

**HERRAMIENTA EDUCATIVA MULTIMEDIA PARA EL ESTUDIO DE LA  
ASIGNATURA PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS DEL YACIMIENTO**

**MANUEL ALEJANDRO ESCARRIA AGUDELO  
JORGE EDUARDO VILLAMIZAR MARTINEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICOQUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS  
BUCARAMANGA**

**2012**

**HERRAMIENTA EDUCATIVA MULTIMEDIA PARA EL ESTUDIO DE LA  
ASIGNATURA PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS DEL YACIMIENTO**

**MANUEL ALEJANDRO ESCARRIA AGUDELO  
JORGE EDUARDO VILLAMIZAR MARTINEZ**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de  
Ingeniero de Petróleos**

**Director:  
Julio Cesar Pérez  
Ingeniero de Petróleos**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICOQUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS  
BUCARAMANGA**

**2012**

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	21
<b>1. TECNOLOGÍA DE INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN (TIC)</b> .....	23
<b>1.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS TIC'S</b> .....	23
1.1.1 Inmaterialidad (posibilidad de digitalización).....	23
1.1.2 Instantaneidad. ....	24
1.1.3 Aplicaciones multimedia. ....	24
<b>1.2 LAS TIC'S EN LA EDUCACIÓN</b> .....	25
1.2.1 Colaboración .....	28
1.2.2 Comunicación. ....	28
1.2.3 Análisis.....	28
1.2.4 Creatividad.....	28
<b>1.3 CLASIFICACIÓN DE LAS TIC'S TOMANDO EN CUENTA TIPOS DE MEDIO Y ENFOQUES EDUCATIVOS</b> .....	28
i. Predominantemente transmisivo.....	29
ii. Particularmente de experiencias y conjeturales.....	29
iii. Fundamentalmente colaborativo y creativo .....	30
<b>1.4 ESTADO DEL ARTE</b> .....	30
<b>1.5 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS TIC'S EN LA EDUCACIÓN</b> ...	31
<b>1.6 EDUCACIÓN VIRTUAL</b> .....	32
<b>1.7 MULTIMEDIA</b> .....	36
1.7.1 Hipertexto e Hipermedia.....	37
1.7.2 Tipos de multimedia. ....	37

<b>1.8 SISTEMAS DE EVALUACIÓN.</b>	39
1.8.1 Tipos de Evaluación.....	40
1.8.1.1 Según su finalidad y función.....	40
1.8.1.2 Según su extensión. ....	40
1.8.1.3 Según los agentes evaluadores. ....	40
1.8.1.4 Según el momento de aplicación.....	41
<b>1.9 PLATAFORMAS COMPUTACIONALES</b>	41
1.9.1 Actionscript II .....	41
1.9.2 Actionscript III .....	42
1.9.3 Adobe Flash.....	42
<b>2. PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS DEL YACIMIENTO</b>	43
<b>2.1 QUÍMICA DE LOS HIDROCARBUROS.</b>	44
2.1.1 Hidrocarburos de cadenas abiertas o Alifáticas. ....	44
2.1.1.1 Saturados.....	44
2.1.1.1.1 Alcanos o Parafinas. ....	45
2.1.1.2 Insaturados.....	46
2.1.1.2.1 Alquenos u Olefinas. ....	46
2.1.1.2.2 Alquinos. ....	47
2.1.2 Hidrocarburos de cadenas cerradas o Alicíclicas. ....	48
2.1.2.1 Saturados.....	48
2.1.2.1.1 Cicloalcanos.....	48
2.1.2.2 Insaturados.....	49
2.1.2.2.1 Cicloalquenos.....	49
2.1.3 Tipos de crudo. ....	49
✓ Composición. ....	49
✓ Grados °API. ....	49

✓ Contenido de Azufre. ....	49
<b>2.2 COMPORTAMIENTO DE FASES. ....</b>	<b>49</b>
2.2.1 Sustancias Puras. ....	50
2.2.1.1 Diagrama de fase para una sustancia pura. ....	50
2.2.2 Mezcla de dos omponentes. ....	51
2.2.3 Mezcla de tres componentes. ....	52
2.2.4 Diagramas multicomponentes. ....	53
2.2.5 Los cinco tipos de fluidos del yacimiento. ....	53
2.2.5.1 Aceite Negro. ....	54
2.2.5.2 Aceite Volátil. ....	55
2.2.5.3 Gases Retrogradados. ....	56
2.2.5.4 Gases Húmedos. ....	57
2.2.5.5 Gas Seco. ....	58
<b>2.3 ECUACIONES DE ESTADO ....</b>	<b>59</b>
2.3.1 Gases Ideales. ....	59
2.3.1.1 Densidad de un gas ideal. ....	61
2.3.1.2 Mezcla de los gases ideales. ....	61
2.3.1.2.1 Ley de Dalton ....	61
2.3.1.2.2 Ley de Amagat. ....	61
2.3.1.3 Peso Molecular aparente de una mezcla de gases. ....	62
2.3.1.4 Gravedad Específica de un gas. ....	62
2.3.2 Gases Reales. ....	62
2.3.2.1 Ecuación de Compresibilidad. ....	63
2.3.2.2 Ley de los Estados Correspondientes. ....	63
2.3.2.3 Ecuación de Estado de Compresibilidad para mezcla de gases. ....	64

2.3.2.4	Efecto de Componentes No Hidrocarburos. ....	67
2.3.2.5	Otras Ecuaciones de Estado para Gases Reales.....	68
2.3.2.5.1	Ecuación de estado de Van Der Waals.....	69
2.3.2.5.2	Ecuación de estado en el Punto Crítico. ....	69
2.3.2.5.3	Ecuación de estado Beattie – Bridgeman. ....	69
2.3.2.6	Recientes desarrollos en las ecuaciones de estado.....	69
2.3.2.6.1	Ecuación de estado Redlich – Kwong.....	69
2.3.2.6.2	Ecuación de estado Peng – Robinson. ....	70
<b>2.4</b>	<b>PROPIEDADES DE LOS GASES.</b> .....	<b>70</b>
2.4.1	Factor volumétrico de formación del gas. ....	71
2.4.2	Coefficiente de compresibilidad isotérmico del gas. ....	71
2.4.3	Viscosidad del gas. ....	71
2.4.3.1	Método de Carr – Kobayashi – Burrows.....	74
2.4.3.2	Método de Lee - González – Eakin .....	75
2.4.4	Valor Calorífico. ....	76
2.4.5	Propiedades de los gases húmedos. ....	76
<b>2.5</b>	<b>PROPIEDADES DEL ACEITE.</b> .....	<b>77</b>
2.5.1	Gravedad específica del crudo. ....	77
2.5.2	Factor volumétrico de formación del aceite. ....	78
2.5.3	Relación gas – aceite en solución. ....	78
2.5.4	Factor volumétrico de formación total. ....	78
2.5.5	Coefficiente de compresibilidad isotérmica del aceite.....	79
2.5.6	Viscosidad del aceite. ....	79
2.5.7	Coefficiente isobárico de la expansión térmica. ....	79
2.5.8	Tensión interfacial .....	80
<b>2.6</b>	<b>ANÁLISIS PVT.</b> .....	<b>80</b>

2.6.1	Expansión a composición constante.....	81
2.6.2	Depleción a volumen constante. ....	82
2.6.3	Liberación diferencial.....	82
2.6.4	Prueba del separador. ....	83
<b>2.7</b>	<b>EQUILIBRIO DE FASES GAS – LIQUIDO.</b> .....	<b>84</b>
2.7.1	Soluciones ideales. ....	85
2.7.1.1	Ecuación de Raoult .....	85
2.7.1.2	Ecuación de Dalton .....	86
2.7.1.3	Composiciones y Cantidades de las fases de equilibrio gas y líquido en una solución ideal. ....	86
2.7.1.4	Cálculo de la presión del punto de burbuja de una solución líquida ideal.....	86
2.7.1.5	Cálculo de la presión del punto de rocío de una solución gaseosa ideal.....	87
2.7.2	Soluciones NO ideales.....	87
2.7.2.1	Composiciones y cantidades de las fases gas y líquido en equilibrio de una solución real. ....	89
2.7.2.2	Cálculo de la presión del punto de burbuja de un líquido real .....	89
2.7.2.3	Cálculo de la presión de punto de rocío de un gas ideal. ....	89
2.7.3	Presión de convergencia.....	90
<b>2.8</b>	<b>CARACTERIZACIÓN DE LA FRACCIÓN PESADA.</b> .....	<b>91</b>
2.8.1	Correlaciones generalizadas. ....	92
2.8.1.1	Correlación de Edmister .....	92
2.8.1.2	Correlación de Riazi y Daubert.....	92
2.8.1.3	Correlación de Cavett.....	93
2.8.1.4	Correlación de Kessler y Lee.....	94

2.8.1.5	Correlación de Winn y Sim-Daubert .....	95
2.8.1.6	Correlación del Factor de compresibilidad crítica.....	95
2.8.1.7	Correlación de Magoulas – Tassios. ....	95
2.8.1.8	Correlación de Twu .....	96
2.8.2	Determinación PNA .....	96
2.8.3	Esquemas de Expansión y Agrupamiento. ....	97
2.8.3.1	Esquemas de Expansión.....	97
2.8.3.1.1	Método de Katz. ....	97
2.8.3.1.2	Método de Lohrenz .....	98
2.8.3.1.3	Método de Pedersen .....	98
2.8.3.1.4	Método de Ahmed.....	98
2.8.3.2	Esquemas de Agrupamiento. ....	99
<b>2.9</b>	<b>PROPIEDADES DEL AGUA DE FORMACIÓN.....</b>	<b>100</b>
2.9.1	Propiedades químicas del agua de formación.....	100
2.9.2	Propiedades físicas del agua de formación. ....	101
2.9.2.1	Densidad o Gravedad específica del agua de formación	101
2.9.2.2	Solubilidad del gas en el agua.....	102
2.9.2.3	Compresibilidad del agua. ....	103
2.9.2.4	Expansión térmica del agua. ....	104
2.9.2.5	Factor volumétrico de formación del agua.....	104
2.9.2.6	Viscosidad del agua de formación.....	106
<b>3</b>	<b>METODOLOGÍA DEL DESARROLLO .....</b>	<b>107</b>
<b>3.1</b>	<b>ANÁLISIS DEL PROYECTO .....</b>	<b>107</b>
3.1.1	Objetivos de la herramienta educativa multimedia.....	107
3.1.2	Área de Contenido.....	108
3.1.3	Criterios Pedagógicos.....	108

