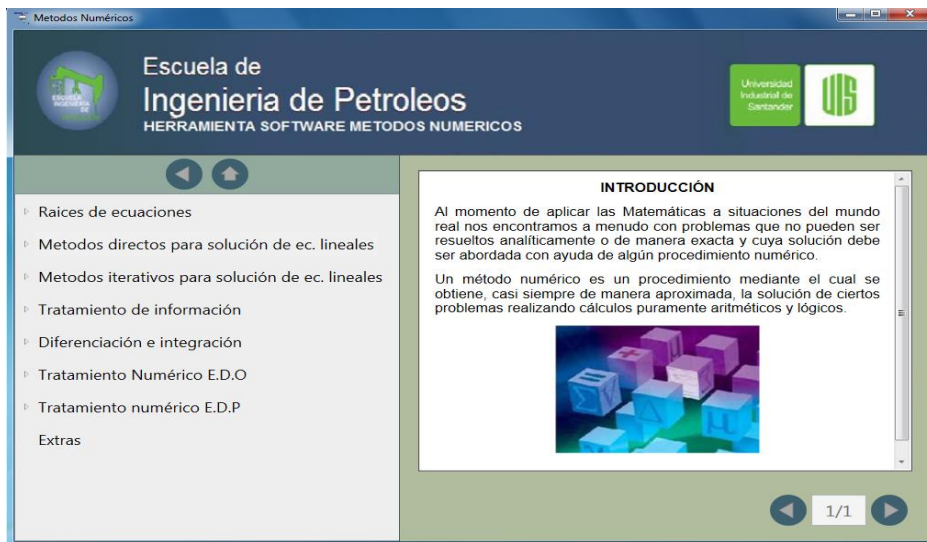
Figura 30. Interfaz de Introducción al inicio



Fuente: los Autores

Al dar clic en inicio, a continuación se dirigirá hacia la interfaz de inicio del sistema en donde se presentan las secciones principales del sistema figura 31 y se presenta una breve introducción a los procedimientos numéricos tratados por la herramienta.

Figura 31. Interfaz de Inicio Herramienta Software

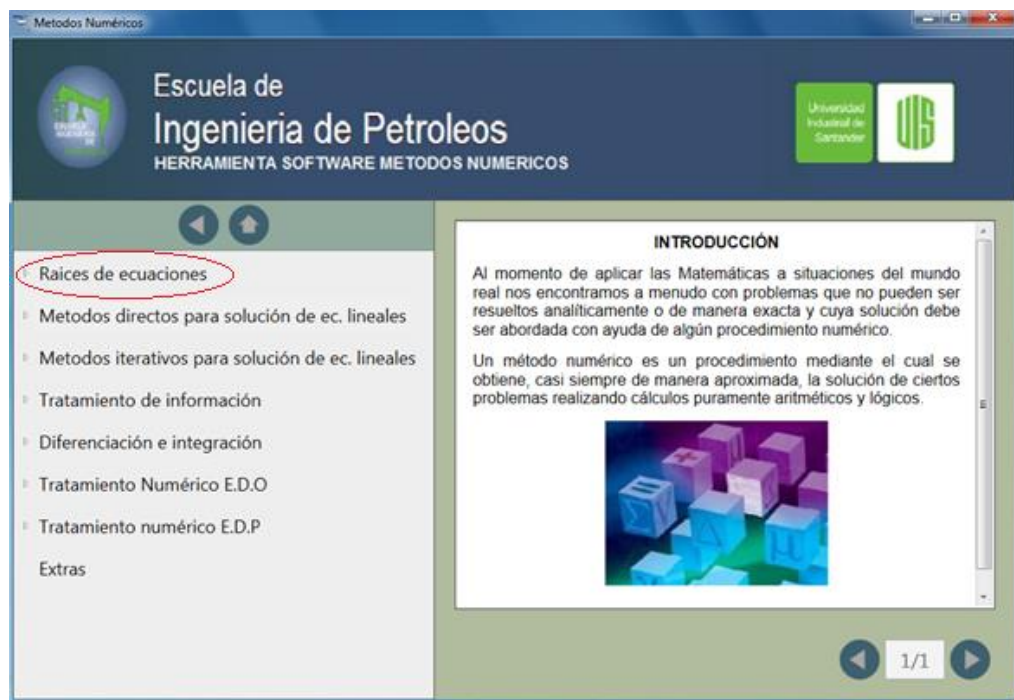


Fuente: Los Autores

En esta interfaz figura 31, es en donde se presentan los contenidos principales de la herramienta correspondientes a las diferentes tematicas que dan solucion a sus problematicas a traves de metodos numericos en ingenieria.

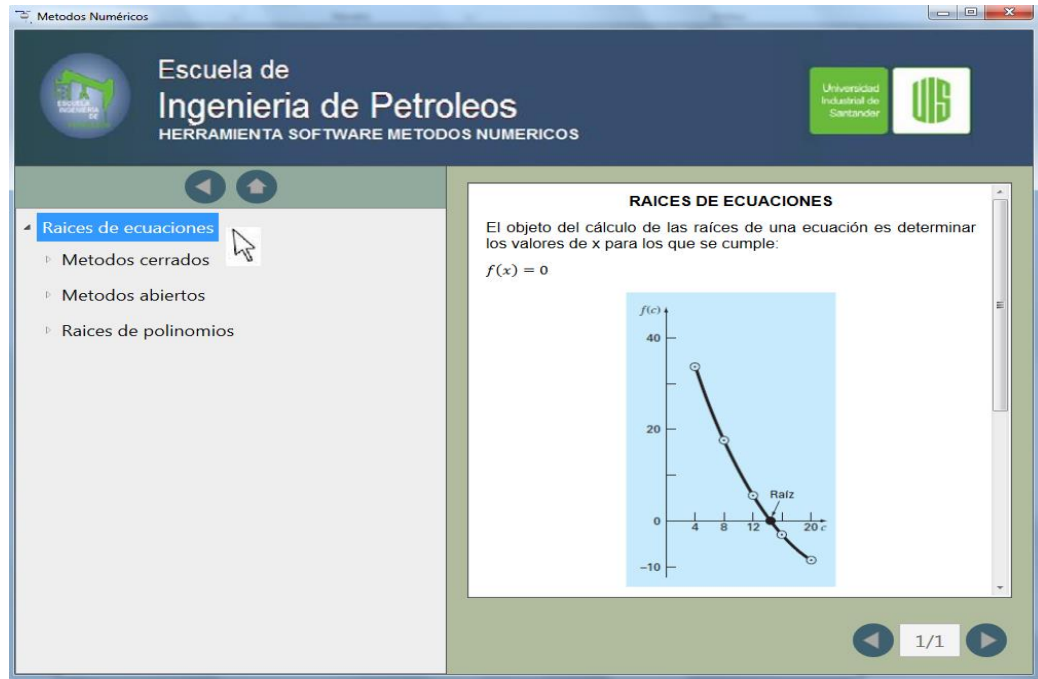
Para este caso en particular la navegacion se realizara seleccionando la primera seccion principal de la herramienta figura 32, correspondiente a la solucion de raices de ecuaciones. En donde se presenta la importancia de la determinación de las raíces de una ecuación en la ingeniería y muestra los diferentes métodos numéricos que dan solución a estas ecuaciones y que determinan estas raíces.

Figura 32. Interfaz Inicio Enfasis “Raices de ecuaciones”



Fuente: los Autores

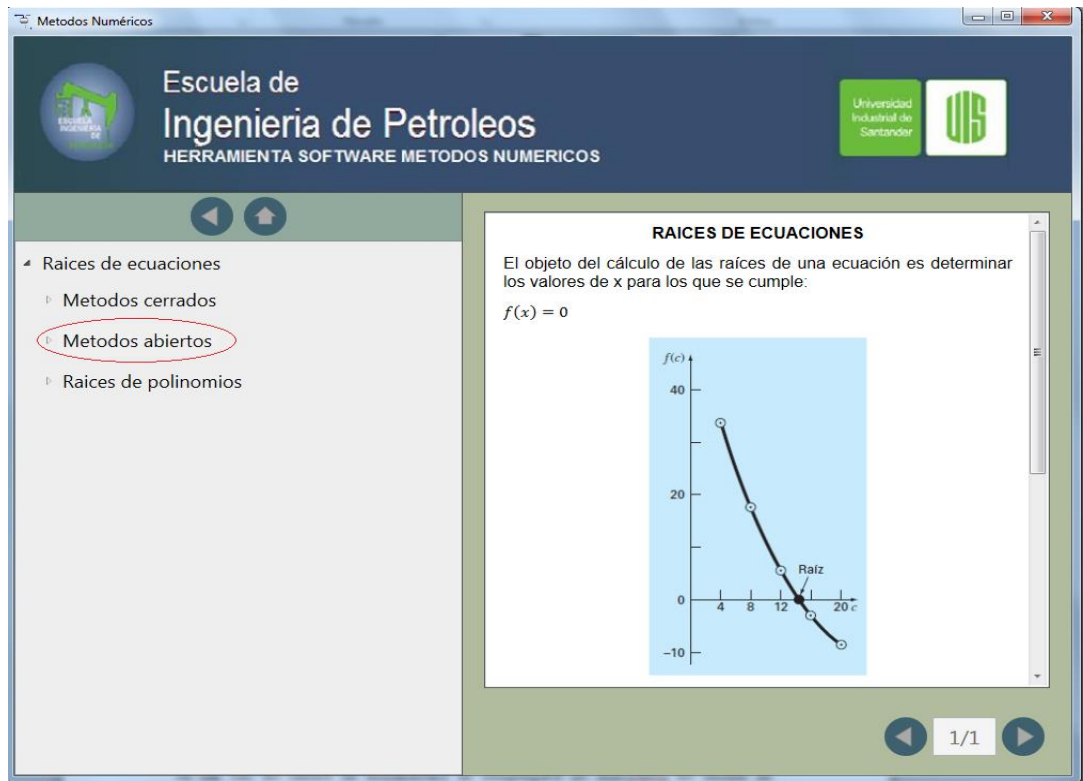
Figura 33. Interfaz Raíces de Ecuaciones



Fuente: Los Autores

Al dar clic en raíces de ecuaciones figura 33. Se desplegará un sub-menú en donde se presentan y explican tres tipos de casos, los métodos cerrados, métodos abiertos y los métodos para dar solución a las raíces de polinomios, en esta interfaz también se puede encontrar una introducción de la sección principal elegida que para este caso en particular es la de raíces de ecuaciones. Acto seguido se procederá a la inserción en los métodos abiertos a través de un clic en la misma fig. 34.

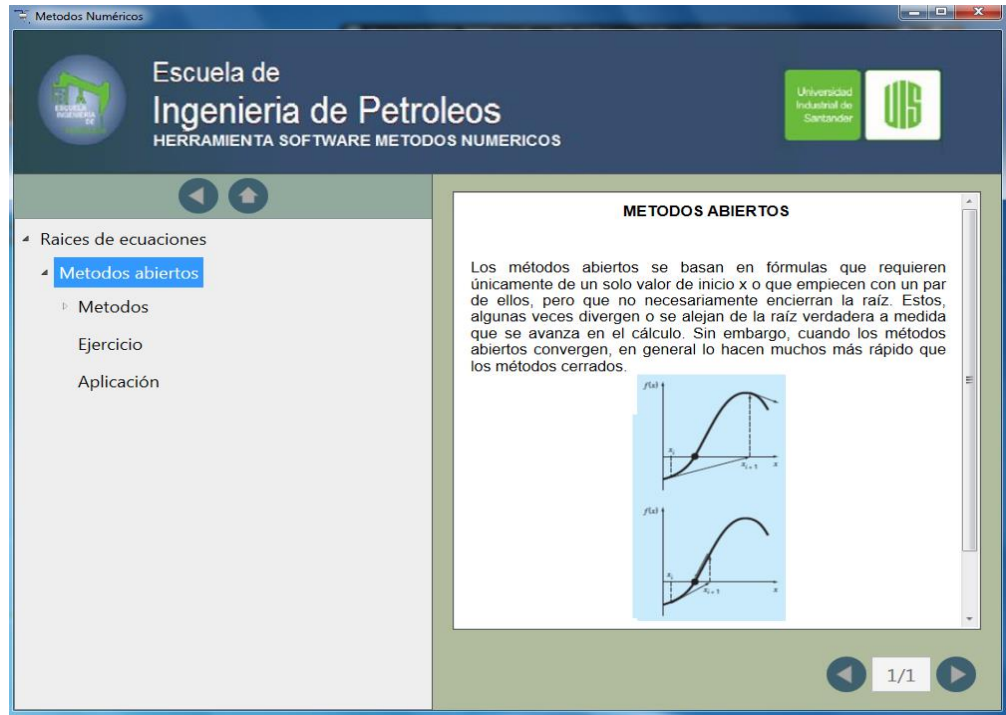
Figura 34. Interfaz Raíces de Ecuaciones Énfasis en Métodos Abiertos



Fuente: Los Autores

A continuación figura 35. Se desplegarán tres secciones secundarias descritas en secciones anteriores. Estas secciones son: métodos, ejercicio y aplicación. También se encuentra una clara y concisa definición de los métodos abiertos que es el subtema dentro de las raíces de ecuaciones.

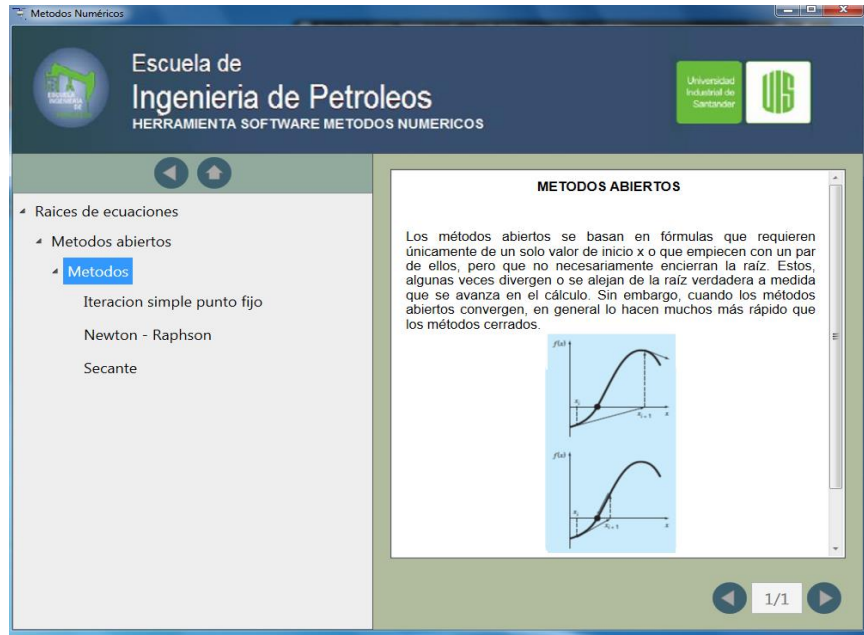
Figura 35. Interfaz Inserción en Métodos Abiertos



Fuente: Los Autores

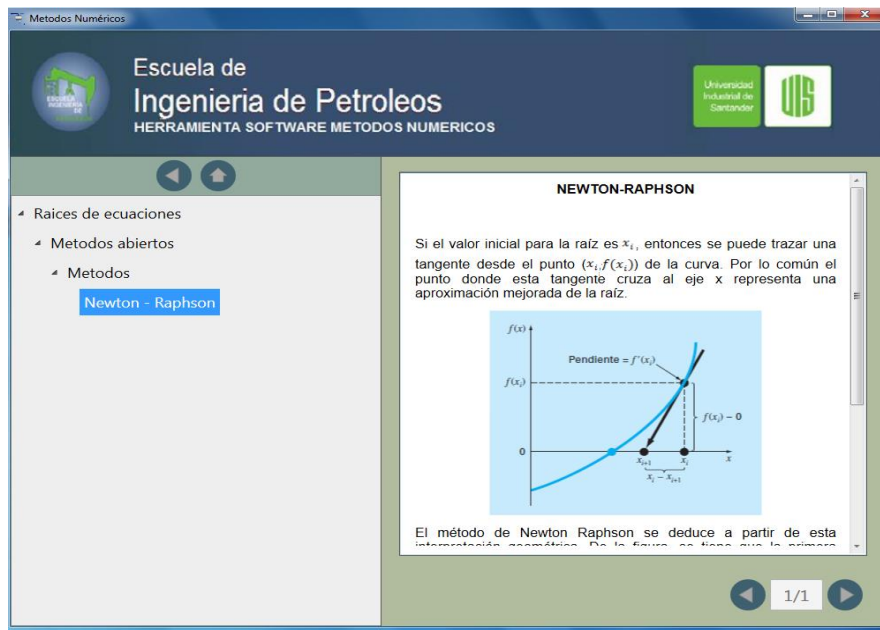
Desde esta interfaz se procederá a entrar en la sección de métodos en donde se presentan los métodos numéricos abiertos que dan solución a la determinación de las raíces de ecuaciones. Al dar clic en esta se desplegará la totalidad de los métodos para esta sección en particular figura 36. en este caso se despliegan los métodos de iteración simple de punto fijo, método de Newton-Raphson y el método de la secante, desde esta sección se podrá encontrar explicado cada método seleccionado lo que brindará al estudiante una guía de forma didáctica para estudiar cada uno de los métodos. En este caso se seleccionará el método de Newton-Raphson figura 37. en donde se puede observar en el lado derecho de la herramienta que se presenta la explicación del método. Al momento que el usuario allí navegado a través de la totalidad de los métodos de esta sección puede volver al menú de los métodos abiertos fig. 35. Desde la interfaz dando clic en el botón de comando menú anterior “BACK”.

Figura 36. Interfaz Métodos Abiertos Inserción en Métodos



Fuente: Los Autores

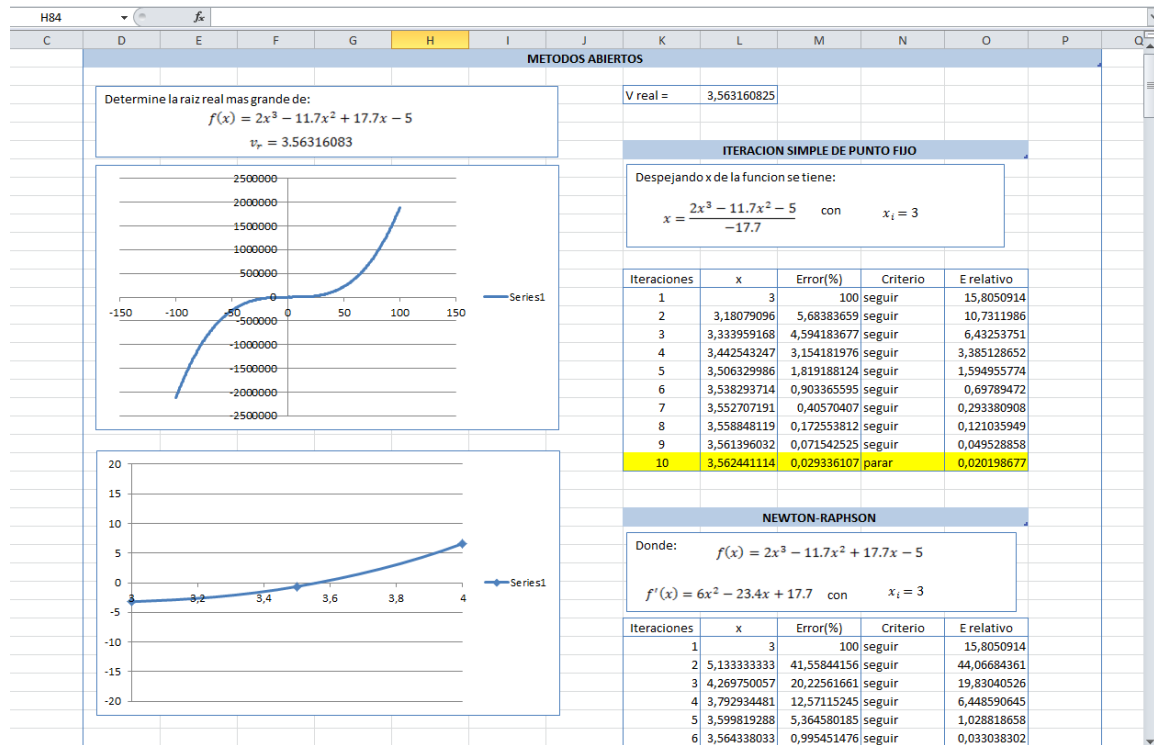
Figura 37. Interfaz Raíces de Ecuaciones Inserción en Newton-Raphson



Fuente: Los autores

Desde el menú de los métodos abiertos figura 35. Se procederá a ingresar dando clic en ejercicio en donde se encontrara un ejercicio resuelto por medio de los métodos tratados en la sección (Figuras 38 y 39).

Figura 38. Ejercicio resuelto

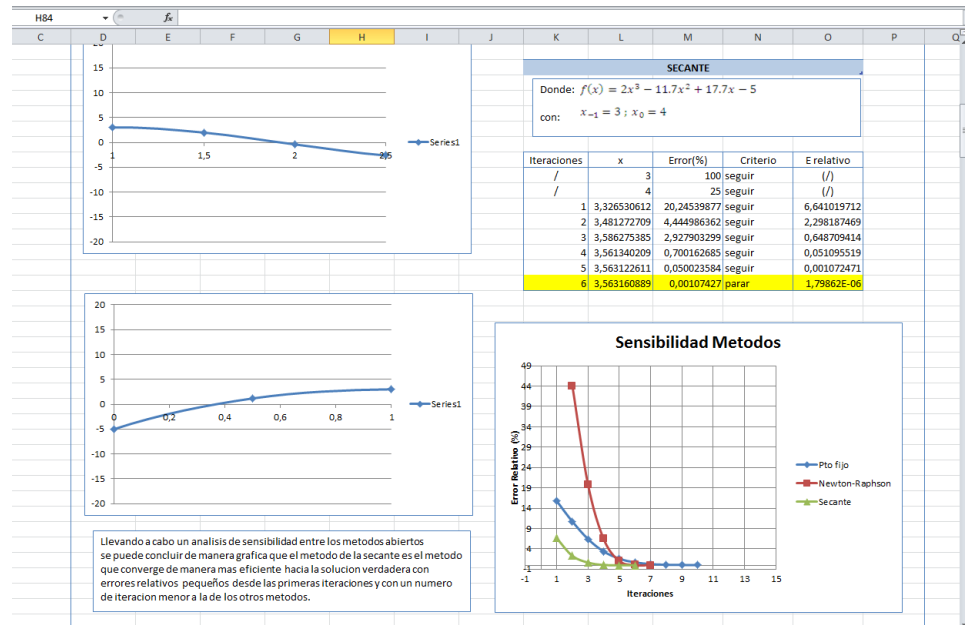


Fuente: Los Autores

En este ejercicio se puede observar graficada la función para la determinación de raíces a través de los métodos, en este caso se da solución por tres métodos: Punto fijo, Newton-Raphson, Secante. En donde el usuario puede ver el número de iteraciones, el criterio de error, la programación del método, y encontrara una sensibilidad de los métodos en donde es graficado el error relativo de cada método contra el número de iteraciones. Donde método a método se observa gráficamente como cada uno de ellos tiene un mayor o menor porcentaje de error y cómo se comportan en función del número de iteraciones. Lo que permitirá al estudiante

inferir por medio de un análisis gráfico y de resultados, la ventaja de cada uno de los métodos y cual es más o menos eficiente.