3.1.4	Desarrollo Material. ....	108
<b>3.2</b>	<b>DISEÑO.....</b>	<b>109</b>
3.2.1	Diseño Lógico. ....	109
3.2.2	Diseño Funcional .....	109
3.2.3	Diseño Físico. ....	109
3.2.3.1	Medios de Transmisión. ....	109
3.2.3.2	Interfaz de Usuario. ....	110
3.2.3.3	Imágenes.....	111
3.2.3.4	Sonido. ....	111
3.2.3.5	Color.....	111
3.2.3.6	Contenido Audiovisual.....	111
3.2.3.7	Contenido de la Herramienta.....	111
3.2.3.8	Evaluación.....	114
<b>4.</b>	<b>MANUAL DEL USUARIO. ....</b>	<b>115</b>
<b>4.1</b>	<b>REQUERIMIENTOS PARA LA INSTALACIÓN Y USO DE LA HERRAMIENTA MULTIMEDIA.....</b>	<b>115</b>
4.1.1	Instalación de la herramienta educativa multimedia. ....	115
4.1.2	Procedimiento de Inicio.....	116
<b>4.2</b>	<b>DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA.....</b>	<b>117</b>
4.2.1	Interfaz de inicio.....	117
4.2.2	Contenido.....	119
4.2.3	Evaluación.....	122
4.2.4	Ayuda.....	126
4.2.5	Botones Complementarios. ....	127
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>130</b>
<b>6.</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>131</b>

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... 132

## LISTA DE FIGURAS.

	<b>Pág.</b>
<b>Fig. 1.</b> Esquema del desarrollo de las tecnologías de información y comunicación en el ámbito educativo .....	26
<b>Fig. 2.</b> Esquema general de los Hidrocarburos .....	44
<b>Fig. 3.</b> Diagrama de fases típico de una sustancia pura. ....	51
<b>Fig. 4.</b> Diagrama típico de fase de una mezcla de dos componentes con la línea de expansión isotérmica, 1-2. ....	52
<b>Fig. 5.</b> Diagrama Ternario. ....	53
<b>Fig. 6.</b> Diagrama de fase típico de los aceites negros. ....	54
<b>Fig. 7.</b> Diagrama típico para los aceites volátiles. ....	55
<b>Fig. 8.</b> Diagrama de fase típico para un gas retrogrado. ....	56
<b>Fig. 9.</b> Diagrama de fase típico para un gas húmedo. ....	57
<b>Fig. 10.</b> Diagrama de fase típico para los gases secos. ....	58
<b>Fig. 11.</b> Compresibilidad de los gases naturales en función de la presión y temperatura pseudo-crítica .....	66
<b>Fig. 12.</b> Factor de ajuste $\epsilon$ para gases ácidos. ....	68
<b>Fig. 13.</b> Viscosidades de los gases en función de la gravedad específica, temperatura y presión. ....	73
<b>Fig. 14.</b> Esquemas del experimento de expansión a composición constante. ....	81
<b>Fig. 15.</b> Ilustración esquemática de la depleción a volumen constante. ....	82
<b>Fig. 16.</b> Prueba de liberación diferencial .....	83
<b>Fig. 17.</b> Esquema esquemático de la prueba de los separadores. ....	84
<b>Fig. 18.</b> Valores de presión de vapor de compuestos puros de hidrocarburos, en función de la temperatura. ....	88

<b>Fig. 19.</b> Presiones de convergencia para hidrocarburos. ....	91
<b>Fig. 20.</b> Diagrama general de Stiff .....	101
<b>Fig. 21.</b> densidad del agua de formación a condiciones estándar .....	101
<b>Fig. 22.</b> Resultados obtenidos de la solubilidad del gas en el agua por Dodson y Standing.....	102
<b>Fig. 23.</b> Corrección de la solubilidad del gas en agua debido a la salinidad del agua .....	103
<b>Fig. 24.</b> Compresibilidad del agua pura. ....	103
<b>Fig. 25.</b> Corrección de la compresibilidad por gas en solución. ....	104
<b>Fig. 26.</b> Factor volumétrico del agua de formación. ....	105
<b>Fig. 27.</b> Viscosidad de agua pura vs Temperatura. ....	105
<b>Fig. 28.</b> Relación de viscosidad entre agua salada y pura vs salinidad. ....	106
<b>Fig. 29.</b> Archivo de la aplicación de la herramienta multimedia propiedades de los fluidos del yacimiento. ....	116
<b>Fig. 30.</b> Visualización de inicio a la interfaz de la herramienta educativa multimedia propiedades de los fluidos del yacimiento. ....	117
<b>Fig. 31.</b> Interfaz de inicio a la herramienta multimedia. ....	118
<b>Fig. 32.</b> Visualización de los nueve secciones principales que involucran el contenido de la herramienta multimedia. ....	119
<b>Fig. 33.</b> Ventana del subtema 1.3 tipos de crudo, dentro del capítulo 1 del contenido. ....	122
<b>Fig. 34.</b> Ventana de visualización de la sección Evaluación. ....	123
<b>Fig. 35.</b> Visualización de una pregunta de tipo Falso o Verdadero .....	123
<b>Fig. 36.</b> Visualización de pregunta tipo Selección múltiple con única respuesta. ....	124
<b>Fig. 37.</b> Visualización del puntaje obtenido respecto al puntaje necesario para aprobar el tema estudiado. Resultado: Reprobado .....	125

<b>Fig. 38.</b> Visualización del puntaje obtenido respecto al puntaje necesario para aprobar el tema estudiado. Resultado: Aprobado .....	125
<b>Fig. 39.</b> Ventana de visualización del modulo Ayuda. ....	126
<b>Fig. 40.</b> Botón de Entrar a la interfaz de inicio. ....	127
<b>Fig. 41.</b> Botón del Inicio .....	127
<b>Fig. 42.</b> Botón de Cerrar .....	128
<b>Fig. 43.</b> Botón del Sonido .....	128
<b>Fig. 44.</b> Botón de Aumentar o Reducir la pantalla .....	129
<b>Fig. 45.</b> Botón de Página anterior y Página siguiente .....	129
<b>Fig. 46.</b> Botones de acople de pantalla. ....	129

## LISTA DE TABLAS.

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1.</b> Ventajas y Desventajas de las TIC's en la educación .....	32
<b>Tabla 2.</b> Tipos de multimedia según su conexión. ....	38
<b>Tabla 3.</b> Nombre y fórmula de distintos alcanos. ....	45
<b>Tabla 4.</b> Nombre y fórmula estructural de algunos alquenos de interés. ....	47
<b>Tabla 5.</b> Nombre y fórmula de algunos alquinos de interés. ....	47
<b>Tabla 6.</b> Nombre y fórmula de algunos cicloalcanos de interés. ....	48
<b>Tabla 7.</b> Presión y temperatura crítica de algunos hidrocarburos de interés. ....	64
<b>Tabla 8.</b> Presiones y temperaturas críticas de sulfuro de hidrógeno, Dióxido de Carbono y Nitrógeno .....	67
<b>Tabla 9.</b> Valores de parámetros y constantes para la correlación de Riazi y Daubert .....	93
<b>Tabla 10.</b> Coeficientes de la correlación de Cavett .....	93
<b>Tabla 11.</b> Valores de $S$ para diversos sistemas de Hidrocarburos .....	99

## RESUMEN

**TITULO:** HERRAMIENTA EDUCATIVA MULTIMEDIA PARA EL ESTUDIO DE LA ASIGNATURA PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS DEL YACIMIENTO

**AUTORES:** MANUEL ALEJANDRO ESCARRIA AGUDELO  
JORGE EDUARDO VILLAMIZAR MARTÍNEZ\*\*

**PALABRAS CLAVES:** Herramienta, educativa, multimedia, propiedades, fluidos, yacimiento.

### CONTENIDO:

La herramienta educativa multimedia el estudio de la asignatura propiedades de los fluidos del yacimiento se desarrolló con el objetivo de brindar a los estudiantes un soporte académico que permita potencializar el interés y fortalecer la metodología del aprendizaje hacia la asignatura propiedades de los fluidos del yacimiento, la cual hace parte del programa académico de Ingeniería de Petróleos, generando una innovación frente al proceso de enseñanza que tradicionalmente se ha venido practicando.

La herramienta multimedia ha sido diseñada basándose según aquellos criterios pedagógicos, los cuales permiten al estudiante alcanzar su aprendizaje gracias a la motivación, interés e interactividad con la herramienta, generando una mejora en la comprensión de los conceptos en forma precisa y didáctica, logrando así, un aprendizaje a un ritmo propio y mantener al alcance una fuente permanente de consulta completa.

Adicionalmente, la herramienta se fundamenta en la interacción directa entre la aplicación y el usuario, permitiendo un flujo directo y constante de información entre las dos partes, gracias a la utilización de imágenes, tablas, textos y animaciones, con los que se puede interactuar de manera rápida, ágil y sencilla, facilitando de esa manera el aprendizaje del estudiante debido a que permite enfocarse en cualquier tema que contemple la asignatura propiedades de los fluidos del yacimiento.

---

\*\* Facultad de Ingenierías Físico Químicas, Escuela de Ingeniería de Petróleos, Director Ing. Julio César Pérez.

## ABSTRACT

**TITLE:** MULTIMEDIA EDUCATIONAL TOOL FOR THE STUDY OF THE SUBJECT PROPERTIES OF RESERVOIR FLUIDS\*

**AUTHORS:** MANUEL ALEJANDRO ESCARRIA AGUDELO  
JORGE EDUARDO VILLAMIZAR MARTÍNEZ\*\*

**KEYWORDS:** Tool, educational, multimedia, properties, fluids, reservoir.

### DESCRIPTION:

The multimedia educational tool for the study of the subject properties of reservoir fluids was developed in order to provide students with academic support that allows potentiate the interest and enhance learning methodology towards the subject properties of reservoir fluids, which is part of the curriculum of Petroleum Engineering, generating an innovation compared to the teaching that has been practiced traditionally.

The tool has been designed based media as those educational criteria, which allow students to reach their learning through motivation, interest and interactivity with the tool, generating an improved understanding of the concepts in teaching accurately and, thus, learning at their own pace to reach and maintain a permanent source of full consultation.

Additionally, the tool is based on the direct interaction between the application and the user, allowing a direct and constant flow of information between the two sides, through the use of images, tables, text and animations, with which you can interact quick, agile and easily, thereby facilitating student learning because they can focus on any topic that addresses the subject properties of reservoir fluids.

---

\* Work Degree

\*\* Physical and Chemical Engineering Faculty, Petroleum Engineering School, Project Director Ing. Julio César Pérez.

## INTRODUCCIÓN

Las tecnologías de la información y la comunicación (TIC's) son un factor de vital importancia en la transformación de la nueva economía global y en los rápidos cambios que están tomando lugar en la sociedad. En la última década, las nuevas herramientas tecnológicas de la información y la comunicación han producido un cambio profundo en la manera en que los individuos se comunican e interactúan.

Actualmente las TIC's están sufriendo un desarrollo vertiginoso, esto está afectando prácticamente todos los campos de nuestra sociedad, y la educación no es una excepción.

Esas tecnologías se presentan cada vez más como una necesidad en el contacto de sociedad donde los rápidos cambios, el aumento de los conocimientos y las demandas de una educación de alto nivel constantemente actualizada se convierten en una exigencia permanente. El uso de esta tecnología ha permitido mejorar la práctica de la docencia, desarrollar y fortalecer la educación.

Para todo tipo de aplicaciones educativas, las TIC's son medios y no fines. Por lo tanto, son instrumentos y materiales de construcción que facilitan el aprendizaje, el desarrollo de habilidades y distintas formas de aprender, estilos y ritmos de los aprendices.

Al tener un adecuado manejo de las TIC's puede generar un mayor alcance a la hora de poner en marcha los conceptos de enseñanza y aprendizaje. No es fácil practicar una enseñanza de las TIC que resuelva todos los problemas que se presentan, pero hay que tratar de desarrollar sistemas de enseñanza que relacionen los distintos aspectos de la informática y de la transmisión de la

información, siendo al mismo tiempo lo más constructivos que sea posible desde el punto de vista metodológico.

Es por esto que la herramienta multimedia desarrollada en este proyecto es para brindar un mayor soporte tanto para los docentes como para los alumnos interesados en aprender conocimientos generales vistos en la asignatura Propiedades de los Fluidos del Yacimiento.

Esta herramienta intenta provisionar un material didáctico relacionado con todo lo que abarque el contenido de la asignatura Propiedades de los Fluidos del Yacimiento a los estudiantes, debido a que se entregará la información de los contenidos de la asignatura de manera sencilla y práctica de entender, ya que, la información obtenida en las fuentes bibliográficas que mencionan estos temas datan de años muy atrás, donde la tecnología estaba aún precaria.

En el desarrollo de la herramienta se trató de entregar un diseño agradable, de manejo sencillo, el cual incluirá imágenes y animaciones interactivas. También constará de un mecanismo de evaluación para cada capítulo a discutir a lo largo de la asignatura, el cual permite al estudiante medir todos los conocimientos adquiridos gracias a la herramienta y contar con la aprobación del docente al curso.

Este documento está compuesto de cuatro capítulos, como se puede observar en la Tabla de Contenidos. En el primer capítulo se revisa todos los conceptos de las TIC's en todos sus aspectos, características, metodología y aportes a la educación. En el segundo capítulo se hace un breve resumen de todo el contenido de la asignatura Propiedades de los Fluidos del Yacimiento a implementar en la herramienta. El tercer capítulo se hace un detalle minucioso de la metodología para el diseño y funcionamiento de la herramienta. Por último, en el cuarto capítulo se brinda al estudiante el manual del usuario para su comprensión y correcto uso.

En el CD que acompaña este proyecto, viene incluido el archivo ejecutable de la herramienta con todos sus componentes, manual de usuario en formato PDF y todo el contenido de la materia en formato PDF.

## 1. TECNOLOGÍA DE INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN (TIC)<sup>1</sup>

Se pueden considerar las tecnologías de la información y la comunicación como un concepto dinámico. Por ejemplo, a finales del siglo XIX el teléfono podría ser considerado *una nueva tecnología* según las definiciones actuales. Esta misma consideración podía aplicarse a la televisión cuando apareció y se popularizó en la década de los '50 del siglo pasado. Sin embargo, estas tecnologías hoy no se incluirían en una lista de las TIC y es muy posible que actualmente los ordenadores ya no puedan ser calificados nuevas tecnologías. A pesar de esto, en un concepto amplio, se puede considerar que el teléfono, la televisión y el ordenador forman parte de lo que se llama TIC en tanto que tecnologías que favorecen la comunicación y el intercambio de información en el mundo actual.

Se denominan tecnologías de la información y comunicación, al conjunto de tecnologías que permiten la producción, almacenamiento, tratamiento, comunicación, registro y presentación de informaciones en forma de voz, imágenes y datos contenidos en señales de naturaleza acústica, óptica y electromagnética. Las TIC's incluyen la electrónica como tecnología base que soporta el desarrollo de las telecomunicaciones, la informática y el audiovisual.

### 1.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS TIC'S

**1.1.1 Inmaterialidad (Posibilidad de Digitalización).** Las TIC's convierten la información, tradicionalmente sujeta a un medio físico, en inmaterial. Mediante

---

<sup>1</sup> <http://www.cibersociedad.net/archivo/articulo.php?art=218>

la digitación es posible almacenar grandes cantidades de información, en dispositivos físicos de pequeño tamaño (discos, CD, memorias USB, etc.). A su vez los usuarios pueden acceder a información ubicada en dispositivos electrónicos lejanos, que se transmite utilizando las redes de comunicación, de una forma transparente e inmaterial.

Esta característica, ha venido a definir lo que se ha denominado como “realidad virtual”, esto es, realidad no real. Mediante el uso de las TIC’s se están creando grupos de personas que interactúan según sus propios intereses, conformando comunidades o grupos virtuales.

**1.1.2 Instantaneidad.** Se puede transmitir la información instantáneamente a lugares muy alejados físicamente, mediante las denominadas “autopistas de la información”.

Se han acuñados términos como *ciberespacio*, para definir el espacio virtual, no real, en el que se sitúa la información, al no asumir las características físicas del objeto utilizado para su almacenamiento, adquiriendo ese grado de inmediatez e inmaterialidad.

**1.1.3 Aplicaciones Multimedia.** Las aplicaciones o programas multimedia han sido desarrollados como una interfaz amigable y sencilla de comunicación, para facilitar el acceso a las TIC’s de todos los usuarios. Una de las características más importantes de estos entornos es “La Interactividad”. Es posiblemente la característica más significativa.

A diferencia de las tecnologías más clásicas que permiten una interacción unidireccional, de una masa de espectadores pasivos, el uso del computador interconectado mediante las redes digitales de comunicación, proporciona una comunicación bidireccional. Las comunidades virtuales son aquellos grupos de personas los cuales interactúan entre ellos sus intereses mutuos mediante la comunicación digital.

Otra de las características más relevantes de las aplicaciones multimedia, y que mayor incidencia tienen sobre el sistema educativo, es la posibilidad de

transmitir información a partir de diferentes medios (textos, imagen, sonido, animaciones, etc.) por primera vez, en un mismo documento se pueden transmitir informaciones multi-sensoriales, desde un modelo interactivo.

## **1.2 LAS TIC'S EN LA EDUCACIÓN<sup>2</sup>**

La evolución de las tecnologías de información y comunicación en el campo de la educación ha experimentado cinco cambios importantes en los últimos treinta años, Teemu Leinonen dividió esta evolución en cinco etapas, como se muestra en la Figura 1, entre finales de los años setenta y principios de década posterior al año dos mil.

En la primera etapa, luego de los años 1970 y antes de los años 1980, fue cuando se empezó a implementar computadores en las escuelas y a implementar códigos de computación a los alumnos para el área de cálculo y matemáticas. Aunque no habían muchos software que pudieran implementar estos tipos de códigos.

El motivo pedagógico para enseñar programación no era para entrenar programadores, pero el hecho de que los estudiantes desarrollaran habilidades lógicas y matemáticas fue la iniciativa para involucrar este tipo de nuevas enseñanzas en las aulas de docencia. Se crearon los primeros softwares de códigos sencillos de aprender, para emplear en prácticas y ejercitar, estos ejercicios no ayudaron mucho a los estudiantes a alcanzar un entendimiento profundo del tema, pero tanto se iba avanzando la tecnología en su momento, los estudiantes ejercitaron la memoria a corto plazo y el hábito de la prueba y el error en sus cálculos y desarrollos lógicos.

En la segunda etapa, luego de los años 1980 y antes de los años 1990, se empezaron a crear los primeros avances gráficos y multimedias, soportado en la creencia que los estudiantes aprenderían mejor si observaban las cosas en colores y en forma de animaciones, luego se realizaban ejercicios didácticos. Esta fue la época dorada de los CD-ROMs y computadores multimedias.

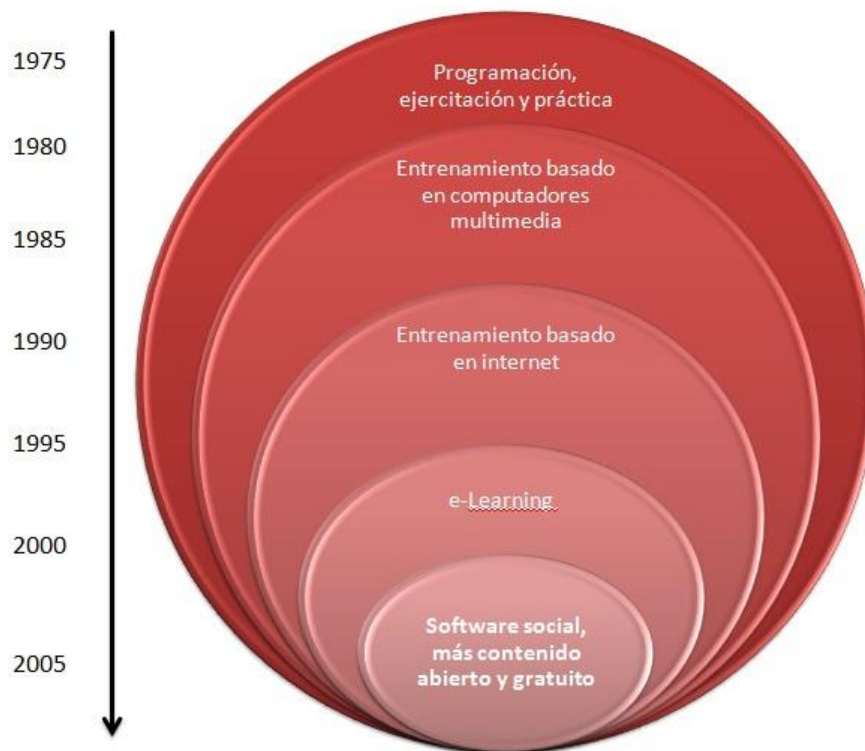
Esta combinación fue seriamente esperada a lograr un gran impacto en los diversos modos de enseñanza. Estudios de la época, resaltaron un gran

---

<sup>2</sup> <http://flosse.blogging.fi/2005/06/23/critical-history-of-ict-in-education-and-where-we-are-heading/>

avance en la manera que los estudiantes aprendían mejor observando las animaciones que aquellos estudiantes que estudiaban los mismos contenidos de manera estática (libros y gráficos estáticos).