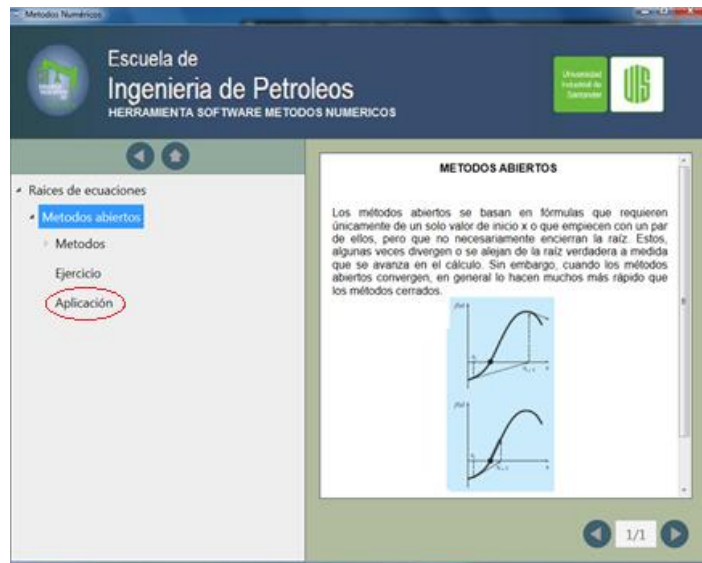
Figura 39. Ejercicio Resuelto



Fuente: Los Autores.

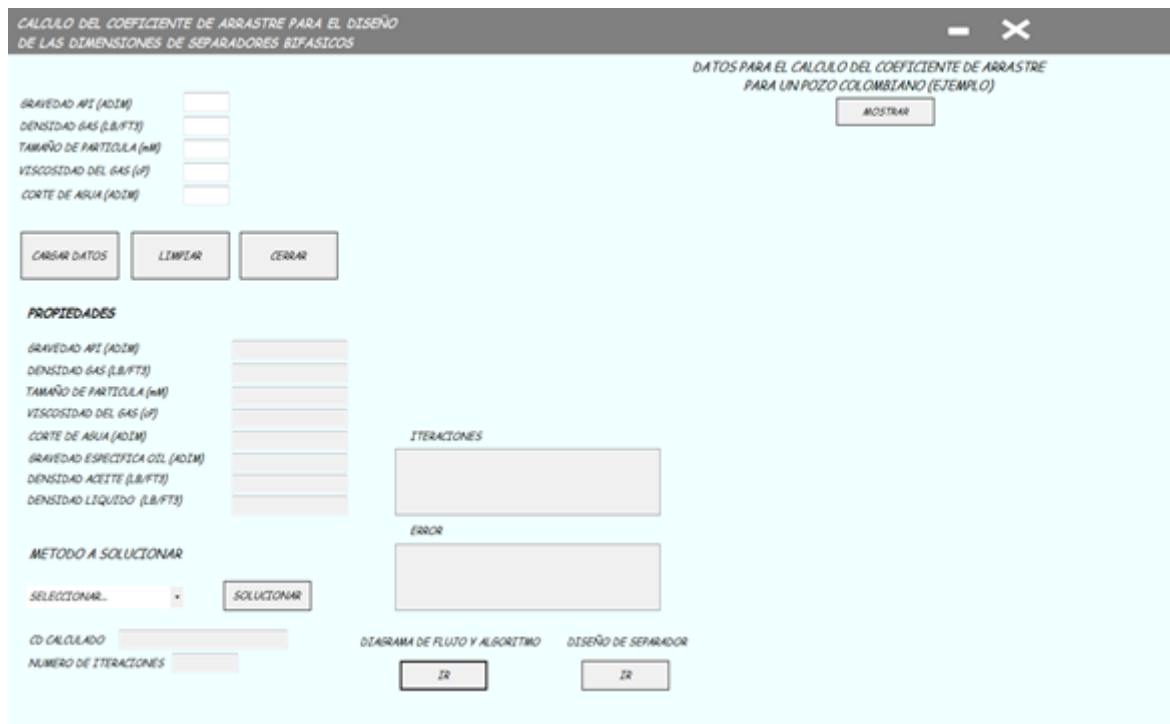
Una vez finalizada esta sección y de vuelta en la interfaz de los métodos abiertos figura 40. Se procederá a ingresar en la última sub-sección llamada aplicación. En donde se abrirá una nueva interfaz referente a la aplicación de los métodos numéricos a un problema propio de la ingeniera de petróleos figura 41.

Figura 40. Interfaz



Fuente: Los Autores.

Figura 41. Interfaz Inicial Aplicación



Fuente: Los Autores.

Los métodos de soluciones de raíces de ecuaciones, tales como los métodos abiertos, involucran una inicialización a partir de un solo valor, para lograr llegar a la solución de una manera más eficaz. El tema tratado para la solución de raíces de ecuaciones, será el cálculo del coeficiente de arrastre. El coeficiente de arrastre en un parámetro operacional para el diseño de separadores bifásico tanto vertical como horizontal, cabe mencionar que en la aplicación solo mencionaremos separadores horizontales.

La metodología para el cálculo del coeficiente de arrastre, consiste en llevar a cabo un proceso iterativo a partir de correlaciones empíricas que se han adquirido de la literatura.

Partiendo de la siguiente ecuación, que está en función del coeficiente de arrastre como única variable independiente, originalmente la ecuación se genera de ciertas ecuaciones que permiten el modelamiento de otro parámetros tales como, la velocidad de asentamiento, el número de Reynolds que al igual de estas están en función de otros parámetros que se comportan de una manera constante durante el proceso de separación , cabe mencionar que algunos casos de estos son hipotéticos, sin embargos determinan resultados que no se alejan tanto de la realidad.

$$V = 0.00119 \left[\left(\frac{\rho_l - \rho_g}{\rho_l} \right) \frac{d_m}{C_D} \right]^{0.5} \text{ (Ecuación 25)}$$

Velocidad de Asentamiento de la partícula

$$Re = 0.0049 \frac{\rho_g d_m V}{\mu_g}$$

Numero de Reynolds

$$C_D = \frac{24}{Re} + \frac{3}{RE^{0.5}} + 0.34$$

Coficiente de arrastre

Agrupando términos constantes,

$$a = 0.0019 * 0.0049 \frac{\rho_g d_m V}{\mu_g} = 0.000005831 \frac{\rho_g d_m V}{\mu_g}$$

$$b = \left(\frac{\rho_l - \rho_g}{\rho_l} \right)$$

Igualando esta ecuaciones y sustituyendo nos queda las siguiente ecuación,

$$C_D = \frac{24}{a * \left(b * \frac{d_m}{C_D} \right)^{0.5}} + \frac{3}{\left(a * \left(b * \frac{d_m}{C_D} \right)^{0.5} \right)^{0.5}} + 0.34$$

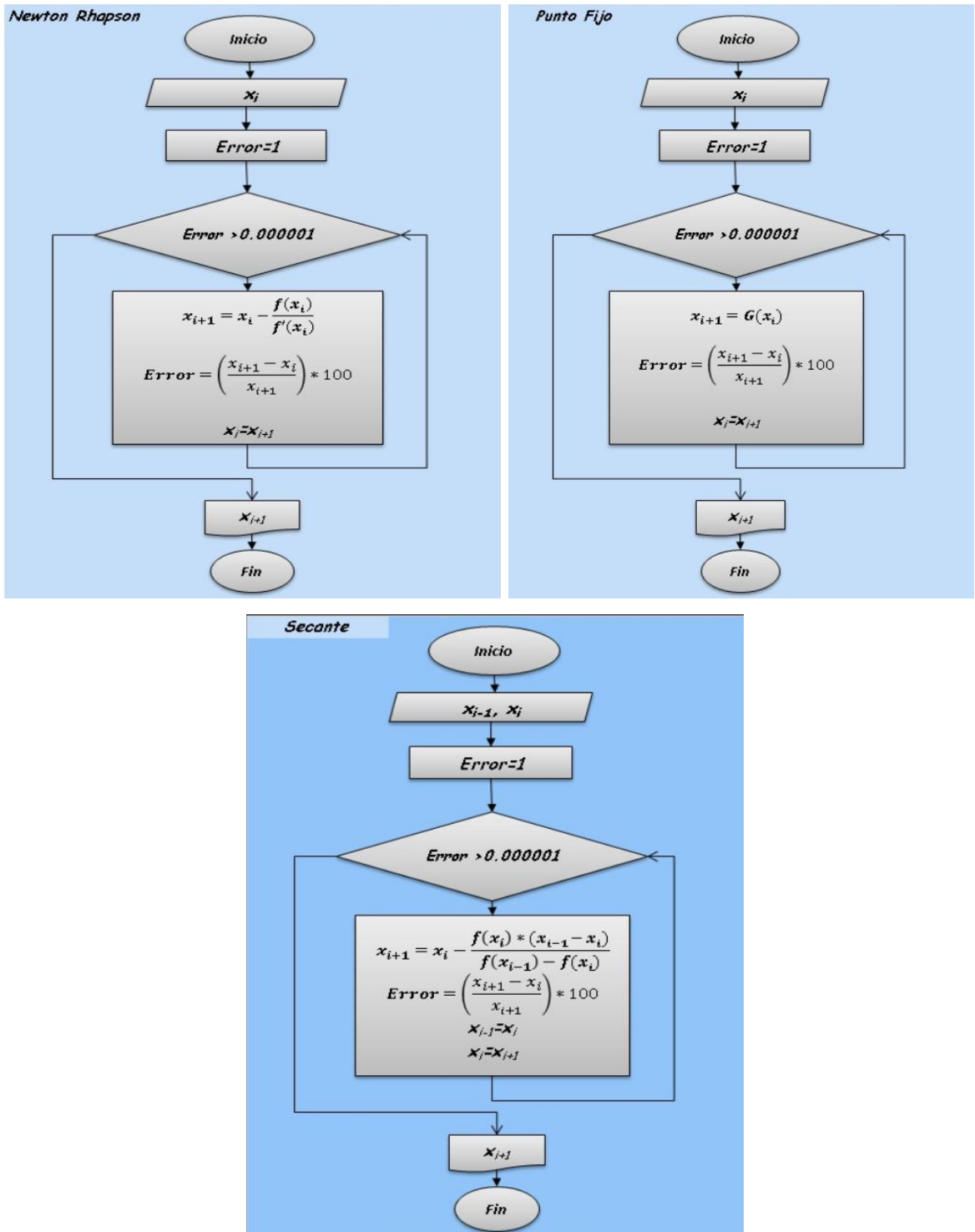
Se deja todo en función de C_D ,

$$f(C_D) = \frac{24}{a * \left(b * \frac{d_m}{C_D} \right)^{0.5}} + \frac{3}{\left(a * \left(b * \frac{d_m}{C_D} \right)^{0.5} \right)^{0.5}} + 0.34 - C_D \quad (\text{Ecuación 26})$$

Y finalmente queda la función $f(C_D)$,

La función $f(C_D)$, es resuelta por tres métodos de soluciones de raíces de ecuaciones, los cuales son Punto fijo, Secante y Newton Rhapson, y sus respectivos diagramas de flujos son:

Figura 42. Diagramas de Flujo



Fuente: Los Autores

La aplicación cuenta con tres interfaces, la primera de ellas es donde se encuentra todo lo concerniente a la determinación del Coeficiente de Arrastre, la segunda es donde se encuentra un cálculo opcional, la cual es la consecuencia de calcular el coeficiente de arrastre, ya que en ella se determina las dimensiones óptimas para el diseño de un separador horizontal, la tercera cuenta con un pequeño marco teórico del tema tratado y los diagramas de flujos de los diferentes métodos por el cual damos solución a nuestra necesidad de cálculo.

Primera interfaz

Como se había mencionado anteriormente, la primera interfaz de la aplicación, es donde determinamos el coeficiente arrastre, a partir de una información requerida por la aplicación.

Figura 43. Interfaz Inicial Aplicación

The screenshot shows the initial interface of the application. At the top, there is a title bar with the text "CALCULO DEL COEFICIENTE DE ARRASTRE PARA EL DISEÑO DE LAS DIMENSIONES DE SEPARADORES BIFASICOS" and window control icons. Below the title bar, there are two main sections:

- Input Section:** On the left, there are five input fields for "GRAVEDAD API (ADIM)", "DENSIDAD GAS (LB/FT3)", "TAMAÑO DE PARTICULA (mM)", "VISCOSIDAD DEL GAS (cP)", and "CORTE DE AGUA (ADIM)". Below these are three buttons: "CARGAR DATOS", "LIMPIAR", and "CERRAR".
- Output Section:** On the right, there is a section titled "DATOS PARA EL CALCULO DEL COEFICIENTE DE ARRASTRE PARA UN POZO COLOMBIANO (EJEMPLO)" with a "MOSTRAR" button.

Below the input section, there are several other sections:

- PROPIEDADES:** A list of property labels with corresponding input fields: "GRAVEDAD API (ADIM)", "DENSIDAD GAS (LB/FT3)", "TAMAÑO DE PARTICULA (mM)", "VISCOSIDAD DEL GAS (cP)", "CORTE DE AGUA (ADIM)", "GRAVEDAD ESPECIFICA OIL (ADIM)", "DENSIDAD ACEITE (LB/FT3)", and "DENSIDAD LIQUIDO (LB/FT3)".
- METODO A SOLUCIONAR:** A dropdown menu labeled "SELECCIONAR..." and a "SOLUCIONAR" button.
- ITERACIONES:** A large empty rectangular box.
- ERROR:** Another large empty rectangular box.
- DIAGRAMA DE FLUJO Y ALGORITMO:** A section with a "DIAGRAMA DE FLUJO Y ALGORITMO" label and an "IR" button.
- DISEÑO DE SEPARADOR:** A section with a "DISEÑO DE SEPARADOR" label and an "IR" button.

At the bottom left, there are two more input fields: "CD CALCULADO" and "NUMERO DE ITERACIONES".

Fuente: Los Autores

Como se puede observar en la figura anterior, inicialmente se solicitan unas propiedades del fluido y parámetros operaciones, con el fin de que a partir de estos se realice el cálculo del coeficiente de arrastre, a continuación describimos cada comando de la aplicación.

Propiedades requeridas

Figura 44. Propiedades Requeridas

The image shows a light blue rectangular form with five input fields stacked vertically. Each field is preceded by a label in italics: 'GRAVEDAD API (ADIM)', 'DENSIDAD GAS (LB/FT3)', 'TAMAÑO DE PARTICULA (mM)', 'VISCOSIDAD DEL GAS (cP)', and 'CORTE DE AGUA (ADIM)'. Below these fields are three rectangular buttons arranged horizontally, labeled 'CARGAR DATOS', 'LIMPIAR', and 'CERRAR'.

Fuente: Los Autores

Gravedad API

GRAVEDAD API (ADIM)

Me indica la calidad del aceite en una medida determinada que está en función de la densidad del aceite.

Densidad del gas

DENSIDAD GAS (LB/FT3)

Relación de la masa con el volumen del gas que estaba disuelto en el petróleo.

Tamaño de partícula

TAMAÑO DE PARTICULA (mM)

Tamaño promedio de la partícula de líquido suspendida en el gas en micrones.

Viscosidad del gas

VISCOSIDAD DEL GAS (cP)

Viscosidad del gas que se separa en el separador en Centipoise.

Corte de agua

CORTE DE AGUA (ADIM)

Fracción que me indica que cantidad de agua hay presente en los líquidos de producción.

Calculo de propiedades

Figura 45. Interfaz cálculo de propiedades

PROPIEDADES

GRAVEDAD API (ADIM)

DENSIDAD GAS (LB/FT3)

TAMAÑO DE PARTICULA (mm)

VISCOSIDAD DEL GAS (cP)

CORTE DE AGUA (ADIM)

GRAVEDAD ESPECIFICA OIL (ADIM)

DENSIDAD ACEITE (LB/FT3)

DENSIDAD LIQUIDO (LB/FT3)

METODO A SOLUCIONAR

SELECCIONAR...

CD CALCULADO

NUMERO DE ITERACIONES

Fuente: Los Autores

Parte de la herramienta que está ubicada en la parte inferior izquierda, en la cual se calculan algunas propiedades a partir de los datos requeridos y se muestran las propiedades antes requeridas.

No obstante existe un comando en el cual, al dar el evento clic nos carga algunas propiedades por defecto que se pueden utilizar sirviendo como ejemplo de uso de la herramienta y dando como un estimativo desde que valores oscilan estas propiedades.

Figura 46. Interfaz datos

*DATOS PARA EL CALCULO DEL COEFICIENTE DE ARRASTRE
PARA UN POZO COLOMBIANO (EJEMPLO)*

*GRAVEDAD API : 25
DENSIDAD DEL GAS =3.58 LB/FT3
TAMAÑO DE PARTICULA = 100 mM
VISCOSIDAD DEL GAS = 0.015 cP
CORTE DE AGUA= 0.23
TEMPERATURA=520 R
PRESION=1000 PSIA
FACTOR DE COMPRESIBILIDAD= 0.87
CAUDAL DE GAS = 20 MMSCFD
CAUDAL DE LIQUIDO=12000 BPOD
TIEMPO DE RETENCION=3 MIN*

*CARGAR ESTOS
DATOS*

*SALIR DEL
RECUADRO*

Fuente: Los Autores

Ya luego de tener las propiedades cargadas, tenemos un desplegable donde podemos seleccionar el método por el cual se va a solucionar nuestro problema numérico,

Figura 47. Interfaz aplicación

The screenshot displays the application's input interface, divided into two main sections: 'PROPIEDADES' and 'METODO A SOLUCIONAR'. The 'PROPIEDADES' section contains eight rows of input fields, each with a label and a numerical value. The 'METODO A SOLUCIONAR' section features a dropdown menu currently showing 'SELECCIONAR...', a 'SOLUCIONAR' button, and a list of four solution methods: 'PUNTO FIJO', 'SECANTE', 'NEWTON RAPHSON', and 'NUMERO DE ITERACIONES'. The 'SECANTE' method is currently selected in the dropdown.

| PROPIEDADES | |
|--------------------------------|-------------------|
| GRAVEDAD API (ADIM) | 25 |
| DENSIDAD GAS (LB/FT3) | 3.58 |
| TAMAÑO DE PARTICULA (mm) | 100 |
| VISCOSIDAD DEL GAS (cP) | 0.015 |
| CORTE DE AGUA (ADIM) | 0.23 |
| GRAVEDAD ESPECIFICA OIL (ADIM) | 0.904153354632588 |
| DENSIDAD ACEITE (LB/FT3) | 56.3649201277955 |
| DENSIDAD LIQUIDO (LB/FT3) | 57.7391884984026 |

| METODO A SOLUCIONAR | |
|----------------------------|------------|
| SELECCIONAR... | SOLUCIONAR |
| PUNTO FIJO | |
| SECANTE | |
| NEWTON RAPHSON | |
| NUMERO DE ITERACIONES | |

Fuente: Los Autores

Datos arrojados por la aplicación

El principal dato a tener en cuenta es nuestro coeficiente de arrastre, ya que es de vital importancia para el cálculo de las dimensiones óptimas del separador, cabe mencionar que de igual forma la aplicación nos muestra cómo va variando el coeficiente de arrastre en cada iteración y de igual forma los hace con el error relativo, también muestra el número de iteraciones que hace para cada método seleccionado.

Figura 48. Interfaz resultado

PROPIEDADES

| | |
|--|-------------------|
| GRAVEDAD API (ADIM) | 25 |
| DENSIDAD GAS (LB/FT ³) | 3.58 |
| TAMAÑO DE PARTICULA (mM) | 100 |
| VISCOSIDAD DEL GAS (cP) | 0.015 |
| CORTE DE AGUA (ADIM) | 0.23 |
| GRAVEDAD ESPECIFICA OIL (ADIM) | 0.904153354632588 |
| DENSIDAD ACEITE (LB/FT ³) | 56.3649201277955 |
| DENSIDAD LIQUIDO (LB/FT ³) | 57.7391884984026 |

METODO A SOLUCIONAR

NEWTON RAPHSON

CD CALCULADO

NUMERO DE ITERACIONES

ITERACIONES

Itereacion 1
1.2562059285685652

Itereacion 2
1.2718188319320416

ERROR

Error Relativo 1
20.395217276239844

Error Relativo 2
1.2276043546043896

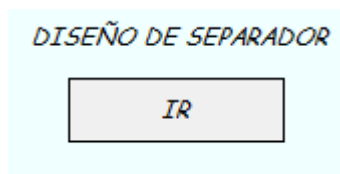
DIAGRAMA DE FLUJO Y ALGORITMO

DISEÑO DE SEPARADOR

Fuente: Los Autores

Segunda interfaz

La manera de llegar a la segunda interfaz es realizando el evento clic, en el comando “DISEÑO DE SEPARADOR”,



De inmediateamente este nos llevará a la segunda interfaz, la cual consta de algunas propiedades requeridas para calcular la capacidad del líquido y la capacidad del gas, las cuales son las máximas capacidades en volumen y área respectivamente que pueden tener estas fases.

Estas propiedades como se muestra en la figura anterior tienen unas respectivas unidades para estos cálculos. La aplicación desarrolla una tabla, la cual calcula algunos parámetros de diseño que están ligados a la relación de esbeltez, término en el cual representa el mejor ajuste y su valores óptimos van desde 3 hasta 4, siendo el más cercano a tres el más óptimo de todos.

Figura 51. Interfaz aplicación separadores

LONGITUD PARA CADA DIAMETRO DEL SEPARADOR BIFASICO

| Diametro (in) | Gas leff (ft) | Liquido leff (ft) | Cordones de soldadura (ft) | Longitud separador (ft) | Relacion Esbeltez |
|---------------|---------------|-------------------|----------------------------|-------------------------|-------------------|
| 16 | 6.8911722... | 200.892857142... | 200.892857142857 | 201 | 150.669642857143 |
| 20 | 5.5129378... | 128.5714285714... | 128.571428571429 | 129 | 77.1428571428572 |
| 24 | 4.5941148... | 89.2857142857... | 89.2857142857143 | 90 | 44.6428571428571 |
| 30 | 3.6752918... | 57.1428571428... | 57.1428571428572 | 58 | 22.8571428571429 |
| 36 | 3.062743... | 39.6825396825... | 39.6825396825397 | 40 | 13.2275132275132 |
| 42 | 2.625208... | 29.1545189504... | 29.1545189504373 | 30 | 8.32986255726781 |
| 48 | 2.297057... | 22.3214285714... | 22.3214285714286 | 23 | 5.58035714285714 |
| 54 | 2.0418288... | 17.636684303351 | 17.636684303351 | 18 | 3.91926317852244 |
| 60 | 1.8376459... | 14.28571428571... | 14.2857142857143 | 15 | 2.85714285714286 |
| 72 | 1.5313716... | 9.92063492063... | 9.92063492063492 | 10 | 1.65343915343915 |
| 84 | 1.3126042... | 7.28862973760... | 7.28862973760933 | 8 | 1.04123281965848 |

Fuente: Los Autores

Figura 52. Dimensiones Óptimas

DIMENSIONES OPTIMAS PARA EL DISEÑO DEL SEPARADOR BIFASICO HORIZONTAL

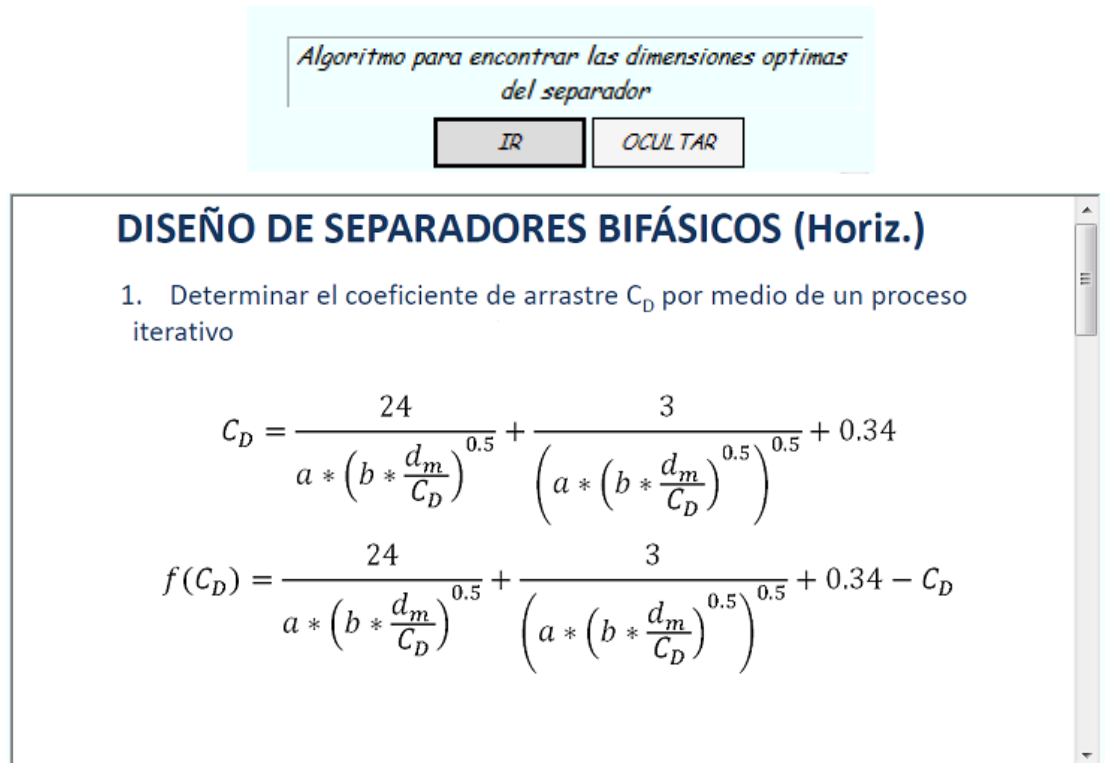
DIMENSIONES OPTIMAS -->> 54 in x 18 ft

Fuente: Los Autores

Como se observa la aplicación determina las dimensiones óptimas de diseño del separador.

Por último se muestra un comando que lleva a ver el algoritmo utilizado para el cálculo de las dimensiones óptimas.

Figura 53. Interfaz final aplicación



The screenshot shows a software interface with a light blue header box containing the text "Algoritmo para encontrar las dimensiones óptimas del separador" and two buttons labeled "IR" and "OCULTAR". Below this is a white box with a dark blue title "DISEÑO DE SEPARADORES BIFÁSICOS (Horiz.)". The main content of the white box is a numbered list item: "1. Determinar el coeficiente de arrastre C_D por medio de un proceso iterativo". Below the list item are two mathematical equations. The first equation is
$$C_D = \frac{24}{a * \left(b * \frac{d_m}{C_D}\right)^{0.5}} + \frac{3}{\left(a * \left(b * \frac{d_m}{C_D}\right)^{0.5}\right)^{0.5}} + 0.34$$
 and the second equation is
$$f(C_D) = \frac{24}{a * \left(b * \frac{d_m}{C_D}\right)^{0.5}} + \frac{3}{\left(a * \left(b * \frac{d_m}{C_D}\right)^{0.5}\right)^{0.5}} + 0.34 - C_D$$

Fuente: Los Autores

Figura 54. Interfaz de Resultados Aplicación

CALCULO DE LAS DIMENSIONES DE UN SEPARADOR BIFASICO HORIZONTAL

TEMPERATURA DE OPERACION (R)

PRESION DE OPERACION (PSIA)

FACTOR COMPRESIBILIDAD DEL GAS (Z)

CAUDAL DEL GAS (MMSCFD)

CAUDAL DEL LIQUIDO (BPD)

TIEMPO DE RETENCION DEL LIQUIDO (MIN)

CAPACIDAD AL GAS 110.29879606

CAPACIDAD AL LIQUIDO 51428.571428

DIMENSIONES OPTIMAS PARA EL DISEÑO DEL SEPARADOR BIFASICO HORIZONTAL

DIMENSIONES OPTIMAS --> 54 in x 18 ft

Algoritmo para encontrar las dimensiones o del separador

DISEÑO DE SEPARADORES BIFÁSICOS (Horiz.)


1. Determinar el coeficiente de arrastre C_D por medio de un proceso iterativo

$$C_D = \frac{24}{a * \left(b * \frac{d_m}{C_D}\right)^{0.5}} + \frac{3}{\left(a * \left(b * \frac{d_m}{C_D}\right)^{0.5}\right)^{0.5}} + 0.34$$

$$f(C_D) = \frac{24}{a * \left(b * \frac{d_m}{C_D}\right)^{0.5}} + \frac{3}{\left(a * \left(b * \frac{d_m}{C_D}\right)^{0.5}\right)^{0.5}} + 0.34 - C_D$$

LONGITUD PARA CADA DIAMETRO DEL SEPARADOR BIFASICO

| Diametro (in) | Gas leff (ft) | Liquido leff (ft) | Cordones de soldadura (ft) | Longitud separador (ft) | Relacion Esbeltez |
|---------------|---------------|-------------------|----------------------------|-------------------------|-------------------|
| 16 | 6.8911722... | 200.892857142... | 200.892857142857 | 201 | 150.669642857143 |
| 20 | 5.5129378... | 128.5714285714... | 128.571428571429 | 129 | 77.1428571428572 |
| 24 | 4.5941148... | 89.2857142857... | 89.2857142857143 | 90 | 44.6428571428571 |
| 30 | 3.6752918... | 57.1428571428... | 57.1428571428572 | 58 | 22.8571428571429 |
| 36 | 3.062743... | 39.6825396825... | 39.6825396825397 | 40 | 13.2275132275132 |
| 42 | 2.625208... | 29.1545189504... | 29.1545189504373 | 30 | 8.32986255726781 |
| 48 | 2.297057... | 22.3214285714... | 22.3214285714286 | 23 | 5.58035714285714 |
| 54 | 2.0418288... | 17.636684303351 | 17.636684303351 | 18 | 3.91926317852244 |
| 60 | 1.8376459... | 14.28571428571... | 14.2857142857143 | 15 | 2.85714285714286 |
| 72 | 1.5313716... | 9.92063492063... | 9.92063492063492 | 10 | 1.65343915343915 |
| 84 | 1.3126042... | 7.28862973760... | 7.28862973760933 | 8 | 1.04123281965648 |



Fuente: Los Autores

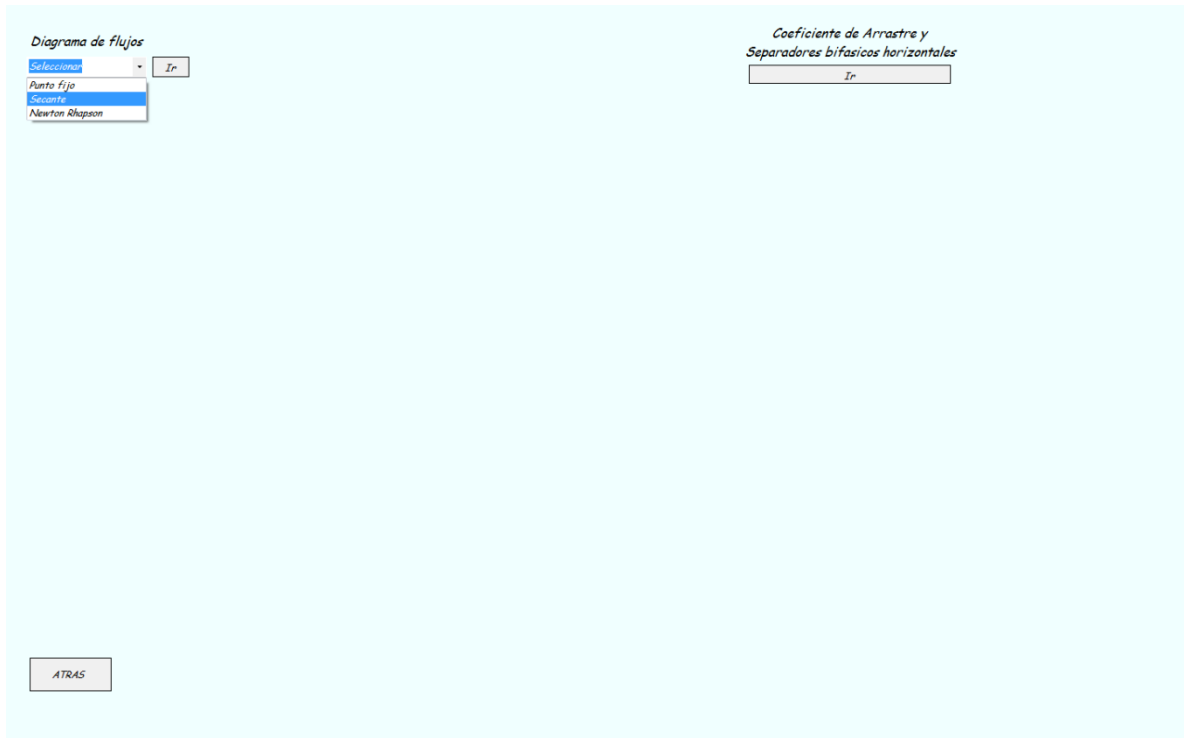
Tercera interfaz

Para llegar a la tercera interfaz se da clic en el botón “diagramas de flujo y algoritmos” ubicado en la parte inferior central.

DIAGRAMA DE FLUJO Y ALGORITMO

Y este no llevara a la siguiente interfaz,

Figura 55. Interfaz diagrama de flujo y teoría



Fuente: Los Autores

En esta parte de la aplicación se muestran los diagramas de flujo de los métodos usados para la aplicación y un pequeño marco teórico del tema tratado en esta.

Figura 56. Interfaz desplegada

Newton Rhapson

```

graph TD
    Inicio([Inicio]) --> xj[xj]
    xj --> Error1[Error=1]
    Error1 --> ErrorGT{Error > 0.000001}
    ErrorGT -- Sí --> Loop[
        x_{i+1} = x_i - f(x_i) / f'(x_i)
        Error = ((x_{i+1} - x_i) / x_{i+1}) * 100
        x_i = x_{i+1}
    ]
    Loop --> ErrorGT
    ErrorGT -- No --> xi1[x_{i+1}]
    xi1 --> Fin([Fin])
    Fin --> Volver1[Volver]
    
```

COEFICIENTE DE ARRASTRE

En dinámica de fluidos, el coeficiente de arrastre (comúnmente denotado como: C_d , C_x o C_w) es una cantidad adimensional que se usa para cuantificar el arrastre o resistencia de un objeto en un medio fluido como el aire o el agua. Es utilizado en la ecuación de arrastre, en donde un coeficiente de arrastre bajo indica que el objeto tendrá menos arrastre aerodinámico o hidrodinámico. El coeficiente de arrastre está siempre asociado con una superficie particular.

El coeficiente de arrastre de cualquier objeto comprende los efectos de dos contribuciones básicas al arrastre dinámico del fluido: el arrastre de forma y la fricción de superficie. El coeficiente de arrastre de un perfil aerodinámico o hidrodinámico incluye también los efectos de la resistencia inducida. El coeficiente de arrastre de una estructura completa como una aeronave incluye también los efectos del arrastre de interferencia.

En ingeniería de petróleos el coeficiente de arrastre es un parámetro operacional para el diseño de separadores bifásicos y trifásico, en cual se basa en el comportamiento físico que tiene las distintas fases de los fluidos presentes, en la cual este es un indicador que puede cuantificar el número de partículas de determinado tamaño que pueden ser removidas por efectos de la gravedad y la turbulencia que provoca el cuerpo del separador.

| Componentes del Separador: | Fenómenos: |
|----------------------------|--------------|
| 1. Entrada de los fluidos | a) Expansión |
| 2. Salida de líquidos | b) Agitación |

[Volver](#)

Fuente: Los Autores

6. CONCLUSIONES

- La herramienta multimedia está acorde con los lineamientos de la asignatura de métodos numéricos en ingeniería y presenta como menú principal los contenidos de la asignatura, organizados de una forma didáctica y de fácil acceso.
- La herramienta cuenta con aplicaciones de los métodos numéricos a la ingeniería de petróleos lo que podría permitir al usuario comprender y aplicar los contenidos de la asignatura
- La interfaz de la herramienta fue diseñada para ser de fácil navegabilidad a través de los contenidos. Esto contribuye significativamente en la asimilación y la comprensión de los contenidos de la asignatura.
- La herramienta podría servir de apoyo en el aprendizaje de la asignatura, brindándole al estudiante un instrumento autodidacta que le permita acceder a los diferentes contenidos.
- El uso de la herramienta en el aula de clase podría apoyar al docente en el proceso de enseñanza.
- A través del desarrollo de este proyecto los autores pudieron profundizar no solo en los métodos numéricos sino también en otras áreas pertenecientes a la ingeniería de petróleos y los lenguajes de programación.

7. RECOMENDACIONES

- La herramienta desarrollada, aplicada a la asignatura de Métodos numéricos en ingeniería no puede ser tomada por el usuario como única fuente de aprendizaje si no como herramienta apoyo del contenido de la misma. Siendo de vital importancia el acompañamiento del docente cualificado.
- Una posterior versión de la herramienta podría pensarse para ser instalada bajo ambiente web o en una plataforma de aprendizaje virtual de distribución libre.
- Es importante que se continúen desarrollando aplicaciones de los métodos numéricos en ingeniería de petróleos, con el fin de extender y complementar la herramienta software convirtiéndola cada vez más en un aliado del estudiante y el docente en el proceso de aprendizaje.

BIBLIOGRAFIA

ARNOLD. Ken. STEWART. Maurice. Surface Production Operation. Design Of Oil Handling Systems and Facilities. Volume One. Third Edition. Burlington: Gulf Professional Publishing. 2008. 747p.

BÁNZER, Carlos. Correlaciones Numéricas P.V.T. Maracaibo: Edición Preliminar. 1996. 150p.

B.C. Craft. M.F Hawkins. Applied Petroleum Reservoir Engineering. Primera Edición. Madrid: Tecnos. 1968. 268p.

BIDNER. Mirtha Susana. Propiedades de la Roca y los Fluidos en Reservorios de Petróleo. Primera Edición. Buenos Aires: Editorial Universidad de Buenos Aires. 2001. 237p.

CHAPRA. Steven C. CANALE, Raymond P. Métodos Numéricos Para Ingenieros. Quinta edición. México: McGraw-Hill/INTERAMERICANA EDITORES. 2007. 1001p.

COMISIÓN DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS. Comunicación de la comisión al consejo y al parlamento europeo. Tecnologías de la información y de la comunicación en el ámbito del desarrollo. El papel de las TIC en la política comunitaria de desarrollo. Bruselas, 14.12.2001

McCAIN. William. The Properties Of Petroleum Fluids. Second Edition. Tulsa Oklahoma: Penwell Publishing Company. 1990. 534p.

MAGALLANES. Lourdes. Ecuaciones de Estado. Ica, 2010. Universidad Nacional "San Luis Gonzaga". Facultad Ingeniería Química. 68p.

MONTES. Erik Giovany. Facilidades de Superficie. Diseño de Separadores Horizontales. Bucaramanga: 2013. 41p.

MUÑOZ. Samuel Fernando. Propiedades de los Fluidos en los Yacimientos Petrolíferos. Bucaramanga: Febrero 1993. 318p.

OLIVEROS. Luis. Simulación Numérica de Yacimientos. Ecuaciones Diferenciales. Bucaramanga: 2012. 16p.

PALMA. Jorge. Pérdidas de Calor Durante la Inyección de Vapor. Bucaramanga: 2012. 74p.

PARIS DE FERRER. Magdalena. Fundamentos de Ingeniería de Yacimientos. Primera Edición. Maracaibo: Ediciones Astro Data S.A. 1984. 547p.

ROSARIO, Jimmy. "La Tecnología de la Información y la Comunicación (TIC). Su uso como Herramienta para el Fortalecimiento y el Desarrollo de la Educación Virtual". [en línea]. {08 Abril de 2014} disponible en: (<http://archivo/articulo.php?art=218>).

TRAMULLAZ SAZ, Jesús. Arquitectura de la Información. [en línea]. {10 Abril de 2014} disponible en: (<http://www.sedic.es/clip39.pdf>).

ANEXOS

Anexo A. Manual de usuario

MANUAL DEL USUARIO DE LA HERRAMIENTA SOFTWARE

MÉTODOS NÚMERICOS EN INGENIERÍA

**ALVARO ENRIQUE PUENTE BARROS
CHRISTIAN CAMILO SAENZ LIZARAZO**

**ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETROLEOS
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO-QUIMICAS
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

2015

DESCRIPCIÓN DE LA HERRAMIENTA SOFTWARE

GENERALIDADES DEL PROGRAMA

El software diseñado es una herramienta con énfasis académico dirigido a los estudiantes de ingeniería de petróleos de VI nivel, para apoyar el aprendizaje de la asignatura de métodos numéricos. La herramienta cuenta con una serie de contenidos teóricos de la asignatura concernientes a los métodos numéricos así como contenidos aplicativos que buscan emplear los diferentes métodos numéricos para resolver problemas propios de la ingeniería de petróleos. En la herramienta el estudiante puede recurrir también a los ejercicios resueltos propuestos para una mejor comprensión de la asignatura.

La función principal del programa es brindar al estudiante un apoyo en el aprendizaje de la asignatura mediante un ambiente virtual, brindándole herramientas para la comprensión de cada uno de los métodos numéricos a nivel conceptual, y por medio de las aplicaciones desarrolladas por los autores los estudiantes encontraran la aplicación a cada una de las temáticas de la asignatura enfocadas a temas propios de la ingeniería de petróleos.

Esta herramienta con énfasis académico pretende afianzar el conocimiento de la asignatura de métodos numéricos en ingeniería, convirtiéndose en un material de apoyo de estudio para el estudiante y como apoyo en el proceso de enseñanza del docente.

Descripción y Requerimientos para la operación y el uso de la herramienta:

la herramienta fue desarrollada haciendo uso de Microsoft Visual Studio 2013, la codificación se encuentra disponible para que pueda ser estudiada libremente, al trabajar con este programa se genera un archivo ejecutable de Windows denominado setup.exe, también conocido como el arranque, este es el responsable de instalar requisitos previos antes de ejecutar la aplicación. Con el objetivo de llevar a cabo un adecuado manejo de la herramienta y un exitoso proceso de instalación,

se enunciarán una serie de requerimientos y recomendaciones necesarias para el correcto uso de la herramienta.

Para implementar de una forma correcta la aplicación, se deben implementar todos los componentes a los que esta hace referencia, las aplicaciones creadas a través de Visual Studio dependen de .Net Framework, En el equipo debe estar presente la versión correspondiente de Common Language Runtime antes de instalar la aplicación.

INICIACIÓN DEL PROGRAMA

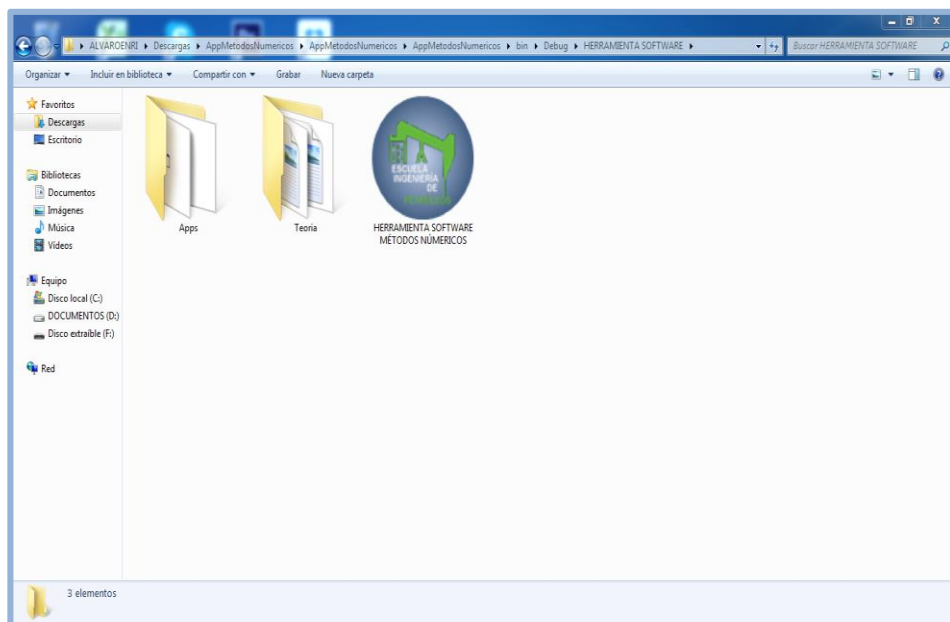


Fig. 1. Software de Escritorio



Fig. 2. Inicio de la Herramienta Software

Al iniciar la herramienta software, encontramos la primera interfaz (Figura.2) la cual nos da dos posibilidades, entrar o salir de la herramienta software.

Cuando ejecutamos la opción “INICIO” nos lleva directamente a la interfaz de ejecución de la herramienta (Figura.3) y la opción “SALIR” nos cierra la aplicación.