Fig. 1. Esquema del desarrollo de las tecnologías de información y comunicación en el ámbito educativo



Fuente: <http://flosse.blogging.fi/2005/06/23/critical-history-of-ict-in-education-and-where-we-are-heading/>

Los componentes de ejercicio y la práctica (ahora en color) se mantuvo ahí, pero ahora era ese rol fue más para controlar al estudiante, si este aprendió lo que la multimedia quería tratar de enseñar.

<sup>3</sup>El entrenamiento basado en Internet, comunicación y colaboración en redes, fue de nuevo la esperanza en el desarrollo de la educación, pues con la llegada de Internet, se entendió que se podía acceder a contenidos actualizados e intemporales de forma masiva y con bajo costo, la problemática para algunos

<sup>3</sup> VANEGAS PEREZ, Daniel Andrés y GONZÁLEZ GONZÁLEZ Christian Leonardo. "Herramienta multimedia para el estudio del área de perforación de pozos en el programa académico de ingeniería de petróleos". Universidad Industrial de Santander. Tesis de Grado. Bucaramanga, 2010. Pag 24

fue nuevamente la ausencia de contenido multimedia en Internet, razón atribuida a la falta de aprendizaje por medio de Internet en las personas.

Luego de los años 1990 y antes de los años 2000, llevó a la implementación del e-learning (aprendizaje en línea), que consistía principalmente en el desarrollo de cursos y plataformas educativas que requerían actividades por parte de estudiantes y profesores sin necesidad de contacto físico, favoreciendo la impersonalidad, lo cual implicaba que cualquier persona con acceso a internet, podía fácilmente estudiar desde cualquier temática sin importar su ubicación.

Finalmente, el acceso a contenidos abiertos y gratuitos representan el avance más grande observado hasta el día de hoy, con el auge y establecimiento de sitios de socialización de la información vía web, la retroalimentación de los usuarios con personas expertas en cada tema propende la accesibilidad a un conocimiento más elaborado respecto a lo que se lograba en décadas anteriores.

La educación del tercer milenio se ha convertido en algo que la gente comparte cada vez más por medio de poderosas redes y cerebros artificiales donde se requiere lograr: aprender a aprender, aprender a conocer, aprender a hacer, y aprender a comprender al otro.

<sup>4</sup>Por todo lo mencionado anteriormente, las TIC's dentro de la gran gama de posibilidades que brindan, se puede dividir las en 4 grandes campos, de acuerdo a las necesidades de los usuarios (alumnos y docentes).

---

<sup>4</sup> <http://edithlupaca.wordpress.com/> ; "La Importancia TICS en la Educación", LUPACA Violeta Edith

**1.2.1 Colaboración.** Gracias a las TIC's desaparecen las fronteras y lo individual, ahora la información puesta en la red está al alcance de todos, esto hace que la posibilidad de compartir información sea de mayor factibilidad. Este compartir entre los diversos usuarios de la red virtual se vuelve en una colaboración incesante.

**1.2.2 Comunicación.** Esta área es fundamental en la educación ya que es necesario que exista una buena y confiable comunicación entre los alumnos y docentes.

**1.2.3 Análisis.** Con el paso del tiempo, los alumnos cada día se realizan una serie de preguntas buscando una explicación sobre algún tema y por ende analizando una situación determinada. Esta capacidad de auto reflexión y análisis debe ser aprovechada por los maestros.

**1.2.4 Creatividad.** No sujeta la imaginación a lo que el docente pueda explicar o desarrollar ante el ámbito el cual se ejecute una idea, no se tendría fronteras al momento de idealizar situaciones las cuales pueden socializarse, y así mismo, resolver dudas de manera interpersonal.

### **1.3 CLASIFICACIÓN DE LAS TIC'S TOMANDO EN CUENTA TIPOS DE MEDIO Y ENFOQUES EDUCATIVOS <sup>5</sup>**

El uso de la TIC está muy ligado al enfoque educativo que se quiera usar, así como las características fundamentales de los distintos tipos de medios y el nivel de cultura informática que pueden tener los participantes en el proceso.

Existen dos tipos de enfoques educativos:

- a) **Enfoque algorítmico** Centrado en el que enseña, sigue reglas para una efectiva transmisión del que sabe hacia los que desean aprender, hay facilitación desde el centro.

---

<sup>5</sup>[http://www.colombiaaprende.edu.co/html/investigadores/1609/articles-73523\\_archivo.pdf](http://www.colombiaaprende.edu.co/html/investigadores/1609/articles-73523_archivo.pdf)

**b) Enfoque Heurístico** Centrado en el que aprende, sigue principios que orientan la construcción individual o colaborativa del conocimiento, hay facilitación desde el lado.

Estos dos enfoques se entienden como opuestos, pero a la vez complementarios, y de esta manera se pueden instrumentar con tres tipos de medios educativos:

### **I. Predominantemente Transmisivo**

Actividad de investigación destinada por el docente para la profundización de una temática en desarrollo.

- Tutoriales para apropiación y afianzamiento de contenidos.
- Demostradores de procesos o productos.
- Ejercitadores de reglas o principios, con retroalimentación directa o indirecta.
- Sitios en la red para recopilación y distribución de información.
- Sistemas para reconocimiento de patrones (imágenes, sonidos, textos, voz).
- Sistemas de automatización de procesos, que ejecutan lo esperado dependiendo del estado de variables indicadoras del estado del sistema

### **II. Particularmente De Experiencias Y Conjeturales**

Apoya el (re)descubrimiento de conceptos o constructos (Estudio de un simulador donde se establecen conclusiones propias acerca del funcionamiento del fenómeno e incidencia de ciertas variables sobre el comportamiento del sistema)

- Modeladores de fenómenos o de micro-mundos.
- Simuladores de procesos o de micro-mundos.
- Sensores digitales de calor, sonido, velocidad, acidez, color, altura con los cuales se alimentan modeladores y simuladores.
- Digitalizadores y generadores de imágenes o de sonido.
- Calculadoras portátiles, numéricas y gráficas.

- Sistemas expertos en un dominio de contenido.
- Traductores y correctores de idiomas, decodificadores de lenguaje natural.
- Paquetes de procesamiento estadístico de datos.
- Agentes inteligentes: buscadores y organizadores con inteligencia.
- Herramientas de búsqueda y navegación en el ciberespacio.
- Herramientas multimedia creativas: editores de hipertextos, de películas, de sonidos, o de música.
- Herramientas para compactar información digital.
- Herramientas para transferir archivos digitales.

### **III. Fundamentalmente Colaborativo Y Creativo**

Exploración y explotación de ideas sobre proyectos asignados donde prima la autonomía progresiva en el proceso de aprendizaje.

- Juegos en la red, colaborativos o de competencia, con argumentos cerrados o abiertos, en dos o tres dimensiones.
- Sistemas de mensajería electrónica, pizarras electrónicas, así como ambientes de Chat textual o multimedia (video o audio conferencia) que permiten hacer diálogos sincrónicos.
- Sistemas de correo electrónico textual o multimedia, sistemas de foros electrónicos moderados o no moderados, que permiten hacer diálogos asincrónicos.

#### **1.4 ESTADO DEL ARTE**

Es de suma importancia el avance tecnológico que ha tenido en los distintos ámbitos, hoy por hoy la tecnología se ha convertido en un papel importante en el vivir de todo ser humano. Este avance tecnológico ha evolucionado hasta llegar al punto de ser un factor clave y de un valor incalculable en el transcurrir diario de las diversas sociedades. El internet y los modernos y sofisticados equipos de almacenamiento de datos que se han venido elaborando, han

permitido que aquellas fronteras y distancias hacia la información en tiempo record sea cada vez más corta.

Los computadores de escritorio han sido removidos, en una mayor proporción, a usos administrativos, empresariales y de entretenimiento en los hogares. Los dispositivos móviles que hoy son cada vez más pequeños, ligeros, versátiles, didácticos y de mayor capacidad de almacenamiento de datos, son estos dispositivos que han tomado una gran ventaja y tomando terreno en el ámbito estudiantil.

Aquellos softwares que sean de fácil acceso y comprensión, son los que toman mayor partida ante los demás softwares. La educación moderna implementa el internet, dispositivos móviles, softwares sencillos para su comprensión de los temas vistos en clases. Es por esto que todos estos aspectos se han unido para poder crear una herramienta multimedia que permita agilizar y facilitar la comprensión y entendimiento de los estudiantes de la asignatura Propiedades de los Fluidos del Yacimiento, la cual hace parte del plan de estudios de Ingeniera de Petróleos en la Universidad Industrial de Santander.

Es por esto que una herramienta, la cual permita a los estudiantes entender de manera sencilla los conceptos a evaluar, será de gran utilidad, debido a que en algunas ocasiones, la información deseada y requerida no tiene la suficiente facilidad de acceso para el estudiante, haciendo de ésta, el instrumento indispensable que reduce el tiempo requerido para la comprensión de la información de la asignatura.

### **1.5 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS TIC'S EN LA EDUCACIÓN<sup>6</sup>**

Al igual que diversos esquemas de nuevas implementaciones para lograr un objetivo de mayor claridad, las TIC's presentan algunas ventajas y desventajas las cuales, dependiendo de cada estudiante o cada persona que las manipule, depende de su buen desempeño y uso adecuado, (ver Tabla 1)

---

<sup>6</sup> <http://peremarques.pangea.org/siyedu.htm>

## 1.6 EDUCACIÓN VIRTUAL<sup>7</sup>

La educación virtual abarca la utilización de las nuevas tecnologías presentes y futuras, a medida que se vayan desarrollando, hacia el desarrollo de metodologías alterativas para el aprendizaje y enseñanza hacia alumnos de poblaciones especiales que están limitadas por diversos aspectos lo cual dificulta la educación presencial, la calidad de docencia y tiempo disponible.

Tabla 1. Ventajas y Desventajas de las TIC's en la educación

VENTAJAS DE LAS TIC'S EN LA EDUCACIÓN	DESVENTAJAS DE LAS TIC'S EN LA EDUCACIÓN
Los estudiantes están permanentemente activos al interactuar con el computador y entre ellos a distancia.	La navegación por los atractivos espacios en el internet, es capaz de distraer al estudiante de su objetivo.
La versatilidad e interactividad del computador, la posibilidad de "dialogar" con él, el gran volumen de información disponible.	Muchas veces se pierde mucho tiempo buscando la información que se necesita; exceso de información disponible
Facilitan el trabajo en grupo y el cultivo de actitudes sociales, el intercambio de ideas, la cooperación y el desarrollo de conocimientos.	La libre interacción de los alumnos con estos materiales, no es siempre de calidad y a menudo descontextualizado, puede proporcionar aprendizajes incompletos
Material digital y audiovisual, el cual facilita el desarrollo de las habilidades de expresión escrita, grafica y audiovisual.	La multimedia interactiva e incluso el internet resulta motivador, pero un exceso de motivación puede provocar adicción.
Los entornos de tele formación y la posibilidad de que los alumnos trabajen ante su computador en tiempos deseados para el estudio, teniendo mayor autonomía.	El uso de los programas didácticos puede producir desfases con los demás trabajos del aula, especialmente cuando abordan aspectos parciales de la asignatura
Existe material diverso de manera didáctica que propone actividades evaluativas de parte del docente hacia el estudiante.	Los computadores pueden ser vistos afectados por uso; virus, desconfiguraciones, averías.
Las tareas educativas realizas con un	En renovación de equipos y

<sup>7</sup> <http://www.monografias.com/trabajos13/educvirt/educvirt.shtml>

computador permiten obtener un alto grado de interdisciplinariedad, debido a su procesador y gran almacenamiento, es capaz de tratar información muy rápido.	programas. Los continuos cambios en el mundo de la informática exigen una renovación de los equipos cada 4 o 6 años.
--	--

Fuente: <http://peremarques.pangea.org/siyedu.htm>

### **1.6.1 Principios.**

- ✓ La autoeducación.
- ✓ La descentración.
- ✓ La virtualización.
- ✓ La tecnologización.
- ✓ La sociabilidad virtual.
- ✓ La autoformación.
- ✓ La desterritorialización.

### **1.6.2 Características.**

- ✓ Es económico, debido a que no es necesario hacer presencia personal ante el docente o el centro educativo.
- ✓ Es oportuno para datos, textos, gráficos, sonido, voz e imágenes mediante la programación periódica de tele clases.
- ✓ Es motivador en el aprendizaje, gracias a que uno como usuario crea su propio espacio de aprendizaje, se puede efectuar en el lugar donde se tenga la herramienta disponible en espacios cómodos y agradables.
- ✓ Es actual, porque permite estar al alcance de las últimas novedades en los temas a través del internet y sistemas de información.

### **1.6.3 Aspectos positivos para los estudiantes.**

- ✓ Es protagonista y responsable por su propio proceso formativo.
- ✓ Recibe una instrucción y formación más personalizada.
- ✓ Existe mejora en la calidad de aprendizaje.
- ✓ Puede adaptar el estudio a su horario personal

- ✓ Todos tienen acceso a la enseñanza, no perjudicando esta por fallas en la asistencia periódica a clases por razones ajenas a su voluntad.
- ✓ Tienen un papel activo.
- ✓ Se requiere un esfuerzo de mayor responsabilidad y disciplina.

#### **1.6.4 Aspectos negativos a nivel institucional.**

- ✓ El acceso desigual en la población.
- ✓ Puede ser lenta y por lo tanto un poco desmotivadora.
- ✓ No se ofrece el mismo contacto persona a persona así como las clases presenciales.
- ✓ Fallas técnicas que pueden interrumpir el desarrollo de las clases.
- ✓ Hay dudas las cuales una clase virtual no puede resolver ni explicar.

**1.6.5 Rol del docente en la educación virtual.**<sup>8</sup> Al igual que sucede en la presencialidad, el profesor debe realizar aquellas actividades que exige una buena planeación académica,

- **DISEÑO DEL CURRÍCULUM.**
  - ✓ Planificación de actividades.
  - ✓ Selección de contenidos y recursos.
  - ✓ Establecer niveles de aprendizajes (actividades y contenidos complementarios para profundizar en los temas estudiados).
- **INFORMAR.**
  - ✓ Transmitir información sobre el contenido curricular.
  - ✓ Responder a los intereses de los alumnos.
  - ✓ Seleccionar información y prepararla para el acceso a la misma por los alumnos.
- **FORMAR.**
  - ✓ Motivar habilidades y actitudes sociales.
  - ✓ Interacción, retroalimentación y comunicación.

---

<sup>8</sup> <http://edithlupaca.wordpress.com/> ; “La Importancia TICS en la Educación”, LUPACA Violeta Edith

- **ELABORAR CONTENIDOS Y MATERIALES.**
  - ✓ Crear material didáctico propio adaptado a las necesidades de los alumnos.
  - ✓ Posibilidad de elaborar documentos hipermedia.
  
- **ORIENTAR.**
  - ✓ Facilitar el aprendizaje, animar al estudio.
  - ✓ Ofrecer guías para el estudio.
  - ✓ Indicar directrices para su herramienta.
  - ✓ Dinamizar la participación de los estudiantes.
  
- **EVALUAR.**
  - ✓ Seguimiento continuo al proceso formativo de sus estudiantes.
  - ✓ Valorar el aprendizaje del alumno.

**1.6.6 Rol del estudiante en la educación virtual.** El estudiante que participa en un programa de educación virtual, también debe desarrollar ciertas habilidades especiales que le permitan sacar el máximo provecho a las estrategias educativas definidas por su profesor.

- **INFORMARSE.**
  - ✓ Buscar información disponible en el entorno.
  - ✓ Conocer estrategias de búsqueda de información.
  - ✓ Actuar de emisor de información hacia el resto de los usuarios del grupo.
  
- **APRENDER.**
  - ✓ Integrar conocimientos a partir de la información suministrada.
  - ✓ Adquirir habilidades de uso de la herramienta multimedia.
  - ✓ Fomentar la comunicación y el intercambio con otros compañeros.
  
- **AUTOEVALUACIÓN.**

- ✓ Comprobar de la consecución de los objetivos propuestos.
  - ✓ Seguimiento y control propio de los resultados y de la corrección de las pruebas.
- COMUNICACIÓN.
    - ✓ Comunicación interna con los alumnos.
    - ✓ Comunicación con el profesor.
    - ✓ Comunicación externa.

## **1.7 MULTIMEDIA**

La multimedia es la capacidad que tiene un sistema u objeto capaz de manejar simultáneamente y de manera interrelacionada textos escritos, sonido, arte gráfico, animación y video que llega por computador o cualquier otro medio electrónico. De allí la expresión “Multimedios”.<sup>9</sup>

Se habla de multimedia interactiva cuando el usuario tiene libre control sobre la presentación de los contenidos, acerca de qué es lo que desea ver y cuando; a diferencia de una presentación lineal, en la que es forzado a visualizar contenido en un orden predeterminado. Dentro de algunos años, la multimedia interactiva se recibirá en muchos hogares en todo el mundo, lo que se proporcionará a través de este nuevo sistema los mismos elementos de multimedia descritos anteriormente.

Es conveniente utilizar multimedia cuando las personas necesitan tener acceso a información electrónica de cualquier tipo. Multimedia mejora las interfases tradicionales basada solo en texto y proporciona beneficios importantes que atraen y mantienen la atención y el interés mejorando de esta manera la retención de la información presentada, cuando este se encuentra bien diseñado, puede ser divertido y funcional en los diversos sistemas de aplicación.

---

<sup>9</sup> <http://es.wikipedia.org/wiki/Multimedia>

**1.7.1 HIPERTEXTO E HIPERMEDIA.**<sup>10</sup> Para mencionar la multimedia interactiva es necesario hablar de dos términos fundamentales, *hipertexto* e *hipermedia*, el hipertexto según la definición de Ted Nelson en 1965, es un paradigma en la interfaz del usuario cuyo fin es el de presentar documentos que puedan bifurcarse o ejecutarse cuando sea solicitado, la forma más habitual de hipertexto en documentos es la de hipervínculos o referencias cruzadas automáticas que van a otros documentos. Esta cultura escrita es un conjunto complejo, en el que cada elemento del texto está conectado a los demás textos de forma explícita o implícita.

Mientras que el hipermedia es cuando se proporciona una estructura ligada a través de los cuales el usuario puede navegar, en otras palabras es el conjunto en que el hipertexto y la multimedia interactúan entre ellas.

**1.7.2 Tipos de multimedia.**<sup>11</sup> Se pueden clasificar de acuerdo a la finalidad de la información, o también, al medio en el cual serán publicadas.

- Según de su finalidad:
  - ✓ Multimedia educativa. Es importante recalcar que la multimedia educativa es previa a que el computador apareciera, se puede considerar como un proceso no lineal esto hace que el estudiante lleve su propio orden en su modelo educativo (a distancia, presencial etc.). Se fundamenta en un desarrollo navegable que permite cierta libertad de moverse sobre el aplicativo. Algunos eventos temporales importantes de la multimedia educativa: 1975/1980 Programación – 1985 Multimedia – 1990/1995 Internet – 2000 e-learning – 2005 Redes Sociales.
  - ✓ Multimedia publicitaria. Es el uso de diferentes medios enfocado a una campaña publicitaria, esto ha generado nuevos espacios en este sector, se viene presentando un cambio de los medios tradicionales a los digitales con un abanico enorme de nuevas posibilidades, tablets,

---

<sup>10</sup> <http://www.slideshare.net/escenaenelmar/texto-hipertexto-e-hipermedia>

<sup>11</sup> <http://www.uv.es/bellochc/pdf/pwtic3.pdf>

móviles, desarrollo web, TDT (Televisión Digital Terrestre), hipertexto y el correo, y como elemento destacado las redes sociales como herramienta de difusión viral

- ✓ Multimedia comercial. En este tipo de multimedia se encuentra una gran variedad de entregables, tales como: Bases de datos (DB), promociones, catálogos, simuladores, páginas web, publicidad entre otros, todo este material se presenta en forma digital e interactivo y su funcionalidad principal es la de convencer a un posible comprador o cliente de adquirir un servicio o producto. De alguna forma este tipo de multimedia está directamente relacionada con el aprendizaje electrónico (e-learning).
- ✓ Multimedia informativa. Está relacionada con los elementos multimediales que brindan información, tales como: noticias, prensa, revistas, televisión y diarios, esta información se presenta en la mayoría de los casos en forma masiva (entorno mundial) y se mantiene actualizada al momento de los hechos, su valor informativo es primordial para conocer hechos antes que los medios de comunicación tradicionales.

- Según su conexión:

Tabla 2. Tipos de multimedia según su conexión.