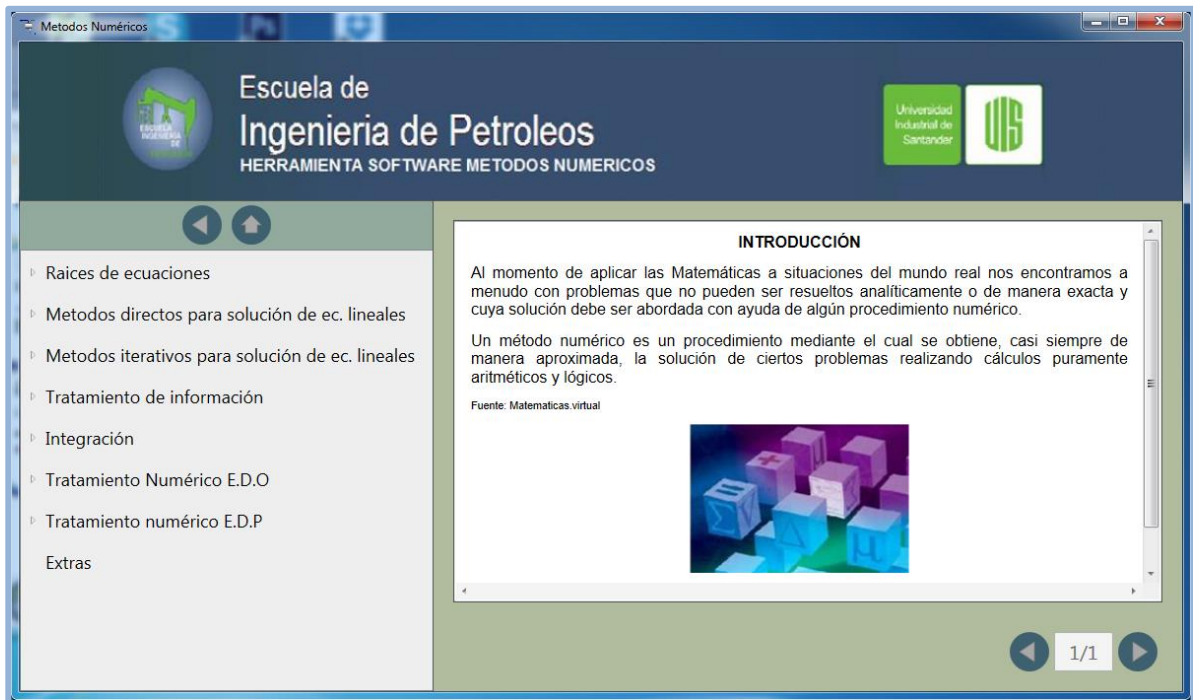


Fig. 3. Interfaz Principal de la Herramienta

Ya cuando estamos en la interfaz de ejecución de la herramienta software podemos ver que en la parte izquierda de la pantalla hay un menú en cual nos da para escoger el método a estudiar (figura. 4), de igual forma cada métodos tiene un submenú distintivo con sus respectivos temas y propiedades, y en la parte derecha aparece una pequeña introducción referente hacia los métodos numéricos (figura. 5).

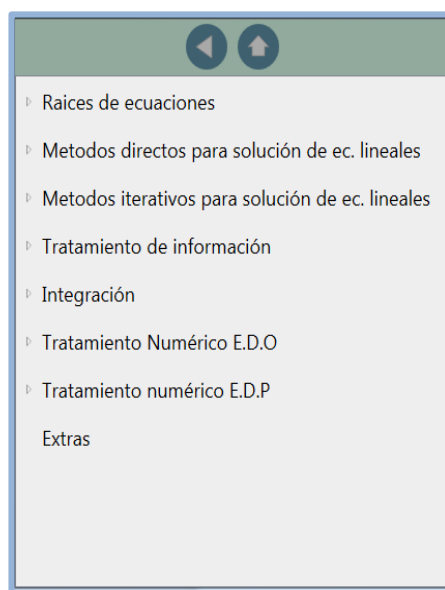


Fig. 4. Menú Principal

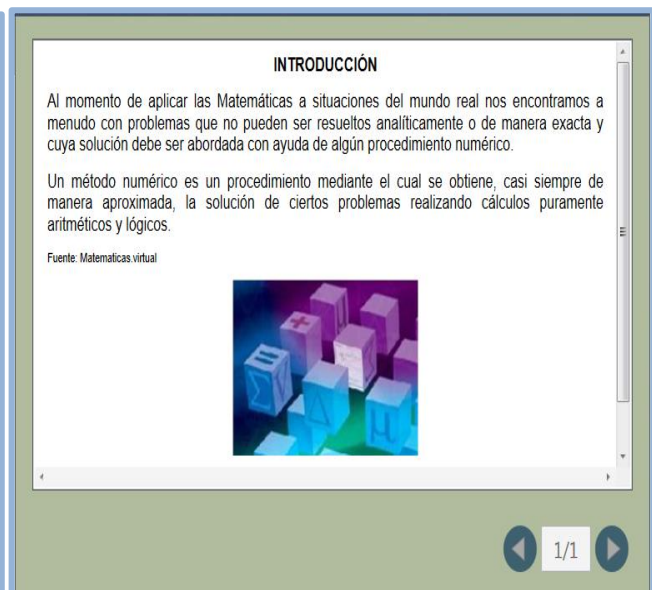


Fig. 5. Interfaz de Texto

VISTA GENERAL DE LA HERRAMIENTA SOFTWARE

Botón Menú Principal

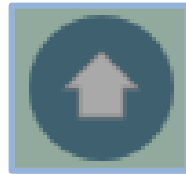


Fig. 6. Botón Menú Principal

Este botón al dar Click da el comando para regresar nuevamente al menú.

Botón Atrás



Fig. 7. Botón Atrás

Este botón al dar Click retorna al submenú anterior.

Raíces de ecuaciones

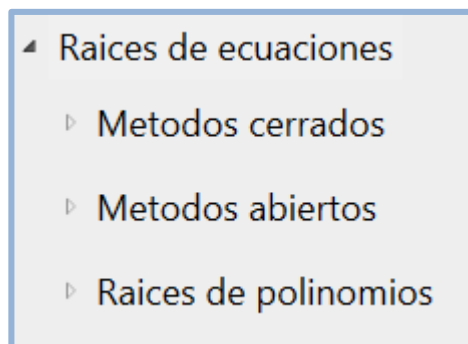


Fig. 8. Submenú Raíces de ecuaciones

Al dar Click al comando “Raíces de ecuaciones” se despliega un sub menú en cual visibiliza los temas para este submenú.

Métodos cerrados

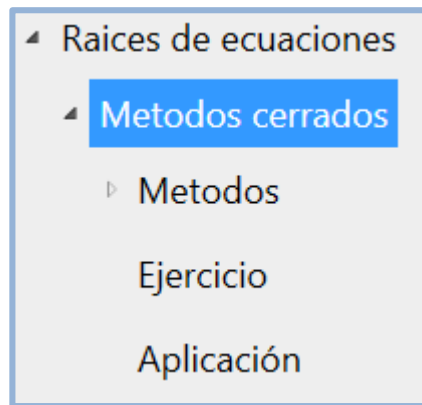


Fig. 9. Métodos cerrados

Al dar Click al comando “Métodos cerrados” se despliega los ítems para el desarrollo de este tema.

Aplicación Métodos Cerrados (Simulador de flasheo de una corriente de crudo)

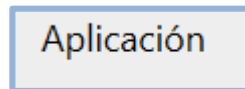
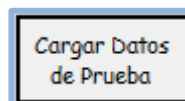


Fig. 10. Comando para ir a aplicación

Al dar Click al comando “Aplicación” nos lleva a la aplicación de dicho tema.

Cargar datos de prueba



| COMPUESTO | Composición | K |
|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Metano-C1 | <input type="text" value="0.8345"/> | <input type="text" value="3.09"/> |
| Etano-C2 | <input type="text" value="0.0381"/> | <input type="text" value="0.72"/> |
| Propano-C3 | <input type="text" value="0.0163"/> | <input type="text" value="0.39"/> |
| i-Butano-iC4 | <input type="text" value="0.005"/> | <input type="text" value="0.21"/> |
| n-Butano-nC4 | <input type="text" value="0.0074"/> | <input type="text" value="0.175"/> |
| i-Pentano-iC5 | <input type="text" value="0.0287"/> | <input type="text" value="0.093"/> |
| n-Pentano-nC5 | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| n-Hexano-C6 | <input type="text" value="0.022"/> | <input type="text" value="0.065"/> |
| Heptano Plus-C7+ | <input type="text" value="0.0434"/> | <input type="text" value="0.036"/> |
| Dioxido de Carbono-CO2 | <input type="text" value="0.0046"/> | <input type="text" value="0.0046"/> |
| Sulfuro de Hidrogeno-H2S | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| Agua-H2O | <input type="text"/> | <input type="text"/> |

Sumatoria Zi

Fig. 11. Comandos para ingresar composición de entrada

Nos carga datos por defectos con el fin de que sirva como ejemplo para tener una composición para el flasheo.

Seleccionar componentes

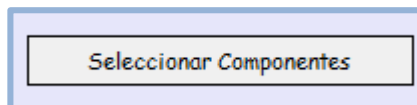


Fig. 12. Comando que me lleva a la interfaz de selección de componentes

O se puede seleccionar los elementos o compuesto que desee y digitar la respectiva composición de cada compuesto.

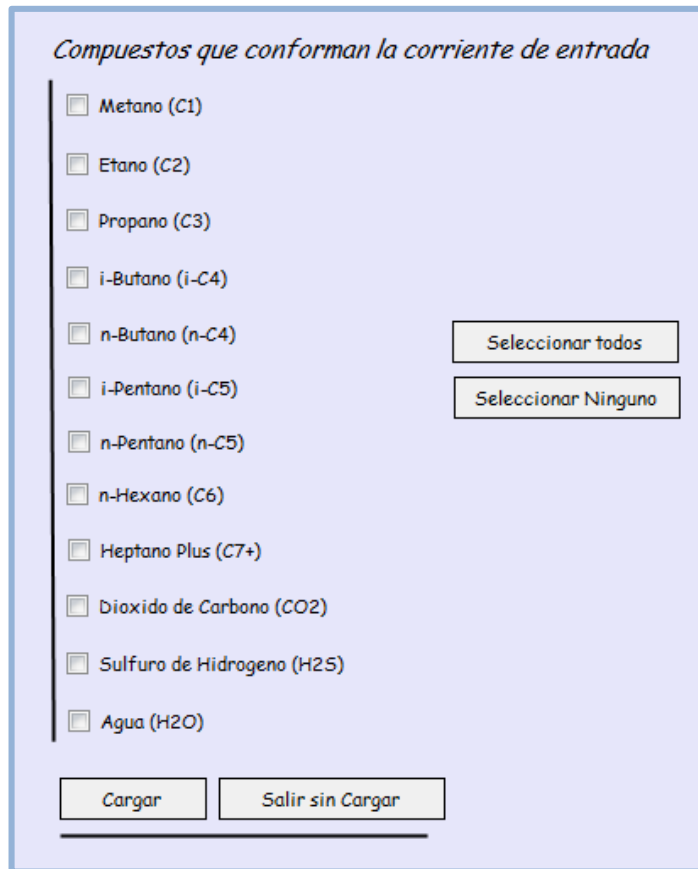


Fig. 13. Interfaz de selección de componentes

Dar click en cargar con el fin de seleccionar los compuestos que van en la corriente de entrada.

Métodos a resolver

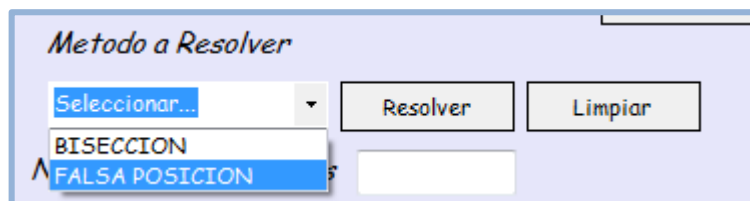


Fig. 14. Comando combobox para seleccionar método

Este grupo de comando me permite escoger el método a utilizar para realizar la simulación. Después de seleccionar el método en el Combo box, dar click en resolver para ejecutar la simulación.

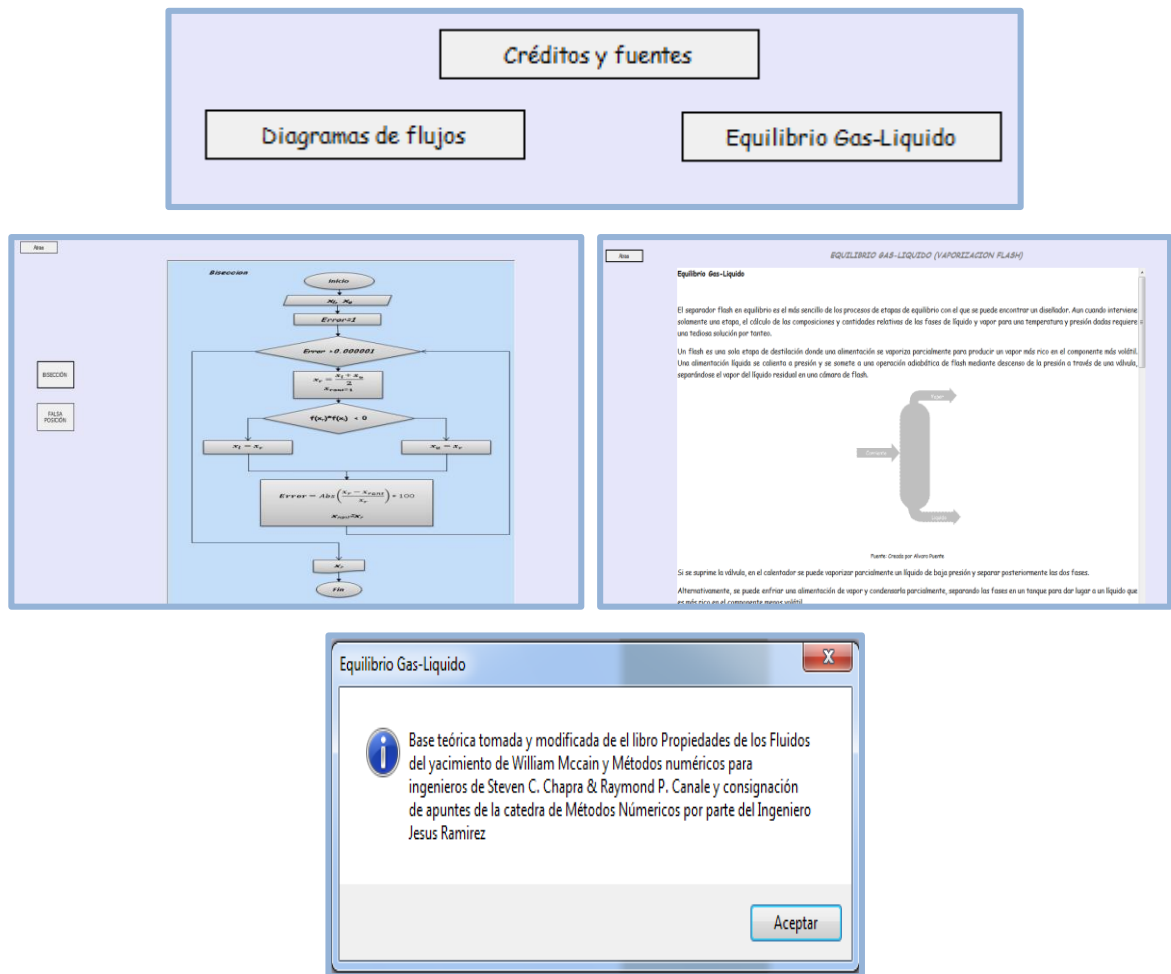


Fig. 15. Interfaces complementarias de la aplicación

Botones para acceder a diagramas de flujos, referencias y marco teórico.

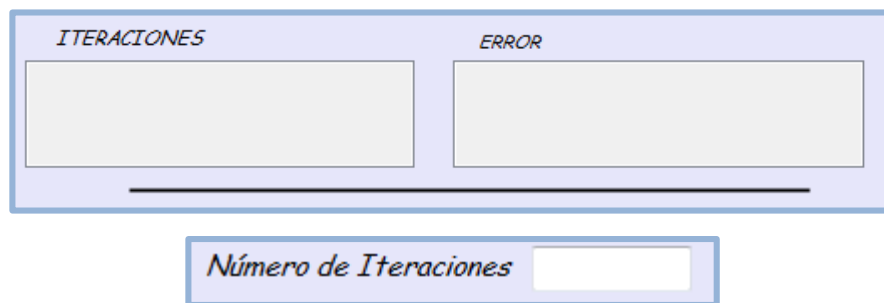


Fig. 16. Comando de salidas de datos para el número de iteraciones
Cuadros informativos del número de iteraciones que se dan en la simulación del flasheo en el separador.

Resultados

| VAPOR (y_i) | | LIQUIDO (x_i) | |
|--------------------------|---------------------|--------------------------|---------------------|
| Metano-C1 | 0.903758846471667 | Metano-C1 | 0.292478591091154 |
| Etano-C2 | 0.0364920991423964 | Etano-C2 | 0.0506834710311061 |
| Propano-C3 | 0.0138462405453714 | Propano-C3 | 0.0355031808855677 |
| i-Butano-iC4 | 0.00380574913008052 | i-Butano-iC4 | 0.0166940434765739 |
| n-Butano-nC4 | 0.00482356604145307 | n-Butano-nC4 | 0.027563234522589 |
| i-Pentano-iC5 | 0.0136342545998472 | i-Pentano-iC5 | 0.1466048881704 |
| n-Pentano-nC5 | 0 | n-Pentano-nC5 | 0 |
| n-Hexano-C6 | 0.00836566919073956 | n-Hexano-C6 | 0.128702602934455 |
| Heptano Plus-C7+ | 0.0107586670290877 | Heptano Plus-C7+ | 0.298851861919104 |
| Dióxido de Carbono-CO2 | 0.00481490784932683 | Dióxido de Carbono-CO2 | 0.00291812596928899 |
| Sulfuro de Hidrogeno-H2S | 0 | Sulfuro de Hidrogeno-H2S | 0 |
| Agua-H2O | 0 | Agua-H2O | 0 |
| Sumatoria y_i | 1 | Sumatoria x_i | 1 |

| Propiedades Calculadas | |
|-----------------------------|---------------|
| Caudal Corriente (Lbmol/hr) | 1500 |
| Caudal Vapor (Lbmol/hr) | 1330.04805276 |
| Caudal Líquido (Lbmol/hr) | 169.951947233 |
| Fracción Líquido (Adim) | 0.11330129815 |
| Fracción Vapor (Adim) | 0.88669870184 |
| Presión (psia) | 1200 |
| Temperatura ($^{\circ}$ F) | 150 |

Fig. 17. Comandos de salidas de datos de la simulación

En este conjunto de cuadros de textos se albergaran los resultados de la simulación del flasheo en cual se dará la composición tanto de vapor como de líquido, y sus respectivos caudales de vapor y de líquido con sus fracciones.

Métodos abiertos

| |
|------------------------|
| ▾ Raíces de ecuaciones |
| ▾ Métodos abiertos |
| ▸ Métodos |
| Ejercicio |
| Aplicación |

Fig. 18. Métodos abiertos

Al dar Click al comando “Métodos Abiertos” se despliega los ítems para el desarrollo de este tema.

Aplicación Métodos Abiertos (Calculo del coeficiente de arrastre para el diseño de separadores bifásicos horizontales)

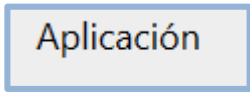


Fig. 19. Comando para ir a aplicación

Al dar Click al comando “Aplicación” nos lleva a la aplicación de dicho tema.

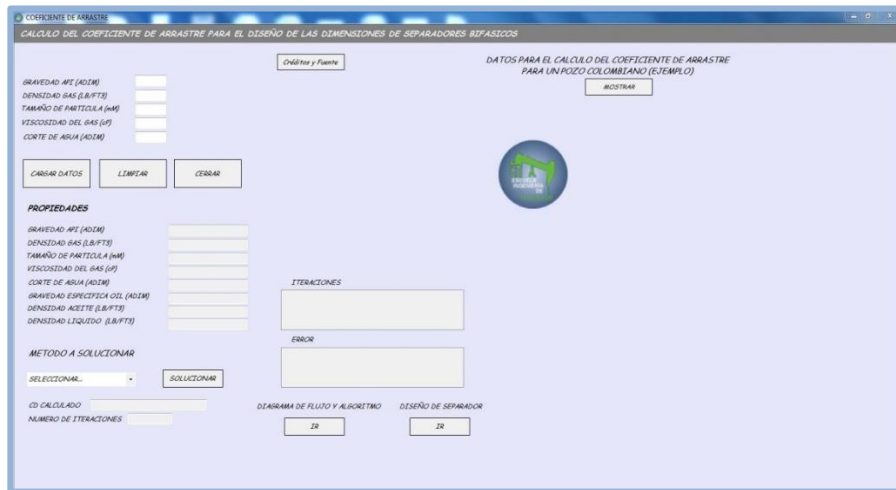


Fig. 20. Interfaz principal de la aplicación

Esta es la interfaz principal de dicha aplicación en cual por medio de cálculo de raíces de ecuaciones por métodos abiertos encontraremos el coeficiente de arrastre para el diseño de separadores bifásicos horizontales.

Datos de entrada

GRAVEDAD API (ADIM)

DENSIDAD GAS (LB/FT3)

TAMAÑO DE PARTICULA (mM)

VISCOSIDAD DEL GAS (cP)

CORTE DE AGUA (ADIM)

CARGAR DATOS LIMPIAR CERRAR

En los textbox de la figura se encuentran los parámetros de entrada principales para poder realizar el cálculo del coeficiente de arrastre (C_d). Una vez ingresados estos valores se debe dar click en el botón “CARGAR DATOS” acto seguido se cargaran dichas propiedades a la aplicación. El botón “Limpiar” sirve para borrar cualquier dato que se encuentre en los textbox.

PROPIEDADES

GRAVEDAD API (ADIM)

DENSIDAD GAS (LB/FT3)

TAMAÑO DE PARTICULA (mM)

VISCOSIDAD DEL GAS (cP)

CORTE DE AGUA (ADIM)

GRAVEDAD ESPECIFICA OIL (ADIM)

DENSIDAD ACEITE (LB/FT3)

DENSIDAD LIQUIDO (LB/FT3)

Fig. 22. Propiedades

Luego de haber cargado los datos inmediatamente la aplicación calcula algunos parámetros que son relevantes para el cálculo de coeficiente de arrastre.

METODO A SOLUCIONAR

SELECCIONAR...