CONEXIÓN	TIPOS DE MULTIMEDIA
ON - LINE	Blogs, Pagina Web, Internet, Catalogo.
OFF - LINE	Cd, DVD, Disco Duro, Pendrive.

Fuente: BRICEÑO CABALLERO, Diana Carolina y JARAMILLO JAIMES, Johana Andrea.

“Herramienta multimedia para el estudio y diseño de métodos de producción en la industria de los hidrocarburos” Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 2011

- Según su funcionalidad:

- ✓ Interactivo.
  - Tutoriales y ejercitación. Presentan unos contenidos y proponen ejercicios autocorrectivos al respecto.
  - e-Learning. Es principalmente un medio electrónico para el aprendizaje a distancia o virtual, donde se puede interactuar con los profesores por medio de internet.
  - Bases de datos. Presentan datos organizados en un entorno estático mediante unos criterios que facilitan su exploración y consulta selectiva para resolver problemas.
  - Simuladores. Presentan modelos dinámicos interactivos (generalmente con animaciones), los alumnos realizan aprendizajes significativos por descubrimiento al explorarlos, modificarlos y tomar decisiones ante situaciones de difícil acceso en la vida real.
  - Programas de herramientas. Proporcionan un entorno instrumental con el cual se facilita la realización de ciertos trabajos generales de tratamiento de la información: escribir, organizar, calcular, dibujar, transmitir, captar datos, etc.
- ✓ NO interactivos. Este tipo de multimedia no componen herramientas que permitan captar la información de manera didáctica, solo se presenta la información en forma de documentos, fotos, enunciados, planteamiento de problemas, etc. de manera estática.

### **1.8 SISTEMAS DE EVALUACIÓN.**

La evaluación es la determinación sistemática del mérito, el valor y el significado de algo o alguien en función de unos criterios respecto a un

conjunto de normas. A menudo se usa para caracterizar y evaluar temas de interés en una amplia gama de sectores a nivel mundial. Por lo tanto, adquiere sentido en la medida que comprueba la eficacia y posibilita el perfeccionamiento de la acción que se ejecuta, lo que destaca un elemento clave de la concepción actual de la evaluación: no evaluar por evaluar, sino para mejorar los programas, la organización de las tareas y la transferencia a una más eficiente selección metodológica.

### **1.8.1 Tipos de evaluación<sup>12</sup>**

#### 1.8.1.1 Según su finalidad y función.

- a) Función formativa: la evaluación se utiliza preferentemente como estrategia de mejora y para ajustar sobre la marcha, los procesos educativos de cara a conseguir las metas u objetivos previstos.
  
- b) Función sumativa: suele aplicarse más en la evaluación de productos, es decir, de procesos terminados, con realizaciones precisas y valorables. Con la evaluación no se pretende modificar, ajustar o mejorar el objeto de la evaluación, sino simplemente determinar su valía, en función del empleo que se desea hacer del mismo posteriormente.

#### 1.8.1.2 Según su extensión.

- a) Evaluación global: se pretende abarcar todos los componentes o dimensiones de los alumnos, del centro educativo, del programa, etc.
- b) Evaluación parcial: pretende el estudio o valoración de determinados componentes o dimensiones de un centro, de un programa educativo, de rendimiento de un alumno, etc.

#### 1.8.1.3 Según los agentes evaluadores.

---

<sup>12</sup> <http://es.scribd.com/doc/14595372/Tipos-de-evaluacion>

- a) Evaluación interna: es aquella que es llevada a cabo y promovida por los propios integrantes de un centro, un programa educativo, etc.
- b) Evaluación externa: se da cuando agentes no integrantes de un centro escolar o de un programa evalúan su funcionamiento.

#### 1.8.1.4 Según el momento de aplicación.

- a) Evaluación inicial: se realiza al comienzo del curso académico, de la implantación de un programa educativo, del funcionamiento de una institución escolar, etc.
- b) Evaluación procesual: consiste en la valoración a través de la recogida continua y sistemática de datos, del funcionamiento de un centro, de un programa educativo, del proceso de aprendizaje de un alumno, de la eficacia de un profesor, etc.
- c) Evaluación final: consiste en la recogida y valoración de unos datos al finalizar un periodo de tiempo previsto.

## 1.9 PLATAFORMAS COMPUTACIONALES

El software multimedia implementado en el desarrollo de esta herramienta multimedia va a ser con el lenguaje ACTIONSCRIPT II y ACTIONSCRIPT III en una plataforma Flash empleando adobe flash.

**1.9.1 ACTIONSCRIPT II.**<sup>13</sup> Adobe ACTIONSCRIPT es un lenguaje de programación de la Plataforma Adobe Flash. Originalmente desarrollado como una forma para que los desarrolladores programen de forma más interactiva. La programación con ACTIONSCRIPT permite mucha más eficiencia en las aplicaciones de la plataforma Flash para construir animaciones de todo tipo, desde simples a complejas, ricas en datos e interfaces interactivas.

---

<sup>13</sup> <http://es.wikipedia.org/wiki/ActionScript>

La versión más extendida actualmente es ACTIONSCRIPT III, que significó una mejora en el manejo de programación orientada a objetos al ajustarse mejor al estándar ECMA-262 y es utilizada en las últimas versiones de Adobe Flash y Flex y en anteriores versiones de Flex. Desde la versión 2 de Flex viene incluido ACTIONSCRIPT III, el cual mejora su rendimiento en comparación de sus antecesores, además de incluir nuevas características como el uso de expresiones regulares y nuevas formas de empaquetar las clases.

**1.9.2 ACTIONSCRIPT III.** ACTIONSCRIPT III ofrece un modelo de programación robusto que resultará familiar a los desarrolladores con conocimientos básicos sobre programación orientada a objetos. Algunas de las principales funciones de ACTIONSCRIPT III son:

- ✓ Una nueva máquina virtual ACTIONSCRIPT, denominada AVM2, que utiliza un nuevo conjunto de instrucciones de código de bytes y proporciona importantes mejoras de rendimiento.
- ✓ Una base de código de compilador más moderna, que se ajusta mejor al estándar ECMAScript (ECMA 262) y que realiza mejores optimizaciones que las versiones anteriores del compilador.
- ✓ Una interfaz de programación de aplicaciones (API) ampliada y mejorada, con un control de bajo nivel de los objetos y un auténtico modelo orientado a objetos.

**1.9.3 ADOBE FLASH<sup>14</sup>** Adobe Flash Professional es el nombre o marca comercial oficial que recibe uno de los programas más populares de la casa Adobe, junto con sus programas hermanos ADOBE ILLUSTRATOR y ADOBE PHOTOSHOP. Se trata de una aplicación de creación y manipulación de gráficos vectoriales con posibilidades de manejo de código mediante un lenguaje de scripting llamado ACTIONSCRIPT. Flash es un estudio de animación que trabaja sobre "fotogramas" y está destinado a la producción y

---

<sup>14</sup> [http://es.wikipedia.org/wiki/Adobe\\_Flash\\_Professional](http://es.wikipedia.org/wiki/Adobe_Flash_Professional)

entrega de contenido interactivo para diferentes audiencias alrededor del mundo sin importar la plataforma. Es actualmente desarrollado y comercializado por Adobe Systems Incorporated y forma parte de la familia Adobe Creative Suite, su distribución viene en diferentes presentaciones, que van desde su forma individual ó como parte de un paquete.

Adobe Flash utiliza gráficos vectoriales y gráficos rasterizados, sonido, código de programa, flujo de vídeo y audio bidireccional (el flujo de subida sólo está disponible si se usa conjuntamente con Macromedia Flash Communication Server). En sentido estricto, Flash es el entorno de desarrollo y Flash Player es el reproductor utilizado para visualizar los archivos generados con Flash. En otras palabras, Adobe Flash crea y edita las animaciones o archivos multimedia y Adobe Flash Player las reproduce.

## **2. PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS DEL YACIMIENTO**

Tener una buena caracterización de los fluidos que se encuentran en el yacimiento, es de vital importancia para todo Ingeniero de Petróleos, para la vida útil del mismo yacimiento y para los sistemas adecuados a utilizar en superficie y yacimiento. Es necesario conocer de cerca aquellas propiedades, tanto físicas como químicas, que permitan dar una información detallada del comportamiento de los fluidos a diversas condiciones. Es por eso que se desarrolla un estudio amplio que abarque todas las propiedades, condiciones y características que puedan presentar los fluidos del yacimiento, a lo largo del proceso de producción hasta superficie y tratamiento.

En este capítulo se orienta el contenido a incluir en la herramienta multimedia de manera general, es por esto que se recomienda revisar la herramienta multimedia adjunta a esta proyecto para un tener un estudio profundo de los conceptos que se mencionan a continuación.

## 2.1 QUÍMICA DE LOS HIDROCARBUROS.<sup>15</sup>

Los hidrocarburos son los compuestos orgánicos más simples, están constituidos por Carbono e Hidrógeno. Son aquellos compuestos básicos e importantes de la química orgánica. Ya que de ellos se derivan los demás compuestos orgánicos, solamente sustituyendo los Hidrógenos por diversos grupos funcionales. Los hidrocarburos forman un enlace covalente, es decir, se produce una compartición de electrones entre dos átomos. Este tipo de enlace se produce cuando existe electronegatividad polar, pero la diferencia de electronegatividades entre los átomos no es suficientemente grande como para que se efectúe transferencia de electrones.

Dado que los hidrocarburos conforman una amplia clasificación, en la Figura 2 se puede ver la clasificación general de los hidrocarburos.

### 2.1.1 Hidrocarburos de cadenas abiertas o alifáticas.<sup>16</sup>

**2.1.1.1 Saturados.** Son los que contienen más de un átomo de carbono, los átomos de carbono están unidos entre sí por enlaces covalentes simples, formando una cadena lineal que puede tener una o más ramificaciones.

Fig. 2. esquema general de los Hidrocarburos

---

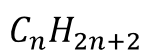
<sup>15</sup> GONZALEZ ALCARAZ, Francisco. "Nomenclatura de química orgánica". Universidad de Murcia. 1991. (Modificado)

<sup>16</sup> MCCAIN, William, D. Jr. "The Properties of Petroleum Fluids". PennWell. 2ª Ed.



Fuente: Los Autores.

**2.1.1.1.1 Alcanos o parafinas.** Son hidrocarburos saturados de cadenas abiertas. La composición de todos los miembros del grupo responde a la formula,



Los cuatro primeros miembros del grupo son metano, etano, propano y butano. Su nombre se caracteriza por tener el sufijo *ano* seguido por el alcano en su estructura molecular. En la Tabla 3 se puede ver algunos hidrocarburos saturados con el nombre y formula química, en función del número de carbono asociado a la molécula.