CD CALCULADO

NUMERO DE ITERACIONES

METODO A SOLUCIONAR

PUNTO FIJO
SECANTE
NEWTON RAPHSON

ITERACIONES

ERROR

Fig. 23. Método a solucionar e iteraciones

Grupo de comandos para escoger el método por el cual se van a realizar los cálculos y textbox para almacenar las soluciones de dichos métodos y así también el número de iteraciones para llegar a la solución.

*DATOS PARA EL CALCULO DEL COEFICIENTE DE ARRASTRE
PARA UN POZO COLOMBIANO (EJEMPLO)*

MOSTRAR

*GRAVEDAD API : 25
DENSIDAD DEL GAS = 3.58 LB/FT3
TAMAÑO DE PARTICULA = 100 mM
VISCOSIDAD DEL GAS = 0.015 cP
CORTE DE AGUA= 0.23
TEMPERATURA=520 R
PRESION=1000 PSIA
FACTOR DE COMPRESIBILIDAD= 0.87
CAUDAL DE GAS = 20 MMSCFD
CAUDAL DE LIQUIDO=12000 BPOD
TIEMPO DE RETENCION=3 MIN*

CARGAR ESTOS DATOS

SALIR DEL RECUADRO

Fig. 24. Datos de caso aplicado

Este grupo de comandos me permite cargar un caso aplicado con las propiedades del fluido de un pozo petrolero en Colombia.

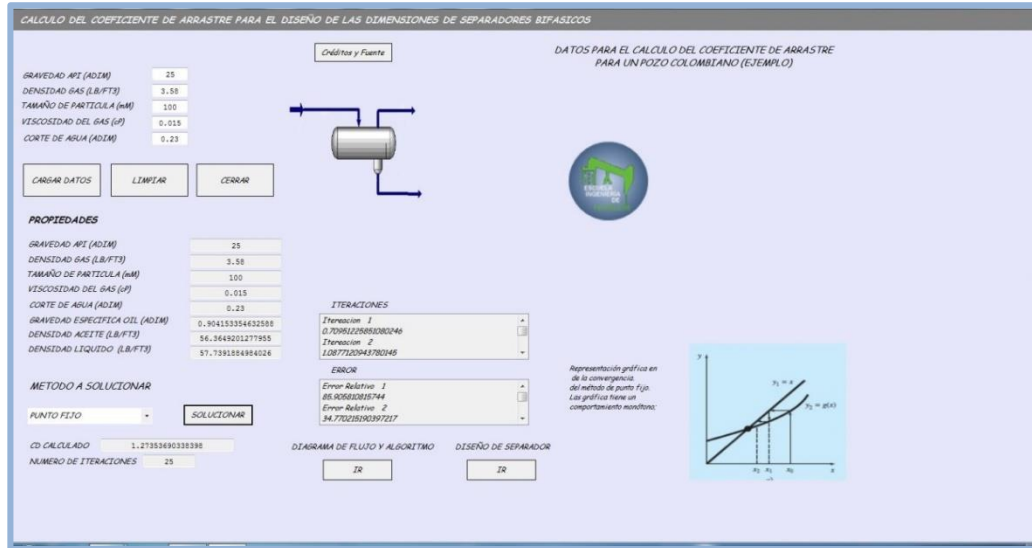


Fig. 25. Interfaz con los cálculos realizados del coeficiente de arranque

Interfaz con los cálculos realizados del coeficiente de arranque.

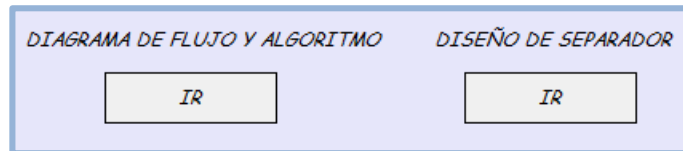


Fig. 26. Diagramas de flujos y teoría base

Comandos en el cual al dar click me llevan a los diagramas de flujos y a una aplicación que me permite calcular las dimensiones óptimas de una separador bifásico horizontal previamente habiendo calculado el coeficiente de arrastre.

Al dar click en el comando de “CARGAR DATOS POR DEFECTO” se cargarán datos en los datos de entrada.

DIMENSIONES OPTIMAS PARA EL DISEÑO DEL SEPARADOR BIFASICO HORIZONTAL

DIMENSIONES OPTIMAS -->> 54 in x 18 ft

LONGITUD PARA CADA DIAMETRO DEL SEPARADOR BIFASICO

| Diametro (in) | Gas leff (ft) | Liquido leff (ft) | Cordones de soldadura (ft) | Longitud separador (ft) | Relacion Esbeltez |
|---------------|---------------|-------------------|----------------------------|-------------------------|-------------------|
| 16 | 6.8911722... | 200.892857142... | 200.892857142857 | 201 | 150.669642857143 |
| 20 | 5.5129378... | 128.5714285714... | 128.571428571429 | 129 | 77.1428571428572 |
| 24 | 4.5941148... | 89.2857142857... | 89.2857142857143 | 90 | 44.6428571428571 |
| 30 | 3.6752918... | 57.1428571428... | 57.1428571428572 | 58 | 22.8571428571429 |
| 36 | 3.062743... | 39.6825396825... | 39.6825396825397 | 40 | 13.2275132275132 |
| 42 | 2.625208... | 29.1545189504... | 29.1545189504373 | 30 | 8.32986255726781 |
| 48 | 2.297057... | 22.3214285714... | 22.3214285714286 | 23 | 5.58035714285714 |
| 54 | 2.0418288... | 17.636684303351 | 17.636684303351 | 18 | 3.91926317852244 |

Fig. 30. Comandos de salida de datos

Resultados de la aplicación opcional con las dimensiones optimas y todas las dimensiones para los diferentes diámetros.

CALCULO DE LAS DIMENSIONES DE UN SEPARADOR BIFASICO HORIZONTAL

TEMPERATURA DE OPERACION (R)

PRESTION DE OPERACION (PSIA)

FACTOR COMPRESIBILIDAD DEL GAS (Z)

CAUDAL DEL GAS (MMSCFD)

CAUDAL DEL LIQUIDO (BPD)

TIEMPO DE RETENCION DEL LIQUIDO (MIN)

CAPACIDAD AL GAS: 110.25875606

CAPACIDAD AL LIQUIDO: 51428.571428

DIMENSIONES OPTIMAS PARA EL DISEÑO DEL SEPARADOR BIFASICO HORIZONTAL

DIMENSIONES OPTIMAS -->> 54 in x 18 ft

Algoritmo para encontrar las dimensiones optimas del separador

DISEÑO DE SEPARADORES BIFÁSICOS (Horiz.)

1. Determinar el coeficiente de arrastre C_D por medio de un proceso iterativo

$$C_D = \frac{24}{a * (b * \frac{d_m}{C_D})^{0.5}} + \frac{3}{(a * (b * \frac{d_m}{C_D})^{0.5})^{0.5}} + 0.34$$

$$f(C_D) = \frac{24}{a * (b * \frac{d_m}{C_D})^{0.5}} + \frac{3}{(a * (b * \frac{d_m}{C_D})^{0.5})^{0.5}} + 0.34 - C_D$$

LONGITUD PARA CADA DIAMETRO DEL SEPARADOR BIFASICO

| Diametro (in) | Gas leff (ft) | Liquido leff (ft) | Cordones de soldadura (ft) | Longitud separador (ft) | Relacion Esbeltez |
|---------------|---------------|-------------------|----------------------------|-------------------------|-------------------|
| 16 | 6.8911722... | 200.892857142... | 200.892857142857 | 201 | 150.669642857143 |
| 20 | 5.5129378... | 128.5714285714... | 128.571428571429 | 129 | 77.1428571428572 |
| 24 | 4.5941148... | 89.2857142857... | 89.2857142857143 | 90 | 44.6428571428571 |
| 30 | 3.6752918... | 57.1428571428... | 57.1428571428572 | 58 | 22.8571428571429 |
| 36 | 3.062743... | 39.6825396825... | 39.6825396825397 | 40 | 13.2275132275132 |
| 42 | 2.625208... | 29.1545189504... | 29.1545189504373 | 30 | 8.32986255726781 |
| 48 | 2.297057... | 22.3214285714... | 22.3214285714286 | 23 | 5.58035714285714 |
| 54 | 2.0418288... | 17.636684303351 | 17.636684303351 | 18 | 3.91926317852244 |

Fig. 31. Interfaz con la simulación hecha

Interfaz con todos los resultados y con el paso a paso de los cálculos realizados para llegar a las dimensiones optimas del separador.

Raíces de polinomios

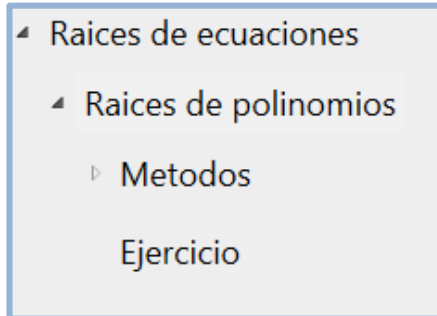


Fig. 32. Raíces de ecuaciones

Comando que me lleva a todo lo relacionado con este tema.

Métodos directos para solución de ecuaciones lineales

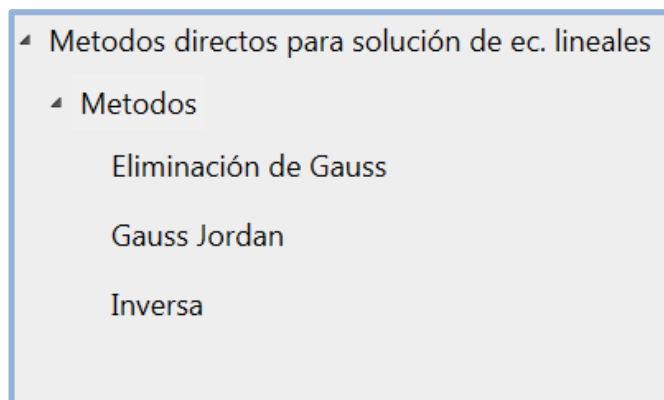


Fig. 33. Métodos directos para solución de ec. Lineales

Este grupo de comandos me llevan a todo lo relacionado con cada tema del submenú seleccionado.

Métodos iterativos para solución de ecuaciones lineales

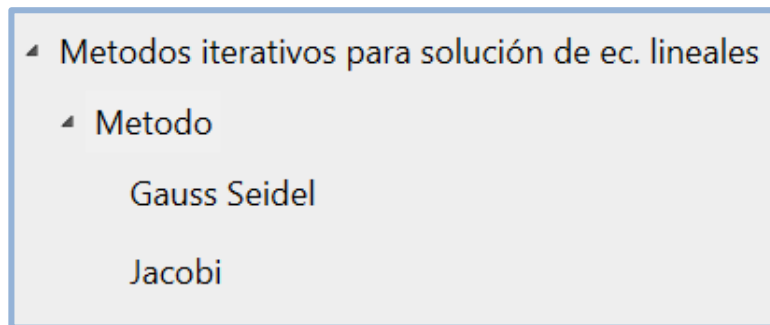


Fig. 34. Métodos iterativos para solución de ec. Lineales

Este grupo de comandos me llevan a todo lo relacionado con cada tema del submenú seleccionado.

Aplicación Flujo de fluidos en medios porosos (Métodos directos e iterativos para solución de ecuaciones lineales)

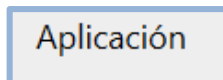


Fig. 35. Comando para ir a la aplicación

Al dar Click al comando "Aplicación" nos lleva a la aplicación de dicho tema.

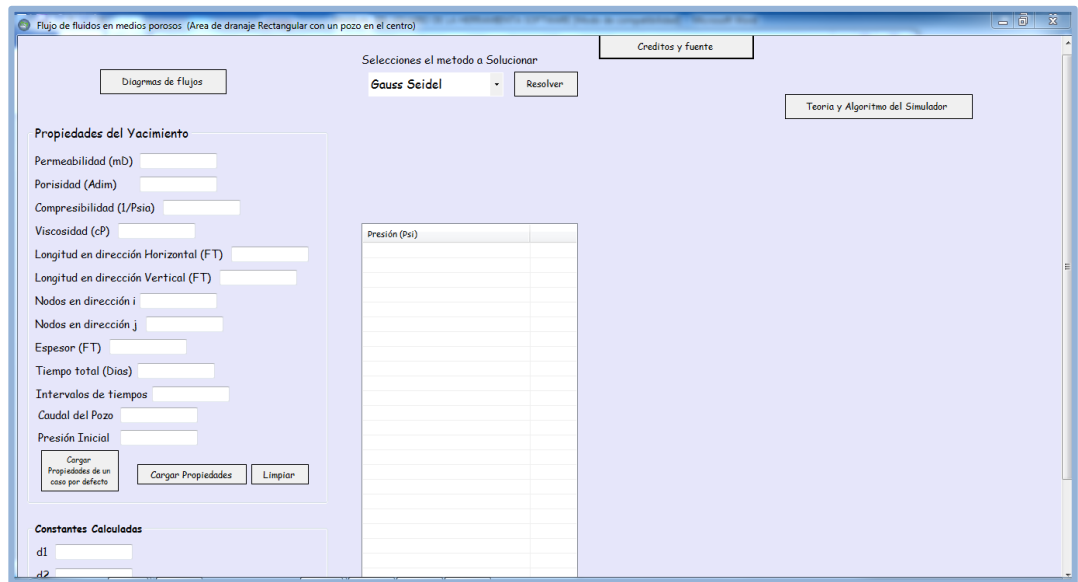


Fig. 36. Interfaz principal de la aplicación

Interfaz principal de la aplicación de flujo de fluidos en medios porosos.

Propiedades del Yacimiento

Permeabilidad (mD)

Porosidad (Adim)

Compresibilidad (1/Psia)

Viscosidad (cP)

Longitud en dirección Horizontal (FT)

Longitud en dirección Vertical (FT)

Nodos en dirección i

Nodos en dirección j

Espesor (FT)

Tiempo total (Dias)

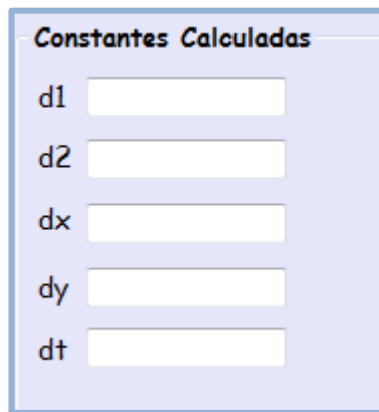
Intervalos de tiempos

Caudal del Pozo

Presión Inicial

Fig. 37. Datos de entrada

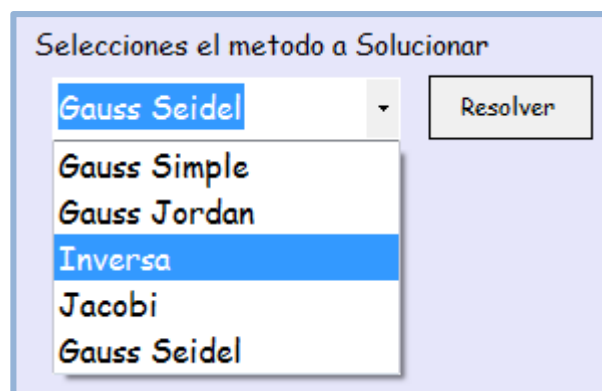
Comandos y textbox de datos de entrada para el desarrollo de la simulación de la variación de presiones debido al flujo de fluidos en medios porosos, en cual tenemos un botón para cargar de propiedades, otro para cargar propiedades por defecto y otro para limpiar los text box de entrada de datos.



The image shows a dialog box titled "Constantes Calculadas". It contains five text input fields, each preceded by a label: "d1", "d2", "dx", "dy", and "dt". The fields are arranged vertically and are currently empty.

Fig. 38. Constantes calculadas

En este grupo de cuadro de textbox sirven para visualizar las constante que se calculan previo a la simulación, ya que estas son necesarias para el proceso.



The image shows a dialog box titled "Selecciones el metodo a Solucionar". It features a dropdown menu with the following options: "Gauss Seidel", "Gauss Simple", "Gauss Jordan", "Inversa", "Jacobi", and "Gauss Seidel". The "Inversa" option is currently selected. To the right of the dropdown menu is a button labeled "Resolver".

Fig. 39. Selección del Método

Combo box para seleccionar el método de solución en el cual contamos con tres métodos directos y dos iterativos de solución de sistema de ecuaciones lineales.

| Presión (Psi) | |
|----------------|----------|
| Tiempo-----> | 36.5 |
| Nodo 1----->>> | 3,306.97 |
| Nodo 2----->>> | 3,305.34 |
| Nodo 3----->>> | 3,306.97 |
| Nodo 4----->>> | 3,305.34 |
| Nodo 5----->>> | 3,298.79 |
| Nodo 6----->>> | 3,305.34 |
| Nodo 7----->>> | 3,306.97 |
| Nodo 8----->>> | 3,305.34 |
| Nodo 9----->>> | 3,306.97 |
| Tiempo-----> | 73 |
| Nodo 1----->>> | 3,112.31 |
| Nodo 2----->>> | 3,110.67 |
| Nodo 3----->>> | 3,112.31 |
| Nodo 4----->>> | 3,110.67 |
| Nodo 5----->>> | 3,104.09 |
| Nodo 6----->>> | 3,110.67 |
| Nodo 7----->>> | 3,112.31 |
| Nodo 8----->>> | 3,110.67 |
| Nodo 9----->>> | 3,112.31 |
| Tiempo-----> | 109.5 |

Fig. 40. Resultados

Lista de variación de presiones por intervalos de tiempo en días, en este List box se almacenas los resultados de la simulación.

Matriz Generada a solucionar

| | | | | | | | | |
|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|---------|---------|
| -56,024 | 27,778 | 0 | 27,778 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 27,778 | -83,802 | 27,778 | 0 | 27,778 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 27,778 | -56,024 | 0 | 0 | 27,778 | 0 | 0 | 0 |
| 27,778 | 0 | 0 | -83,802 | 27,778 | 0 | 27,778 | 0 | 0 |
| 0 | 27,778 | 0 | 27,778 | -111,580 | 27,778 | 0 | 27,778 | 0 |
| 0 | 0 | 27,778 | 0 | 27,778 | -83,802 | 0 | 0 | 27,778 |
| 0 | 0 | 0 | 27,778 | 0 | 0 | -56,024 | 27,778 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 27,778 | 0 | 27,778 | -83,802 | 27,778 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 27,778 | 0 | 27,778 | -56,024 |

Fig. 41. Matriz generada.

Rich Textbox de la matriz generada para solucionar con algunos de los métodos mencionados en el ítem anterior.

Teoría y Algoritmo del Simulador

Volver

FLUJO DE FLUIDOS EN MEDIOS POROSOS

El estudio de flujo de fluidos en el yacimiento es probablemente una de las áreas de ingeniería de yacimientos que requiere más matemática. Las formas matemáticas de estas relaciones están basadas en dos conceptos fundamentales: la ley de Darcy y el balance de los materiales, y sus variaciones dependen de las características del yacimiento, entre las cuales deben considerarse: la configuración geométrica del sistema, la compresibilidad de los fluidos, la invariabilidad de las tasas de flujo y de la presión con tiempo, o bien el flujo de una o más fases simultáneas. Ahora bien, una ecuación en particular se podrá aplicar solamente a un solo tipo de tales características, lo cual hace difícil considerar todas las combinaciones posibles.

3.1.2 Clasificación flujo de fluidos

Los sistemas de fluidos en el yacimiento se clasifican de acuerdo con el tipo de fluido, los regímenes de flujo, el ángulo de buzamiento, la geometría de flujo y el número de fases fluyentes.

Tipos de fluidos

Para identificar los fluidos del yacimiento se toma en cuenta el coeficiente de compresibilidad isotérmica, en general, desde este punto de vista, los fluidos se clasifican en tres grupos:

- Fluidos incompresibles.
- Fluidos ligeramente compresibles.
- Fluidos compresibles.

Fig. 42. Base teórica

Comando para ingresar al marco teórico referente a la simulación de la variación de presión debido al flujo de fluidos de medio porosos.

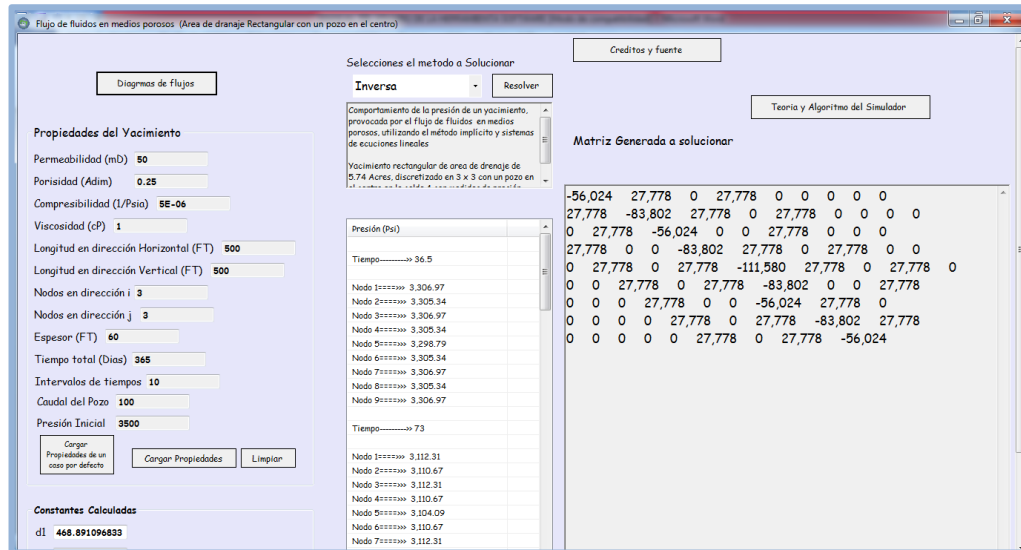


Fig. 43. Interfaz con la corrida de la simulación.

Interfaz de la herramienta con una corrida de simulación de presiones.