Tabla 3. Nombre y formula de distintos alcanos.

NO. DE	FORMULA	NOMBRE
--------	---------	--------

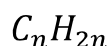
CARBONOS		
1	CH <sub>4</sub>	Metano
2	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	Etano
3	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	Propano
4	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	Butano
5	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	Pentano
6	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	Hexano
7	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	Heptano
8	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	Octano
9	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	Nonano
10	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	Decano

Fuente: MCCAIN, William, D. Jr. "The Properties of Petroleum Fluids". PennWell. 2ª Ed

## 2.1.1.2 Insaturados

**2.1.1.2.1 Alquenos u olefinas.** Son hidrocarburos no saturados de cadena abierta en los que existe un doble enlace entre dos átomos de carbono. Al igual que los alcanos, los miembros más bajos son gases, los compuestos intermedios son líquidos y los más altos son sólidos. Los compuestos del grupo de los alquenos son más reactivos químicamente que los compuestos saturados.

Su estructura molecular está dada por la siguiente ecuación,



Su nombre se caracteriza por tener el sufijo *eno* en las cadenas de estructuras donde tenga el doble enlace.

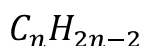
En la Tabla 4 se puede observar el nombre y fórmula de algunos alquenos, como función del número de átomo presente en la molécula.

Tabla 4. Nombre y formula estructural de algunos alquenos de interés.

<b>NO. DE CARBONOS</b>	<b>FORMULA</b>	<b>NOMBRE</b>
2	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	Eteno
3	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	Propeno
4	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	Buteno
5	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	Penteno
6	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	Hexeno
7	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub>	Hepteno
8	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	Octeno
9	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub>	Noneno
10	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub>	Deceno

Fuente: MCCAIN, William, D. Jr. "The Properties of Petroleum Fluids". PennWell. 2ª Ed

**2.1.1.2.2 Alquinos.** Las características que distinguen la estructura de los alquinos de las demás moléculas es el triple enlace que hay entre carbonos. La formula general de los alquinos esta descrita por la siguiente ecuación,



Su nombre se caracteriza por tener el sufijo *ino* en las estructuras donde posean el triple enlace. Son muy activos químicamente y no se presentan libres en la naturaleza. Forman un grupo análogo al de los alquenos.

En la Tabla 5 se observan algunos nombres y fórmulas de los alquinos, como función del número de carbono presente en la molécula.

Tabla 5. Nombre y formula de algunos alquinos de interés.

<b>NO. DE CARBONOS</b>	<b>FÓRMULA</b>	<b>NOMBRE</b>
2	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	Etino
3	C <sub>3</sub> H <sub>4</sub>	Propino
4	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub>	Butino

5	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub>	Pentino
6	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub>	Hexino
7	C <sub>7</sub> H <sub>12</sub>	Heptino
8	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub>	Octino
9	C <sub>9</sub> H <sub>16</sub>	Nonino
10	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub>	Decino

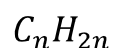
Fuente: MCCAIN, William, D. Jr. "The Properties of Petroleum Fluids". PennWell. 2ª Ed

## 2.1.2 Hidrocarburos de cadenas cerradas o alicíclicas.

### 2.1.2.1 Saturados.

**2.1.2.1.1 Cicloalcanos.** También conocidos en la industria del petróleo como naftenos, tienen cadenas cerradas de 3-8 moléculas de carbono. Los más simples ejemplos de los hidrocarburos saturados alicíclicos son los ciclohexano y ciclopentano.

Su formula general para los cicloalcanos está dada por la siguiente ecuación,



Su nombre esta caracterizado por tener el tener el prefijo *ciclo* seguido del nombre del alcano. A pesar de que tiene la misma fórmula general que los alcanos, la estructura molecular difiere de ella y por lo tanto las propiedades físicas y químicas son distintas.

En la Tabla 6 se observa el nombre y formula estructural de algunos cicloalcanos, en función del número de carbonos presentes.

Tabla 6. Nombre y formula de algunos cicloalcanos de interés.

NO. DE CARBONOS	FORMULA	NOMBRE
-----------------	---------	--------

3	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	Ciclopropano
4	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	Ciclobutano
5	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	Ciclopentano
6	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	Ciclohexano
7	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub>	Cicloheptano
8	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	Ciclooctano
9	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub>	Ciclononano
10	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub>	Ciclododecano

Fuente: MCCAIN, William, D. Jr. "The Properties of Petroleum Fluids". PennWell. 2ª Ed

### 2.1.2.2 Insaturados.

#### 2.1.2.2.1 Cicloalquenos.

Son aquellos cuyos átomos de carbono son únicos juntos en una forma de anillo con uno o dos enlaces presentes en el anillo. Estos hidrocarburos son nombrados con el prefijo *ciclo* seguido por el nombre del alqueno.

### 2.1.3 Tipos de crudo.

Se pueden clasificar dependiendo de,

- ✓ **Composición.**
- ✓ **Grados °API.**
- ✓ **Contenido de azufre.**

## 2.2 COMPORTAMIENTO DE FASES.<sup>17</sup>

Antes de estudiar las propiedades de los gases y líquidos, se tiene que entender la relación entre las dos fases. El punto de partida será un estudio de

---

<sup>17</sup> AHMED, Tarek. "Equations of State and PVT Analysis". Gulf Publishing Company. 2007 (modificado)

la presión de vapor y el desarrollo de la definición del punto crítico. Entonces se mirará en detalle los efectos de la presión y la temperatura en una de las propiedades intensivas de interés particular para los ingenieros del petróleo: el volumen específico.

El término fase define cualquier parte homogénea y distinta físicamente de un sistema la cual está separada de otras partes del sistema por determinadas superficies de unión. Por ejemplo, el hielo, el agua líquida y vapor de agua son tres fases. Cada una es físicamente distinta y homogénea, y hay límites definidos entre hielo y agua, entre hielo y vapor de agua, y entre el agua líquida y vapor de agua. Por lo tanto, se dice que se tiene un sistema de tres fases: sólido, líquido y gas. Una fase particular no necesita ser continua. Por ejemplo, el hielo puede existir como varios grumos en el agua.

**2.2.1 Sustancias Puras.** En primer lugar, se consideran sistemas que constan de una sola sustancia pura. Estos sistemas se comportan de forma diferente a los sistemas formados por dos o más componentes. En particular, interesa analizar el comportamiento de fase, es decir, las condiciones de temperatura y presión para que las diferentes fases puedan existir.

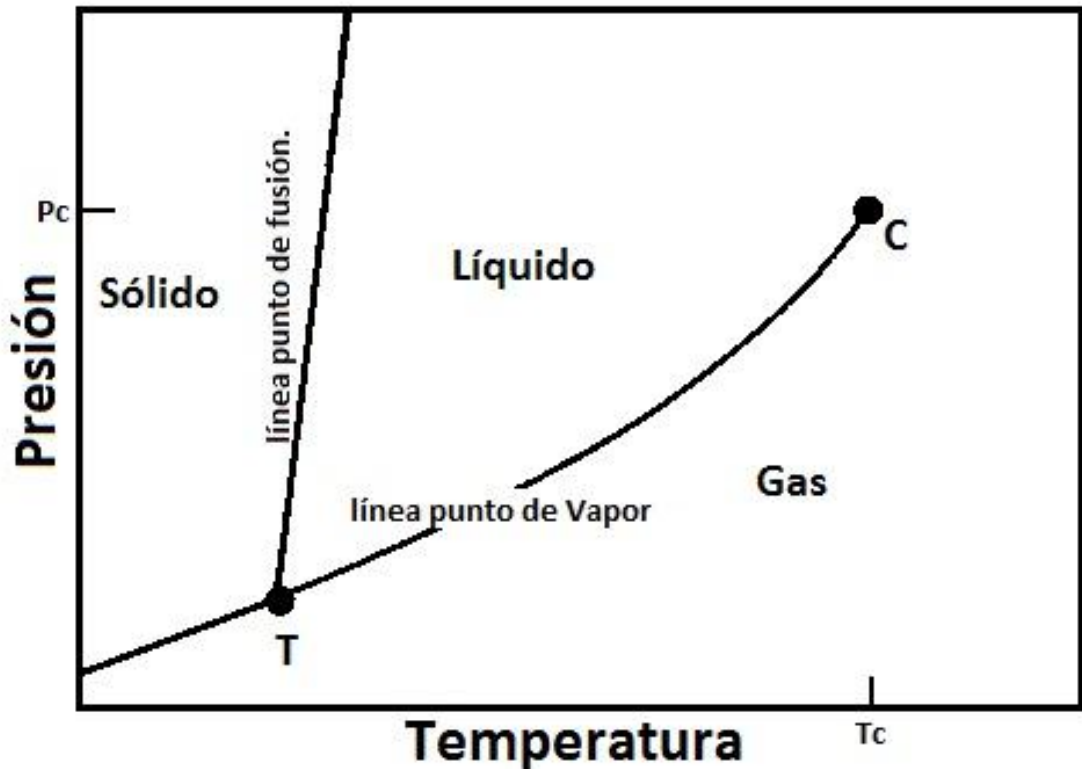
Se ocupará principalmente de tres variables: presión, temperatura y volumen. La presión y la temperatura se imponen en el sistema y determinan la fase o fases existentes, también, analizar los diversos factores que están involucradas en los diagramas de fase. Las fases que existan son identificadas por sus volúmenes específicos o densidades.

**2.2.1.1 Diagrama de fase para una sustancia pura.<sup>18</sup>** Un diagrama de fases es un gráfico de presión contra temperatura que muestra las condiciones bajo las cuales las diversas fases de una sustancia estarán presentes. La figura 3 muestra un diagrama de fases para un sistema de un solo componente. Los diagramas de fase a menudo se le llaman diagramas presión-temperatura.

---

<sup>18</sup> MCCAIN, William, D. Jr. "The Properties of Petroleum Fluids". PennWell. 2ª Ed.

Fig. 3. Diagrama de fases típico de una sustancia pura.