Diagramas de flujos

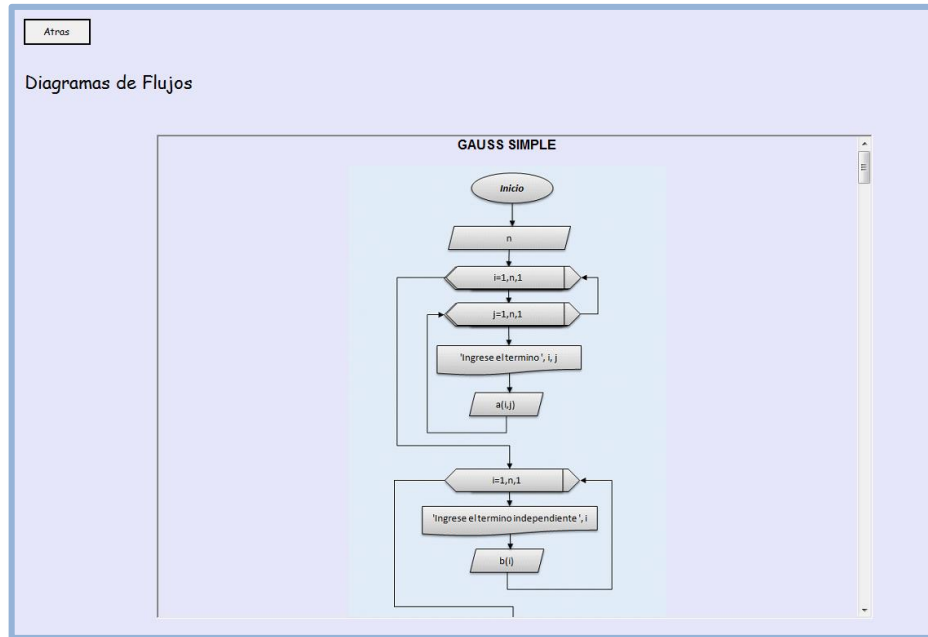


Fig. 44. Diagramas de flujos

Diagramas de flujo de los métodos de la aplicación.

Tratamiento de Información

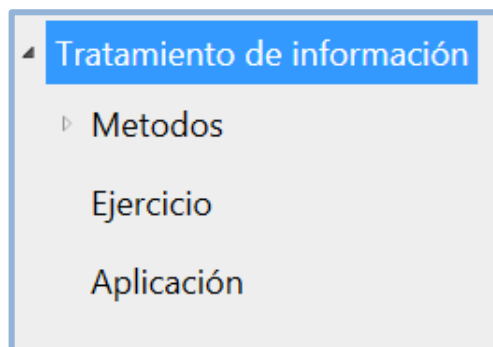


Fig. 45. Tratamiento de información

Grupo de comandos para ingresar a todos componentes de este tema.

Aplicación para expresar el factor volumétrico de gas con el método de los mínimos cuadrados (Tratamiento de información)

Aplicación

Fig. 46. Comando para ingresar a la aplicación

Al dar Click al comando “Aplicación” nos lleva a la aplicación de dicho tema

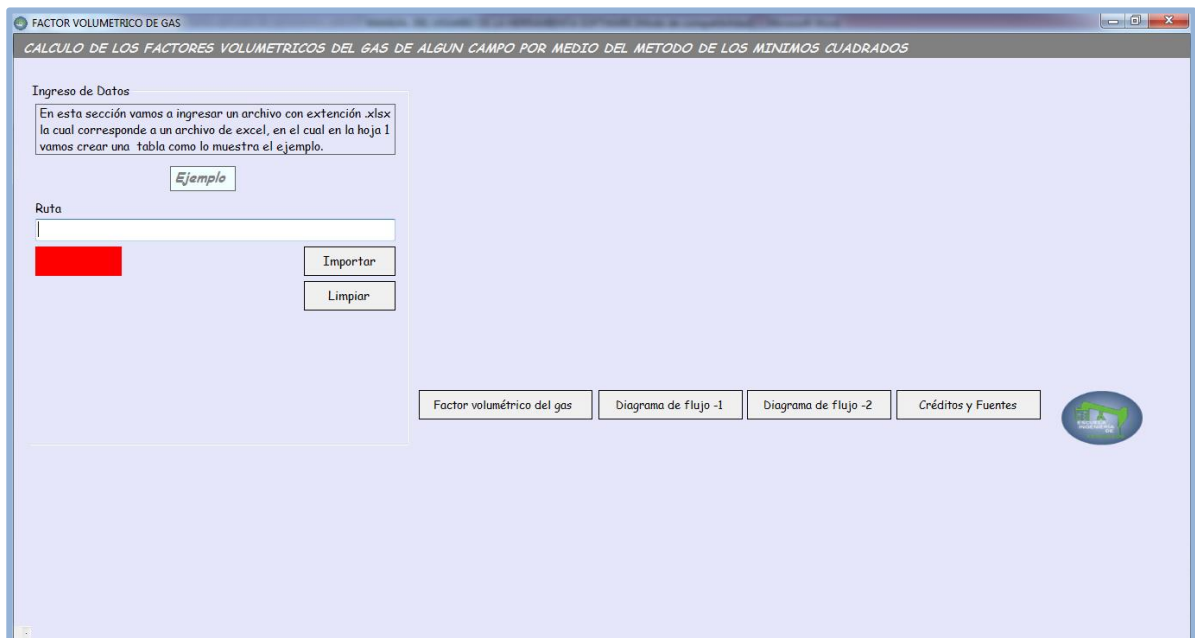


Fig. 47. Interfaz principal de la aplicación

Interfaz principal de la aplicación para el cálculo de los factores volumétricos del gas a diferentes presiones.

Ingreso de Datos

En esta sección vamos a ingresar un archivo con extensión .xlsx la cual corresponde a un archivo de excel, en el cual en la hoja 1 vamos a crear una tabla como lo muestra el ejemplo.

Ejemplo

Ruta

Fig. 48. Entrada de archivos de datos

Grupo de comandos para ingresar el archivo de Excel con los datos de presiones y factores volumétricos del gas.

Ejemplo

| | A | B |
|---|----------------|--------------|
| 1 | Presión (Psia) | Bo (SCF/FT3) |
| 2 | 3480 | 204.8 |
| 3 | 3350 | 198.6 |
| 4 | 3200 | 191.4 |
| 5 | 3000 | 181.3 |
| 6 | 2800 | 170.7 |
| 7 | | |

Hoja1 Hoja2 Hoja3

Fig. 49. Configuración archivo de datos

Al momento de pasar el mouse por el botón ejemplo se despliega una imagen en la cual nos muestra la configuración de cómo debe estar el archivo de Excel para poder cargarlo a la aplicación.



Fig. 50. Comando para importar archivo de datos

Luego damos click al botón importar para que se nos despliegue el explorador de Windows para poder encontrar y cargar el archivo de datos el cual tiene que tener cualquiera de las extensiones que identifiquen un archivo de Excel.

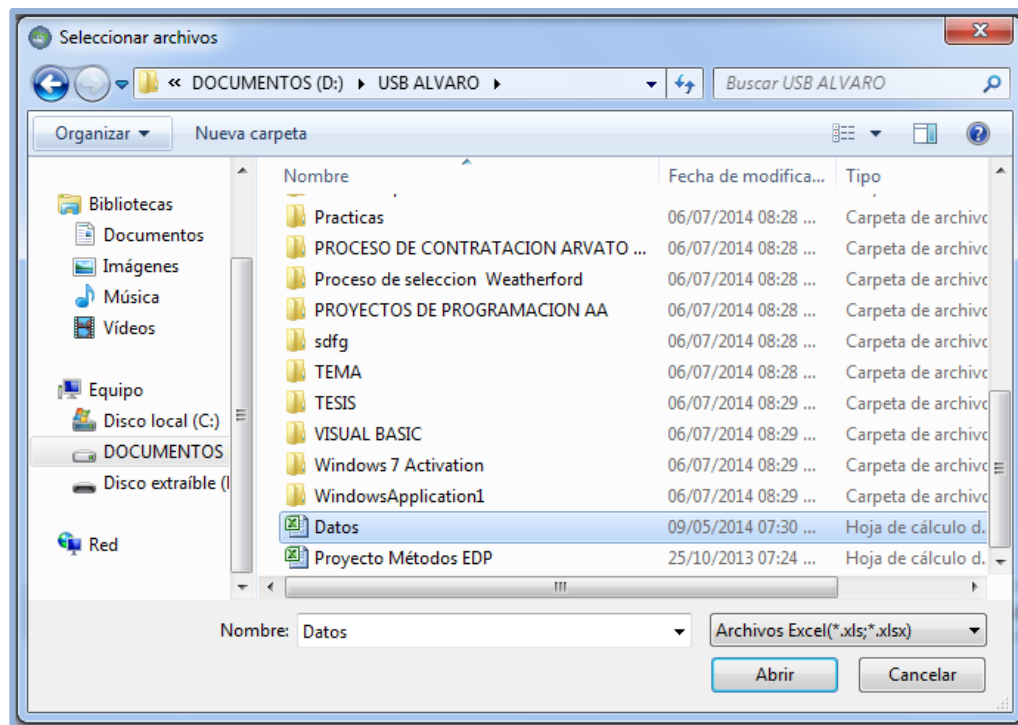


FIGURA 51. Explorador de Windows.

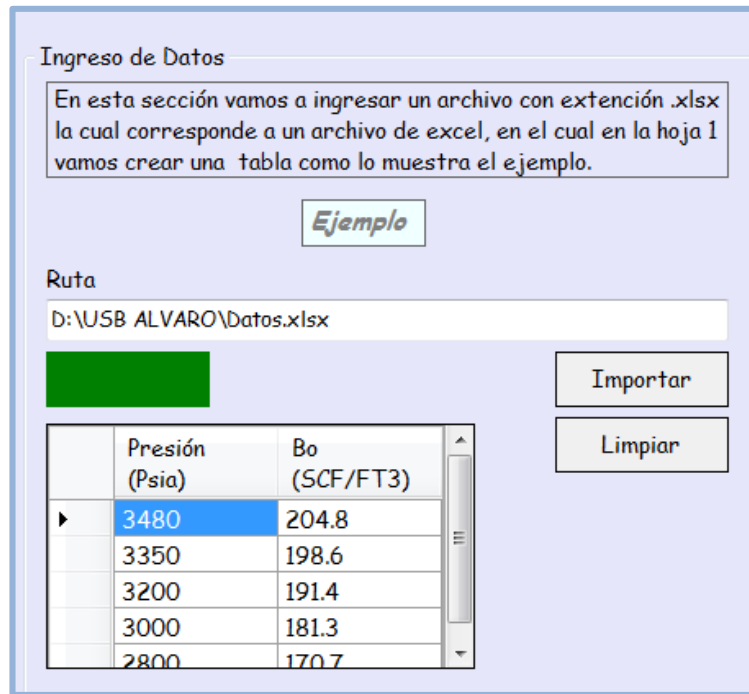


Fig. 52. Datos cargados

Entonces quedaran cargados los datos a la aplicación el color verde del text box me indicará que la operación fue todo un éxito.

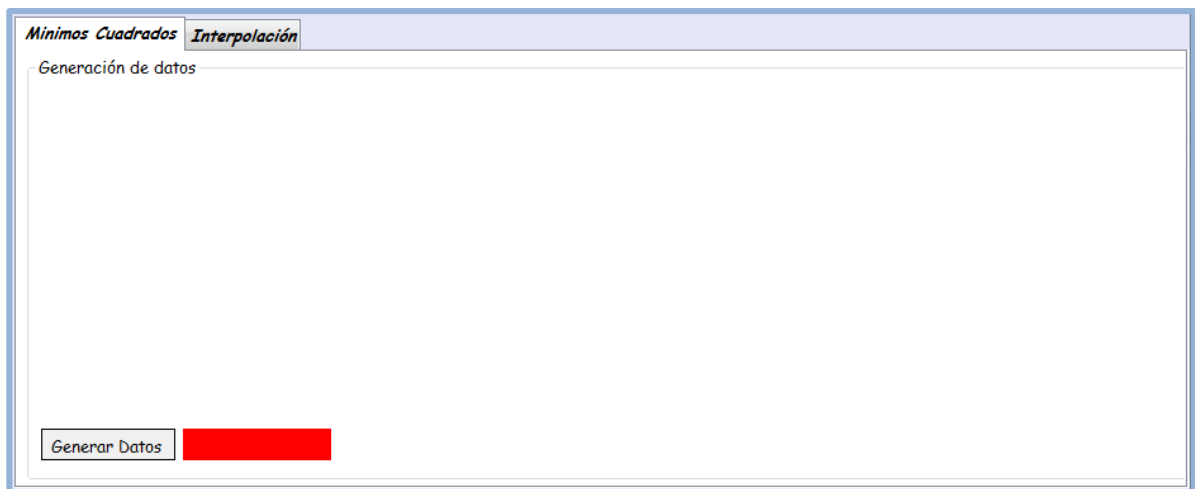


Fig. 53. Pestañas de subtemas

Después de esto se me despliega un tabulador de control el cual cuenta con dos pestañas, la primera pestaña (Mínimos cuadrados) se realizan todas las sumatorias y se almacenan en una tabla esto dándole click en el botón generar datos.

Fig. 54. Interpolación

Y en la segunda pestaña (Interpolación) nos permite escoger el método para el cual podemos interpolar determinado valor “x”.

| | P | Bg | P*Bg | P ² *Bg | P ² | P ³ | P ⁴ |
|---|-----------|------------|-------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| ▶ | 3480 | 204.8 | 712704 | 2480209920 | 12110400 | 42144192000 | 146661788160000 |
| | 3350 | 198.6 | 665310 | 2228788500 | 11222500 | 37595375000 | 125944506250000 |
| | 3200 | 191.4 | 612480 | 1959936000 | 10240000 | 32768000000 | 104857600000000 |
| | 3000 | 181.3 | 543900 | 1631700000 | 9000000 | 27000000000 | 81000000000000 |
| | 2800 | 170.7 | 477960 | 1338288000 | 7840000 | 21952000000 | 61465600000000 |
| | ΣP | ΣBo | ΣPBo | ΣPBo² | ΣP² | ΣP³ | ΣP⁴ |
| | 15830 | 946.8 | 3012354 | 9638922420 | 50412900 | 161459567000 | 519929494410000 |
| | | | | | | | N |
| | | | | | | | 5 |

Fig. 55. Mínimos cuadrados

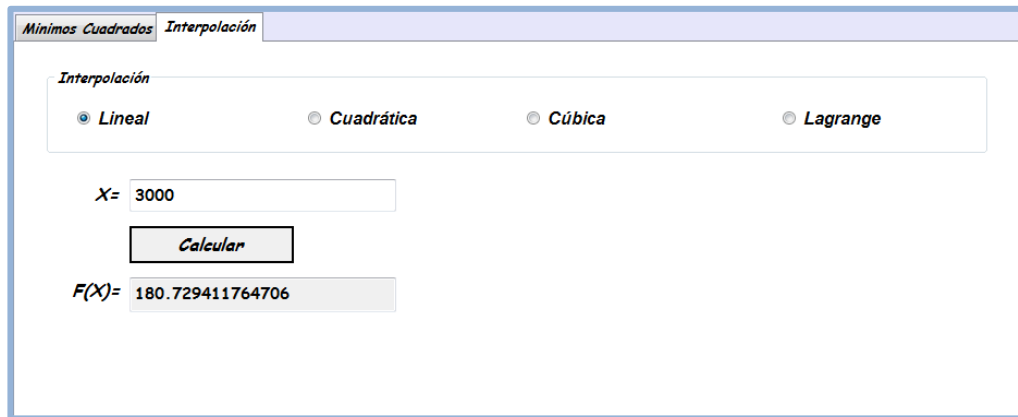


Fig. 56. Interfaces con las dos pestañas cargadas con sus desarrollos de datos

Interfaces con las dos pestañas cargadas con sus desarrollos de datos.

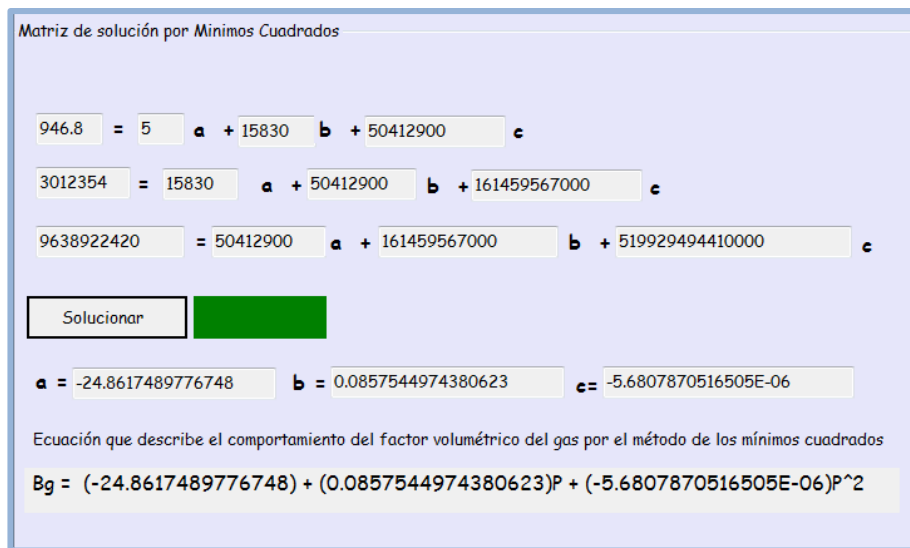


Fig. 57. Matriz de solución

Grupo de comandos en el cual se genera la matriz a solucionar para determinar los coeficientes de la ecuación de segundo grado que modela el comportamiento del factor volumétrico respecto a la presión, todos los datos se generar cuando se le da click al botón solucionar.

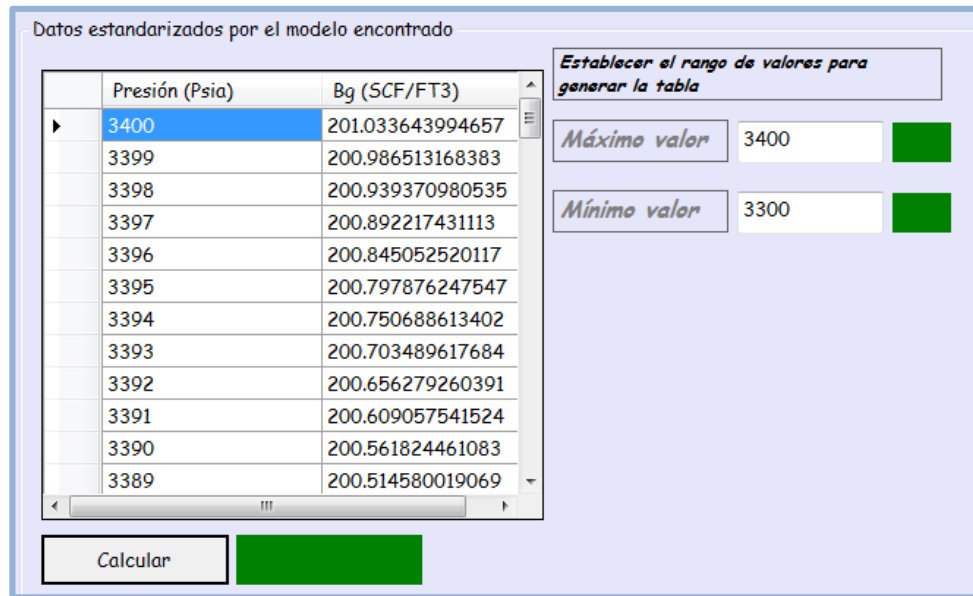


Fig. 58. Tabla de datos generados

En este grupo de comandos se puede generar una tabla de datos a partir de la ecuación hallada, consta de dos text box (Máximo valor & Mínimo valor) en el cual en estos se digitará el valor máximo y mínimo para generar datos en este rango, todo esto se consigue dando click en el botón calcular y el color verde me indica que la operación fue exitosa.

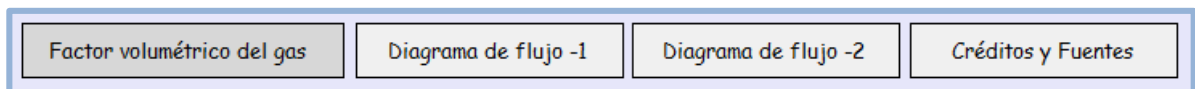


Fig. 59. comandos complementarios

Comandos que me llevan a los respectivos diagramas de flujo de los métodos de la aplicación, introducción teórica y créditos y fuentes.

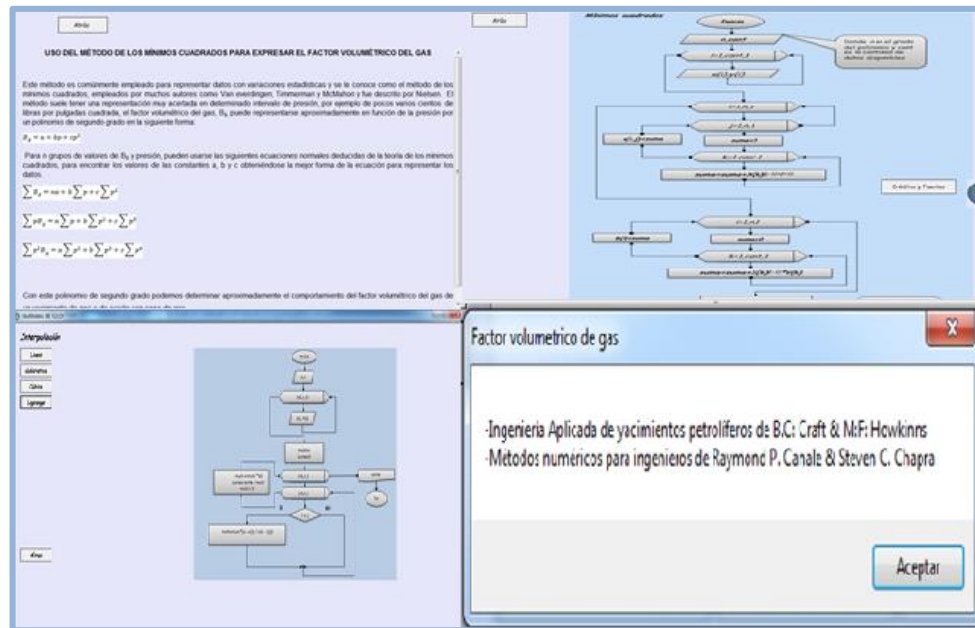


Fig. 60. Comandos complementarios.

Integración

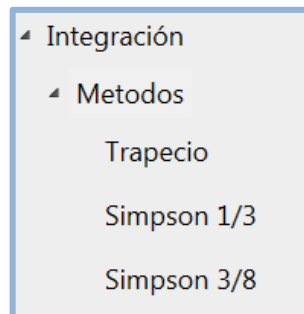


Fig. 61. Integración

Este grupo de comandos me llevan a todo lo relacionado con cada tema del submenú seleccionado.

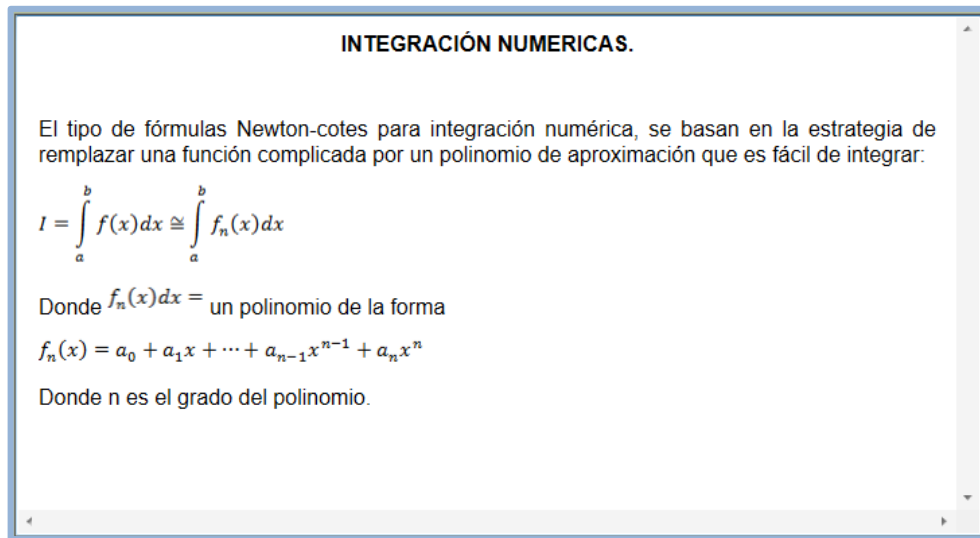


Fig. 62. Cuadro de texto de teoría

Rich text box donde se almacenara toda la base teórica de este submenú.

Aplicación para el cálculo de la transferencia de calor para gases por integración numérica

Aplicación

Fig. 63. Comando que me lleva a la aplicación

Al dar Click al comando “Aplicación” nos lleva a la aplicación de dicho tema

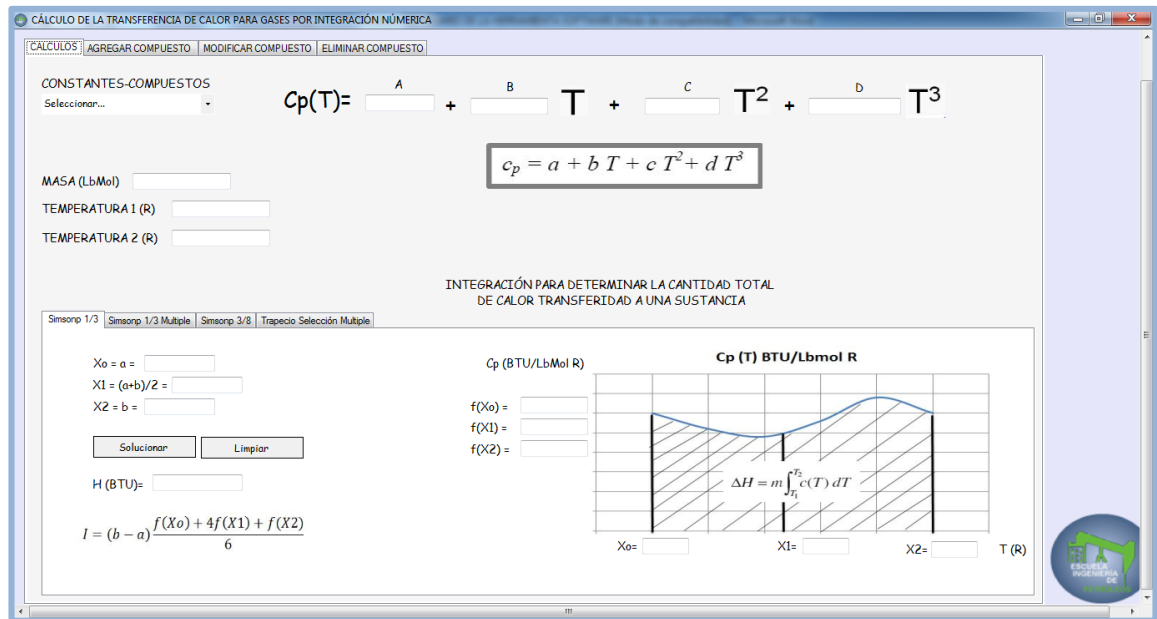


Fig. 64. Interfaz principal de la aplicación

Interfaz principal de la aplicación.

La aplicación se divide en cuatro pestañas las cuales cuenta con un conjunto de comandos cada una para el desarrollo de la misma, estas pestañas son:

- ❖ Cálculos
- ❖ Agregar compuesto
- ❖ Modificar compuesto
- ❖ Eliminar compuesto

CÁLCULOS

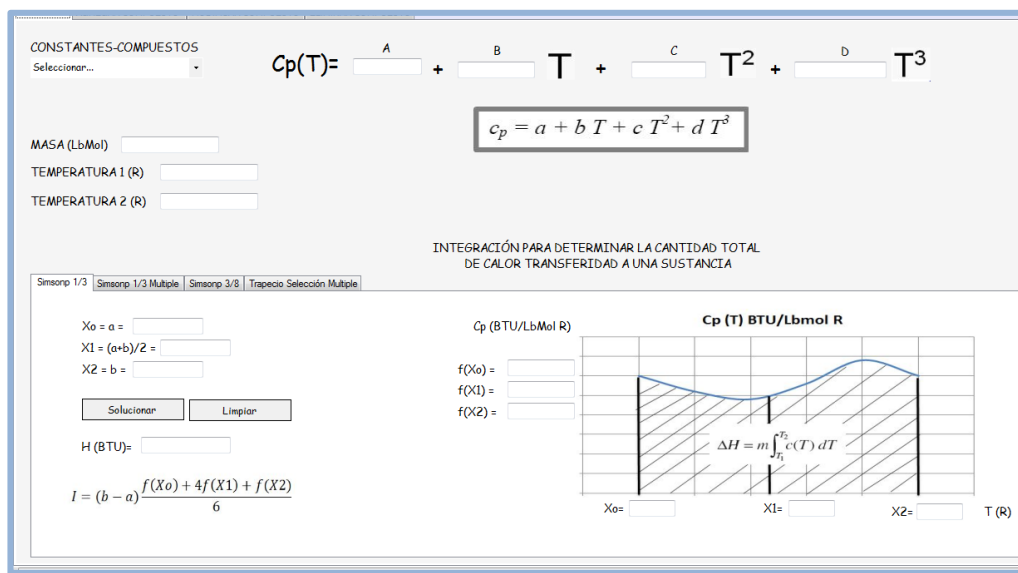


Fig. 64. Cálculos

En esta interfaz en donde se realizan todos los cálculos para los diferentes métodos de integración, cuenta con una serie de comandos para poder realizar un paso a paso y que los cálculos sean confiables.

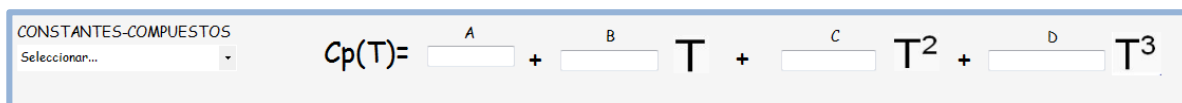


Fig. 65. Selección de compuestos

En este grupo de comandos se selecciona el compuesto al cual se le va realizar los datos para esto contamos con una base de datos de los gases más comunes en la industria del petróleo.

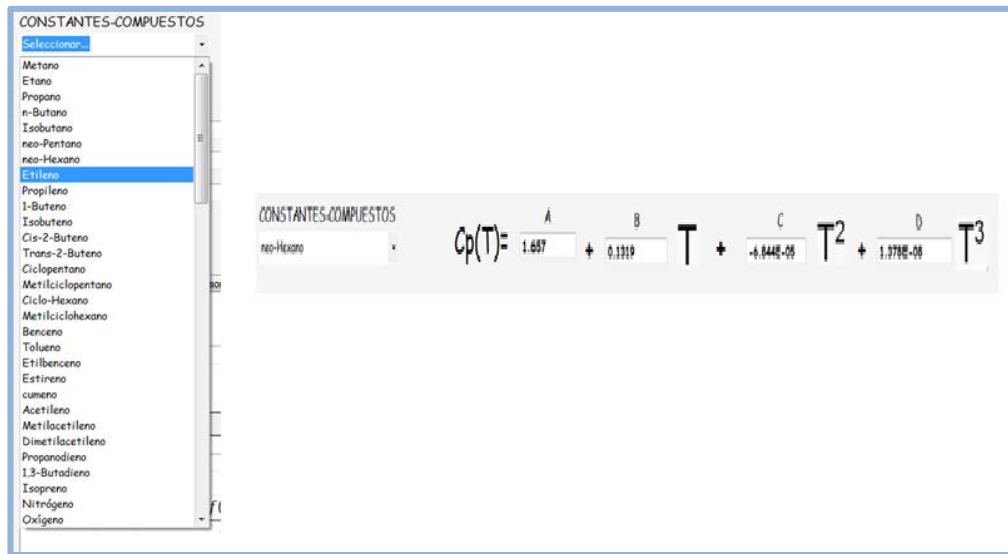


Fig. 66. Combobox de selección de compuesto

Se selecciona el compuesto en el combo box y al instante aparecen las constantes del respectivo compuesto seleccionado.

The image shows a form with three input fields:

- MASA (LbMol)
- TEMPERATURA 1 (R)
- TEMPERATURA 2 (R)

Fig. 67. Datos de entrada

Se ingresa en estos textbox se ingresan la masa del compuesto la temperatura 1 (Temperatura más baja) y la temperatura 2 (Temperatura más alta).

En la pestaña de "CALCULOS" existen 4 subpestañas que me representan cada método de integración y las cuales son:

- ❖ Simpson 1/3
- ❖ Simpson 1/3 múltiple
- ❖ Simpson 3/8
- ❖ Trapecio Selección Múltiple

Simpson 1/3

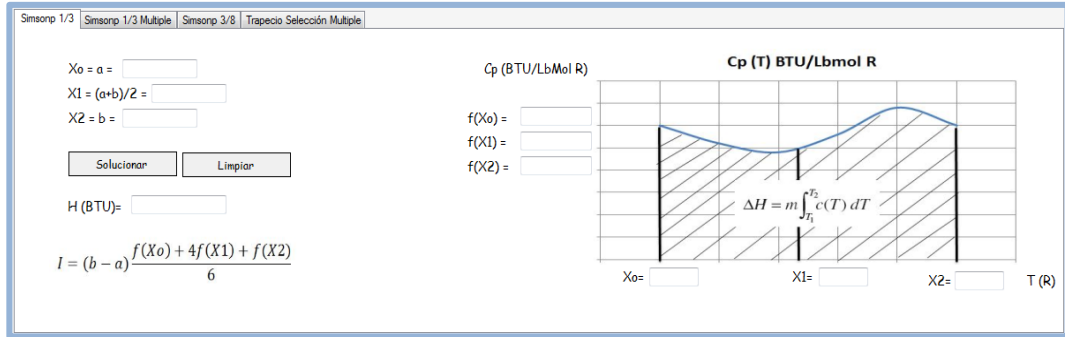


Fig. 68. Simpson 1/3

Esta subpestaña cuenta con un grupo de comando para el desarrollo del método de integración, en el cual toca en cual solo con darle click en “solucionar” se llegará a la solución.

Simpson 1/3 múltiple

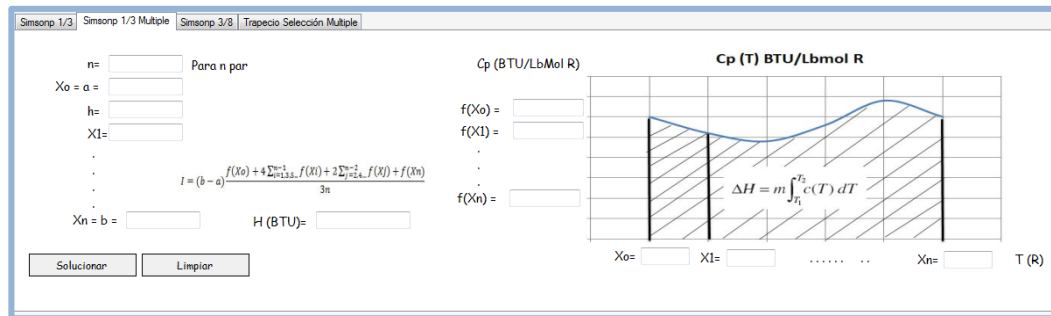


Fig. 69. Simpson 1/3 Múltiple

Esta subpestaña cuenta con un grupo de comando para el desarrollo del método de integración, en el cual toca ingresar el grado “n” y en cual solo con darle click en “solucionar” se llegará a la solución.

Simpson 3/8

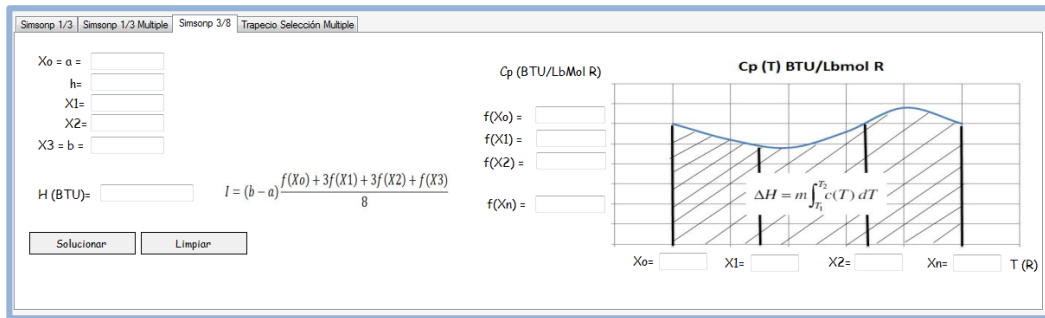


Fig. 70. Simpson 3/8.

Esta subpestaña cuenta con un grupo de comando para el desarrollo del método de integración, en el cual toca en cual solo con darle click en “solucionar” se llegará a la solución.

Trapezio Selección Múltiple

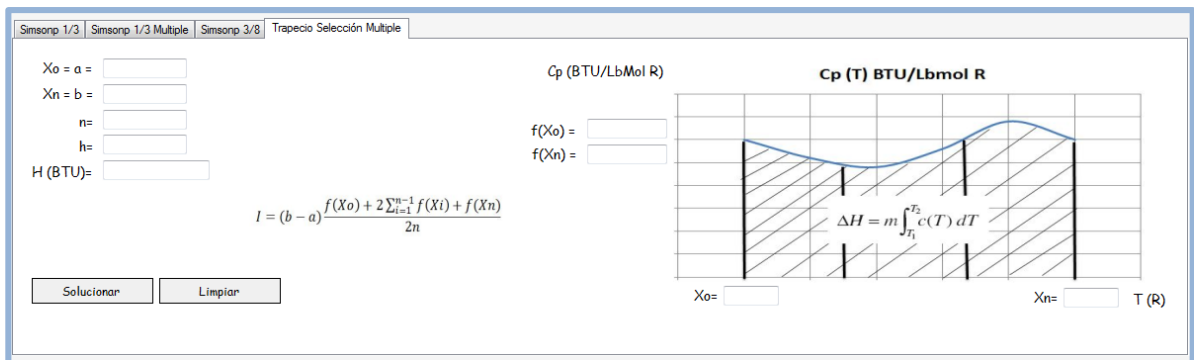


Fig. 71. Trapezio selección múltiple

Esta subpestaña cuenta con un grupo de comando para el desarrollo del método de integración, en el cual toca ingresar el grado “n” y en cual solo con darle click en “solucionar” se llegará a la solución.

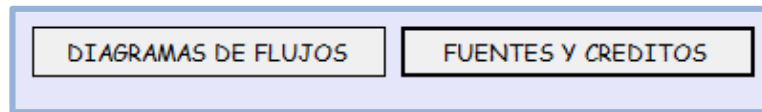


Fig. 72. Comandos Complementarios

Botones que me llevan a los diagramas de flujo de los métodos de la aplicación y a las fuentes y créditos.

Tratamiento numérico de Ecuaciones Diferenciales Parciales

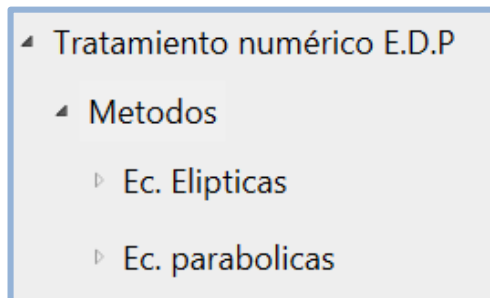


Fig. 73. Tratamiento numérico E.D.P

Este grupo de comandos me llevan a todo lo relacionado con cada tema del submenú seleccionado.

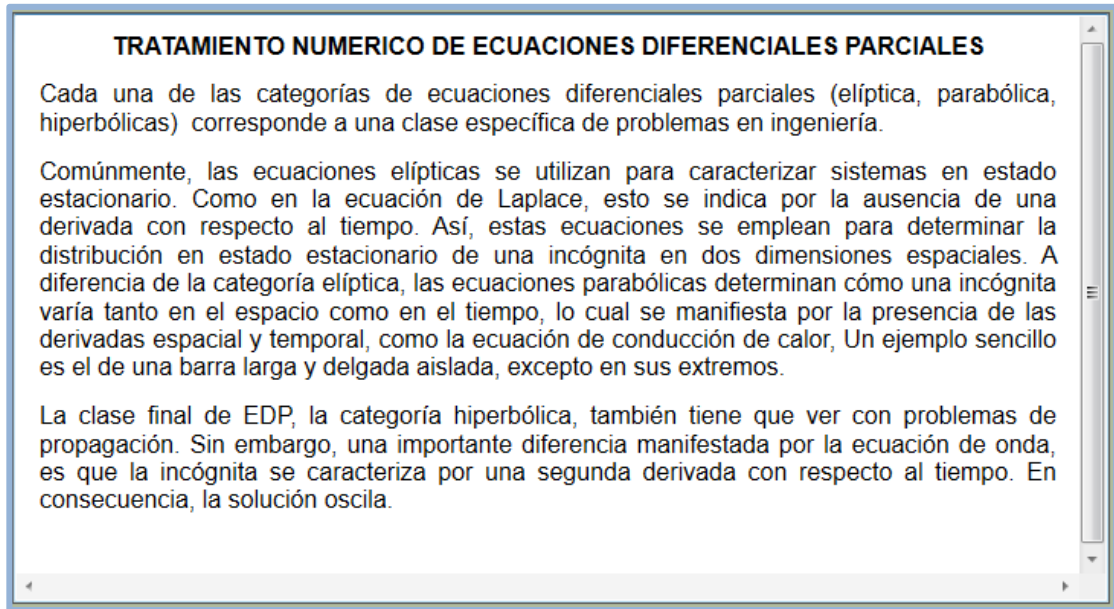


Fig. 74. Cuadro de texto de teoría

Aplicación para el cálculo de la variación de temperaturas linealmente a través de un metal cuando se somete a dos focos de flujo de calor (E.D.P)

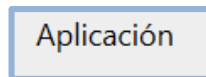


Fig. 75. Comando para ir a la aplicación

Al dar Click al comando “Aplicación” nos lleva a la aplicación de dicho tema.

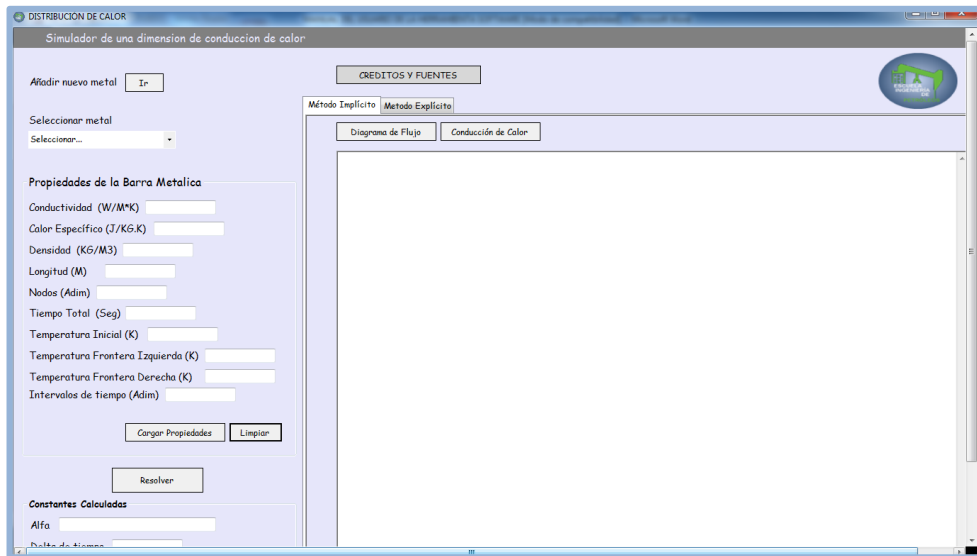


Fig. 76. Interfaz principal de la aplicación

Interfaz principal de la aplicación

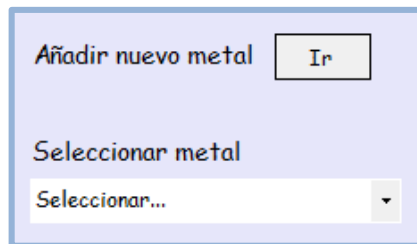


Fig. 77. Comandos para poder seleccionar un metal y poder añadir uno nuevo

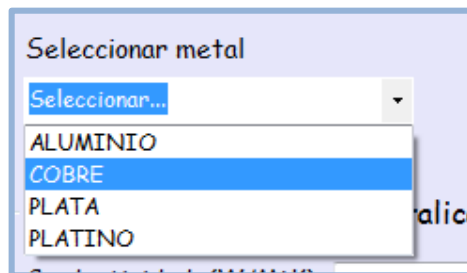
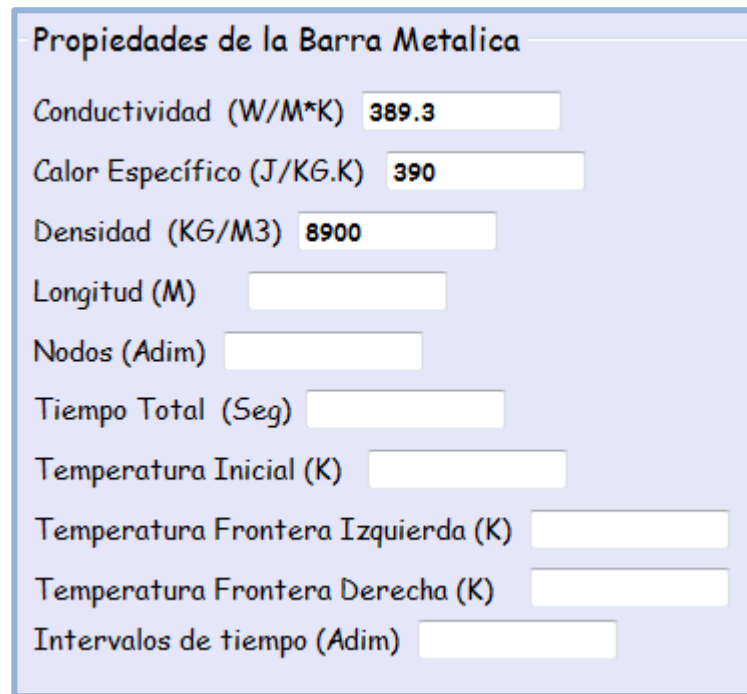


Fig. 78. Seleccionar metal

Se selecciona el metal e inmediatamente se cargan las propiedades más relevantes del metal.



Propiedades de la Barra Metalica

Conductividad (W/M*K)

Calor Específico (J/KG.K)

Densidad (KG/M3)

Longitud (M)

Nodos (Adim)

Tiempo Total (Seg)

Temperatura Inicial (K)

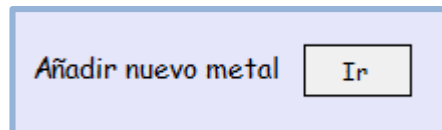
Temperatura Frontera Izquierda (K)

Temperatura Frontera Derecha (K)

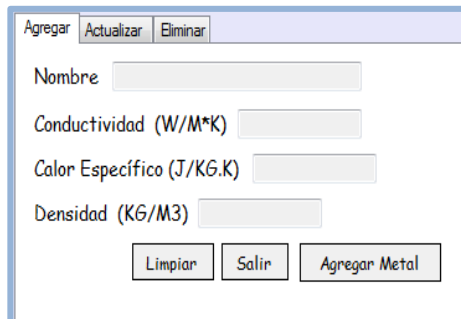
Intervalos de tiempo (Adim)

Fig. 79. Seleccionar metal

Las demás propiedades se digitan de acuerdo a los parámetros que quieran evaluar.



Añadir nuevo metal



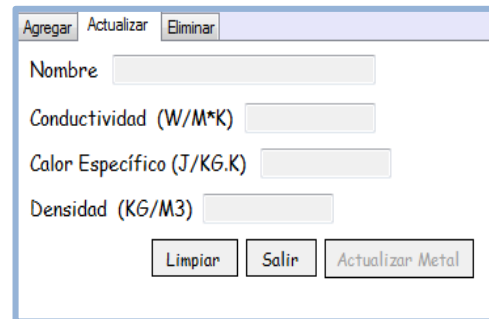
Agregar Actualizar Eliminar

Nombre

Conductividad (W/M*K)

Calor Específico (J/KG.K)

Densidad (KG/M3)



Agregar Actualizar Eliminar

Nombre

Conductividad (W/M*K)

Calor Específico (J/KG.K)

Densidad (KG/M3)

Agregar Actualizar Eliminar

Nombre

Conductividad (W/M*K)

Calor Específico (J/KG.K)

Densidad (KG/M3)

Limpiar Salir Eliminar Metal

Fig. 80. Agregar, Modificar y eliminar compuesto

Al darle click al boton “ir” nos lleva a un tab control con tres pestañas, la primera es “Agregar” esta sirve para poder agregar un nuevo metal, la segunda es “Modificar” esta sirve para modificar un metal existente y la tercera “eliminar” esta sirve para eliminar determinado metal de la base de datos.

Resolver

Constantes Calculadas

Alfa 0.00011215787957361

Delta de tiempo 5

Delta de Posición 0.04545454545

Lamda 0.271422068568136

Fig. 81. Constantes calculadas

Al momento de ejecutar el comando “Cargar propiedades” el grupo de textbox de constastes calculadas muestra el valor determinado para cada una de estas.

Método Implícito **Metodo Explícito**

Diagrama de Flujo **Conducción de Calor**

DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURA DE UNA BARRA METELICA EXPUESTA A DOS FOCOS DE CALOR EN SUS EXTREMOS

| dt | T_f1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | T_f2 |
|----|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| 5 | 100 | 181.8 | 196.7 | 199.4 | 199.9 | 200.0 | 200.0 | 200.1 | 200.6 | 203.3 | 218.2 | 300 |
| 10 | 100 | 169.2 | 192.1 | 198.2 | 199.6 | 199.9 | 200.1 | 200.4 | 201.8 | 207.9 | 230.8 | 300 |
| 15 | 100 | 160.2 | 187.3 | 196.4 | 199.1 | 199.8 | 200.2 | 200.9 | 203.6 | 212.7 | 239.8 | 300 |
| 20 | 100 | 153.6 | 182.6 | 194.3 | 198.3 | 199.7 | 200.3 | 201.7 | 205.7 | 217.4 | 246.4 | 300 |
| 25 | 100 | 148.5 | 178.2 | 192.0 | 197.4 | 199.4 | 200.6 | 202.6 | 208.0 | 221.8 | 251.5 | 300 |
| 30 | 100 | 144.5 | 174.3 | 189.7 | 196.4 | 199.1 | 200.9 | 203.6 | 210.3 | 225.7 | 255.5 | 300 |
| 35 | 100 | 141.3 | 170.8 | 187.3 | 195.2 | 198.8 | 201.2 | 204.8 | 212.7 | 229.2 | 258.7 | 300 |
| 40 | 100 | 138.7 | 167.6 | 185.0 | 194.0 | 198.4 | 201.6 | 206.0 | 215.0 | 232.4 | 261.3 | 300 |
| 45 | 100 | 136.5 | 164.8 | 182.8 | 192.7 | 198.1 | 201.9 | 207.3 | 217.2 | 235.2 | 263.5 | 300 |
| 50 | 100 | 134.6 | 162.3 | 180.7 | 191.5 | 197.7 | 202.3 | 208.5 | 219.3 | 237.7 | 265.4 | 300 |
| 55 | 100 | 133.0 | 160.1 | 178.8 | 190.3 | 197.3 | 202.7 | 209.7 | 221.2 | 239.9 | 267.0 | 300 |
| 60 | 100 | 131.6 | 158.0 | 176.9 | 189.1 | 196.9 | 203.1 | 210.9 | 223.1 | 242.0 | 268.4 | 300 |
| 65 | 100 | 130.4 | 156.2 | 175.2 | 187.9 | 196.5 | 203.5 | 212.1 | 224.8 | 243.8 | 269.6 | 300 |
| 70 | 100 | 129.3 | 154.5 | 173.6 | 186.9 | 196.1 | 203.9 | 213.1 | 226.4 | 245.5 | 270.7 | 300 |
| 75 | 100 | 128.3 | 153.0 | 172.1 | 185.8 | 195.7 | 204.3 | 214.2 | 227.9 | 247.0 | 271.7 | 300 |
| 80 | 100 | 127.4 | 151.6 | 170.8 | 184.9 | 195.4 | 204.6 | 215.1 | 229.2 | 248.4 | 272.6 | 300 |

Fig. 82. Resultado de la corrida de simulación (Implícito)

Al momento de ejecutar el comando “Resolver” se ejecuta la simulación y esta es representada en un cuadro de texto de formato enriquecido como se puede observar en la imagen, esto se dá tanto en el método explícito como en el implícito.

Método Implícito Metodo Explícito

Diagrama de Flujo Conducción de Calor

DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURA DE UNA BARRA METELICA EXPUESTA A DOS FOCOS DE CALOR EN SUS EXTREMOS

| dt | T_f1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | T_f2 |
|----|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| 5 | 100 | 172.9 | 200.0 | 200.0 | 200.0 | 200.0 | 200.0 | 200.0 | 200.0 | 200.0 | 227.1 | 300 |
| 10 | 100 | 160.4 | 192.6 | 200.0 | 200.0 | 200.0 | 200.0 | 200.0 | 200.0 | 207.4 | 239.6 | 300 |
| 15 | 100 | 152.8 | 185.9 | 198.0 | 200.0 | 200.0 | 200.0 | 200.0 | 202.0 | 214.1 | 247.2 | 300 |
| 20 | 100 | 147.4 | 180.2 | 195.3 | 199.5 | 200.0 | 200.0 | 200.5 | 204.7 | 219.8 | 252.6 | 300 |
| 25 | 100 | 143.5 | 175.4 | 192.3 | 198.5 | 199.9 | 200.1 | 201.5 | 207.7 | 224.6 | 256.5 | 300 |
| 30 | 100 | 140.3 | 171.3 | 189.4 | 197.2 | 199.6 | 200.4 | 202.8 | 210.6 | 228.7 | 259.7 | 300 |
| 35 | 100 | 137.8 | 167.8 | 186.6 | 195.7 | 199.1 | 200.9 | 204.3 | 213.4 | 232.2 | 262.2 | 300 |
| 40 | 100 | 135.7 | 164.8 | 184.0 | 194.2 | 198.7 | 201.3 | 205.8 | 216.0 | 235.2 | 264.3 | 300 |
| 45 | 100 | 133.9 | 162.1 | 181.5 | 192.6 | 198.2 | 201.8 | 207.4 | 218.5 | 237.9 | 266.1 | 300 |
| 50 | 100 | 132.3 | 159.7 | 179.3 | 191.1 | 197.7 | 202.3 | 208.9 | 220.7 | 240.3 | 267.7 | 300 |
| 55 | 100 | 131.0 | 157.6 | 177.2 | 189.7 | 197.2 | 202.8 | 210.3 | 222.8 | 242.4 | 269.0 | 300 |
| 60 | 100 | 129.8 | 155.7 | 175.2 | 188.3 | 196.7 | 203.3 | 211.7 | 224.8 | 244.3 | 270.2 | 300 |
| 65 | 100 | 128.7 | 154.0 | 173.5 | 187.0 | 196.2 | 203.8 | 213.0 | 226.5 | 246.0 | 271.3 | 300 |
| 70 | 100 | 127.8 | 152.4 | 171.9 | 185.8 | 195.8 | 204.2 | 214.2 | 228.1 | 247.6 | 272.2 | 300 |
| 75 | 100 | 126.9 | 151.0 | 170.4 | 184.7 | 195.4 | 204.6 | 215.3 | 229.6 | 249.0 | 273.1 | 300 |
| 80 | 100 | 126.2 | 149.7 | 169.0 | 183.7 | 195.0 | 205.0 | 216.3 | 231.0 | 250.3 | 273.8 | 300 |

Fig. 83. Resultado de la corrida de simulación (Explícito)

Interfaz para el método explícito.

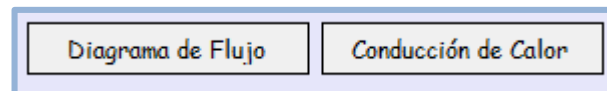


Fig. 84. Comandos complementarios

Comandos para llegar a los diagramas de flujos de los método utilizados para el desarrollo de la aplicación y para llegar a la base teórica de la aplicación.

Tratamiento numérico de Ecuaciones Diferenciales Ordinarias

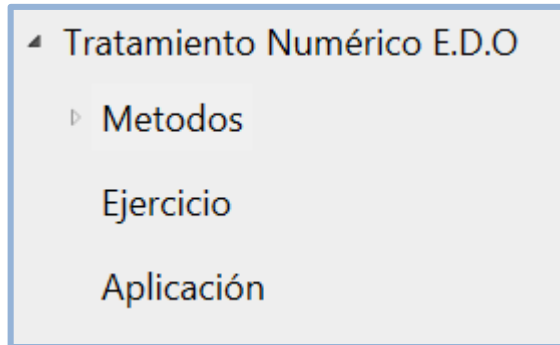


Fig. 85. Tratamiento Numérico EDO

Este grupo de comandos me llevan a todo lo relacionado con cada tema del submenú seleccionado.

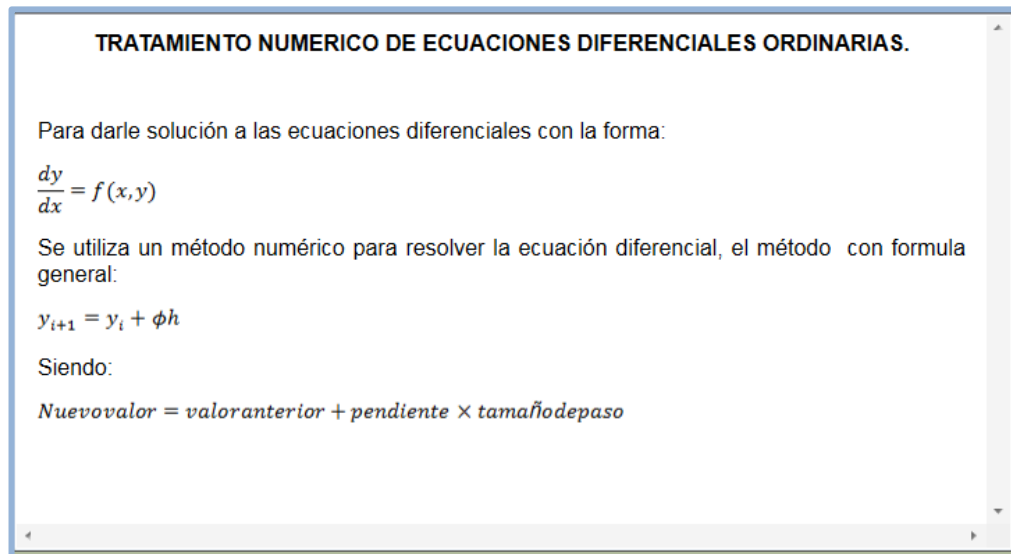


Fig. 86. Textbox de entrada a texto

Aplicación para determinar la concentración de rompedor de emulsión dentro de un FWKO.

Aplicación

Fig. 87. Comando para ir a la aplicación

Al dar Click al comando “Aplicación” nos lleva a la aplicación de dicho tema.

Interfaz principal de la aplicación

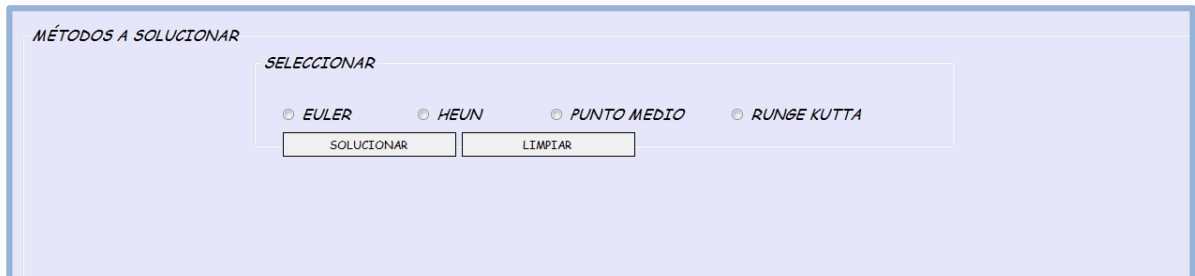
The screenshot shows a software window titled "Calculo de la Concentración de Rompedor de Emulsión a la salida de un FWKO". The interface includes several input fields for data entry: "CAUDAL DE ENTRADA AL FWKO (BFPD)", "TIEMPO DE PROCESO", "VOLUMEN DEL TANQUE FWKO (BBL)", and "CONCENTRACIÓN DENTRO DEL FWKO (PPM)". There are also output fields for "CONCENTRACIÓN DE ENTRADA AL FWKO (PPM)", "CONCENTRACIÓN DENTRO DEL FWKO (PPM)", and "CONCENTRACIÓN DE SALIDA AL FWKO (PPM)". A central 3D diagram of a cylindrical tank is shown. Below the input fields are three buttons: "DIAGRAMAS DE FLUJOS", "FUENTES Y CREDITOS", and "FWKO'S". A section titled "MÉTODOS A SOLUCIONAR" contains a "SELECCIONAR" label and four radio button options: "EULER", "HEUN", "PUNTO MEDIO", and "RUNSE KUTTA". At the bottom of this section are two buttons: "SOLUCIONAR" and "LIMPIAR".

Fig. 88. Interfaz principal de la aplicación

This image is a close-up of the input data section of the application. It features three text input fields with labels: "CAUDAL DE ENTRADA AL FWKO (BFPD)", "TIEMPO DE PROCESO", and "VOLUMEN DEL TANQUE FWKO (BBL)".

Fig. 89. Cajas de textos datos de entrada

En este grupos de textbox digitamos los datos de entrada para que la aplicación pueda realizar los cálculos.



MÉTODOS A SOLUCIONAR

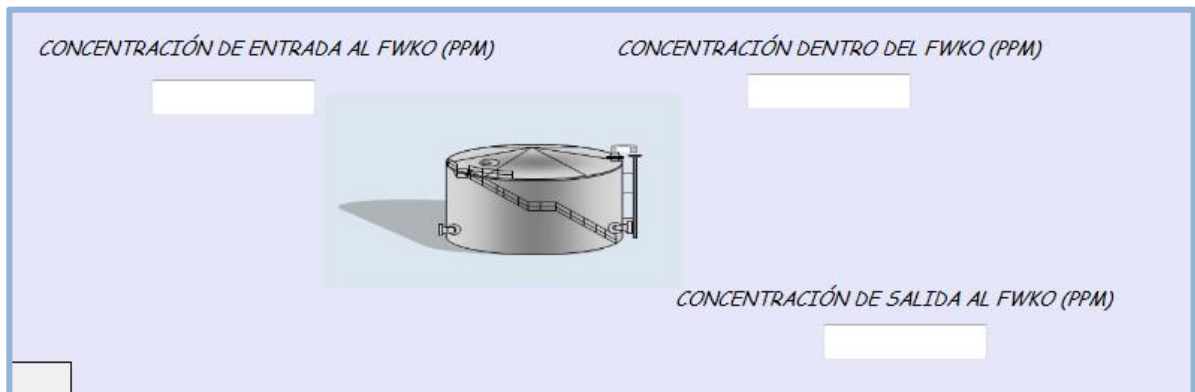
SELECCIONAR

EULER HEUN PUNTO MEDIO RUNGE KUTTA

SOLUCIONAR LIMPIAR

Fig. 90. Radiobutton para selección del método

Grupo de radiobotones para la selección del método para poder determinar la concentración dentro del tanque FWKO.



CONCENTRACIÓN DE ENTRADA AL FWKO (PPM)

CONCENTRACIÓN DENTRO DEL FWKO (PPM)

CONCENTRACIÓN DE SALIDA AL FWKO (PPM)

Fig. 91. Interfaz de entrada de concentraciones

Grupo de caja de textos para poder diligenciar y visualizar las diferentes composiciones de rompedor de emulsión.

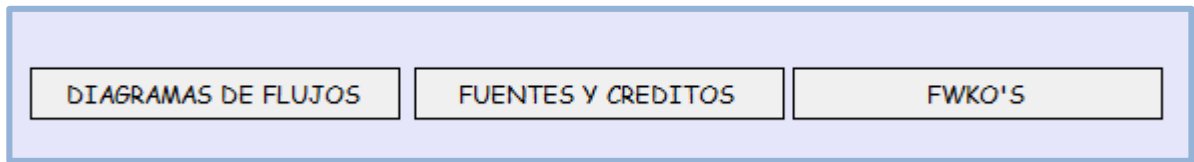


Fig. 92. Botones complementarios

Botones complementarios para acceder a los diagramas de flujo, a los créditos y también a la teoría complementaria de la aplicación.

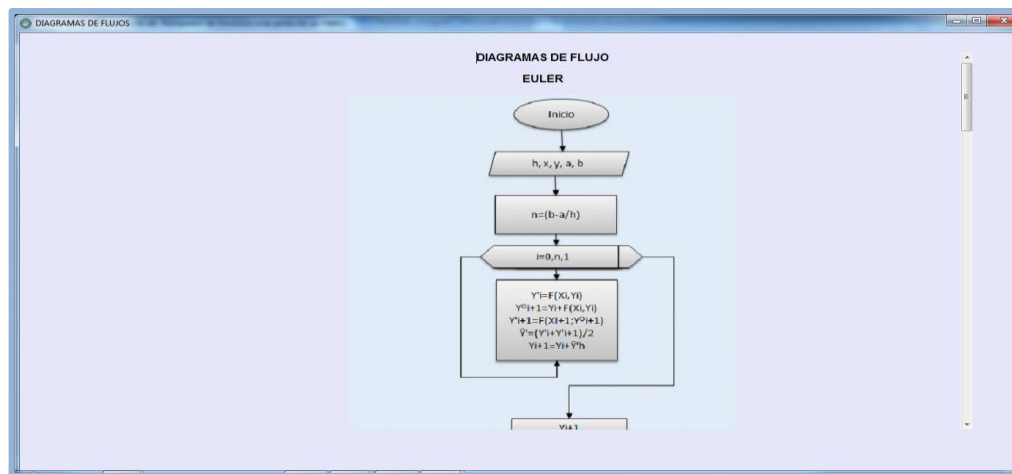


Fig. 93. Diagramas de flujos

FWKO (FREE WATER KNOCK-OUT DRUM)

Los FWKO por sus siglas en inglés Free Water Knock-out Drum, Separador de agua libre por golpes, juegan un papel fundamental en el procesamiento de petróleo, ya que son los encargados de separar el mayor contenido de agua libre proveniente de pozos o baterías aguas arriba.

El contenido de entrada de agua en petróleo que estos equipos procesan llega hasta el 95%, permitiendo una salida de agua en crudo de hasta un 30%. Aguas debajo de este equipo, comienza el tren de tratamiento tanto del petróleo como del agua.

Fuente: blog petrolero

El principio de funcionamiento es mediante separación gravitatoria, ayudado por tratamientos químicos como son los rompedores de emulsiones los cuales se dosifican en la corriente de entrada de los FWKO's para que estos se encarguen de debilitar la emulsión agua-crudo y poder separar este último lo mejor posible.

Aplicación

En esta aplicación se busca calcular la dosificación en el tanque debido a la acumulación de fluido que se genera en este. La acumulación representa el cambio de masa en el reactor por un cambio en el tiempo. En un sistema de volumen constante, esto se formula simplemente como

Fig. 94. Marco teórico complementario

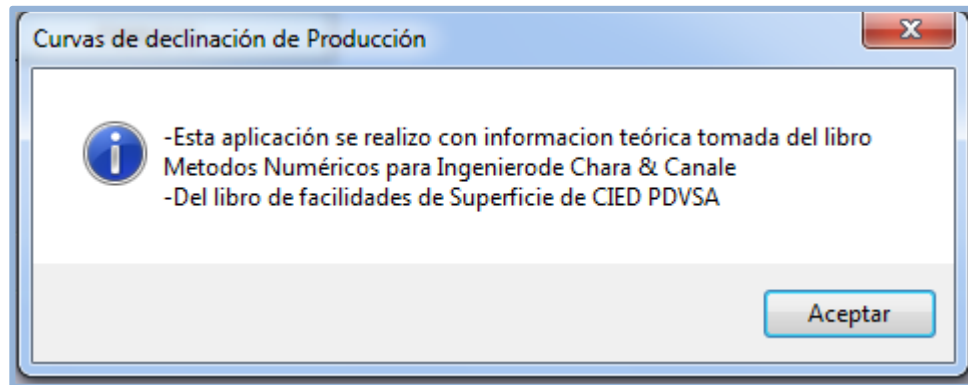


Fig. 95. Créditos