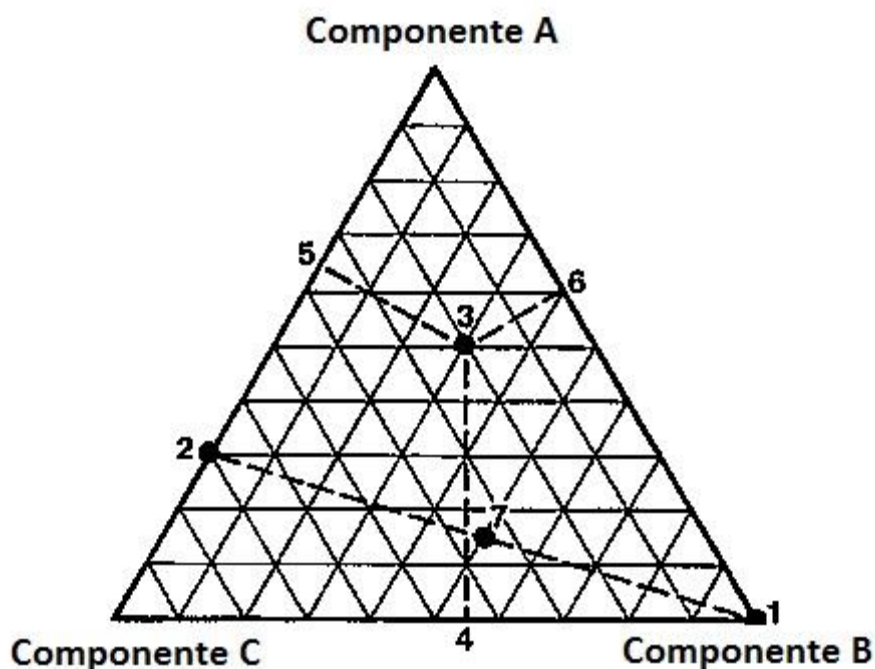


Fuente: MCCAIN, William, D. Jr. "The Properties of Petroleum Fluids". PennWell. 2ª Ed

**2.2.2 Mezcla de dos componentes.** El comportamiento de una mezcla de dos componentes no es tan simple como el comportamiento de una sustancia pura. En lugar de una sola línea que represente la curva de presión de vapor, existe una amplia región en la cual dos fases coexisten. Esta región se llama la región de sobresaturación, sobre-fase o región de dos fases. La Figura 4 muestra la forma típica del diagrama de fase para una mezcla de dos componentes. La región de dos fases del diagrama de fase está delimitada por un lado por la línea de punto de burbuja y el otro lado por la línea del punto de rocío. Las dos líneas se unen en el punto crítico.



Fig. 5. Diagrama Ternario.



Fuente: AHMED, Tarek. "Equations of State and PVT Analysis". Gulf Publishing Company. 2007

**2.2.4 Diagramas multicomponentes.** A medida que el número y la complejidad de las moléculas en una mezcla aumentan, la separación entre las líneas de punto de burbuja y punto de rocío en el diagrama de fase se hace mayor. En esta parte del capítulo se tendrá en cuenta la separación entre las moléculas ligeras y las pesadas (prácticamente sólidas), dado que el ingeniero del petróleo rara vez se ocupa de hidrocarburos sólidos, en la discusión siguiente se va a considerar sólo la línea de presión de vapor y las porciones de líquidos y gas del diagrama de fase.

**2.2.5 Los cinco tipos de fluidos del yacimiento.<sup>20</sup>** Existen 5 tipos de fluidos del yacimiento, estos son conocidos como *aceite negro*, *aceite volátil*, *gas retrogrado*, *gas húmedo* y *gas seco*. Los cinco tipos de fluidos han sido definidos, tal que para cada uno de ellos requiere enfoques diferentes tanto por los ingenieros de yacimientos como los ingenieros de producción.

<sup>20</sup> DANESH, Ali. "PVT and Phase Behaviour of Petroleum Reservoir Fluids". ELSEVIER. 1998

<sup>21</sup>El método de muestreo, los tipos y tamaños del equipo de superficie, los procedimientos de cálculos para determinar aceite y gas in situ, las técnicas de predecir reservas de aceite y gas, el plan de depleción y la selección del método de recobro mejorado dependen del tipo del fluido del yacimiento.

El tipo de fluido puede ser confirmado solamente por observación en el laboratorio. Sin embargo, información de producción disponible usualmente indica el tipo de fluido. Tres propiedades son fácilmente disponibles: *la relación producción inicial aceite-gas, la gravedad del líquido en el stock-tank y el color del líquido en el stock-tank*. La relación de producción inicial de gas-aceite es por lejos el indicador más importante para identificar el tipo de fluido.

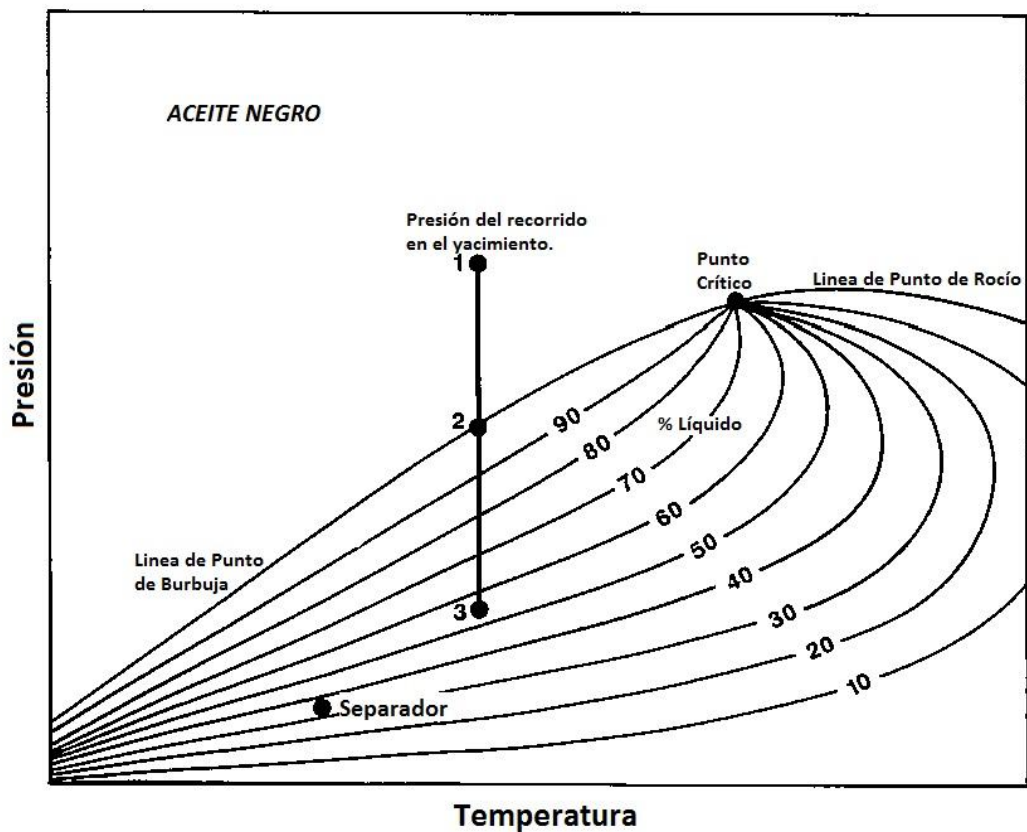
**2.2.5.1 Aceite negro.** Los aceites negros consisten de una amplia variedad de especies químicas incluyendo moléculas grandes, pesadas y no volátiles. El diagrama de fase predecible, cubre un amplio rango de temperatura. El punto crítico es bien arriba de la curva en la envolvente.

El diagrama de fase de un aceite negro típico es mostrado en la Figura 6. Las líneas dentro de la envolvente de fase representa el volumen constante de líquido, medido como porcentaje del volumen total. Esas líneas son llamadas *líneas de calidad*. Note que las líneas de calidad son espaciadas de manera bastante uniforme dentro de la envolvente.

Fig. 6. Diagrama de fase típico de los aceites negros.

---

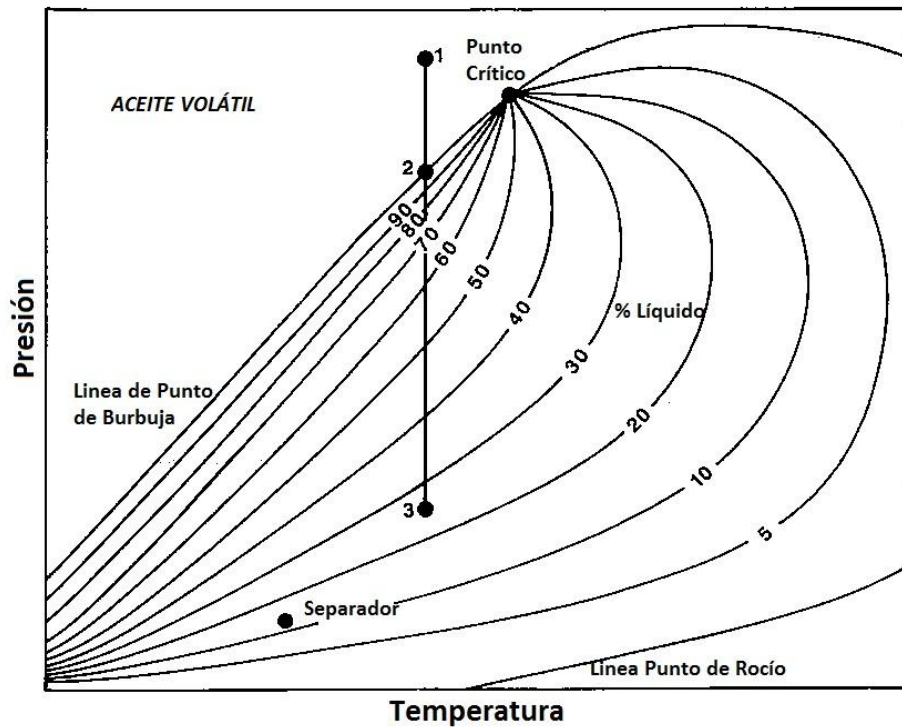
<sup>21</sup> MCCAIN, William, D. Jr. "The Properties of Petroleum Fluids". PennWell. 2ª Ed. (Modificado)



Fuente: MCCAIN, William, D. Jr. "The Properties of Petroleum Fluids". PennWell. 2ª Ed

**2.2.5.2 Aceite volátil.** Los aceites volátiles contienen relativamente menores moléculas pesadas y más intermedios (definidos desde etano hasta hexanos) que los aceites negros. El diagrama de fase para un aceite volátil típico, como se muestra en la Figura 7, difiere en algunos aspectos del diagrama de fase de los aceites negros. El rango de temperaturas cubierto por la envolvente es algo más pequeña, pero de más interés, es la posición del punto crítico. La temperatura crítica es muchísimo más bajo que para un aceite negro y, de hecho, es cerca a la temperatura de yacimiento.

Fig. 7 Diagrama típico para los aceites volátiles.

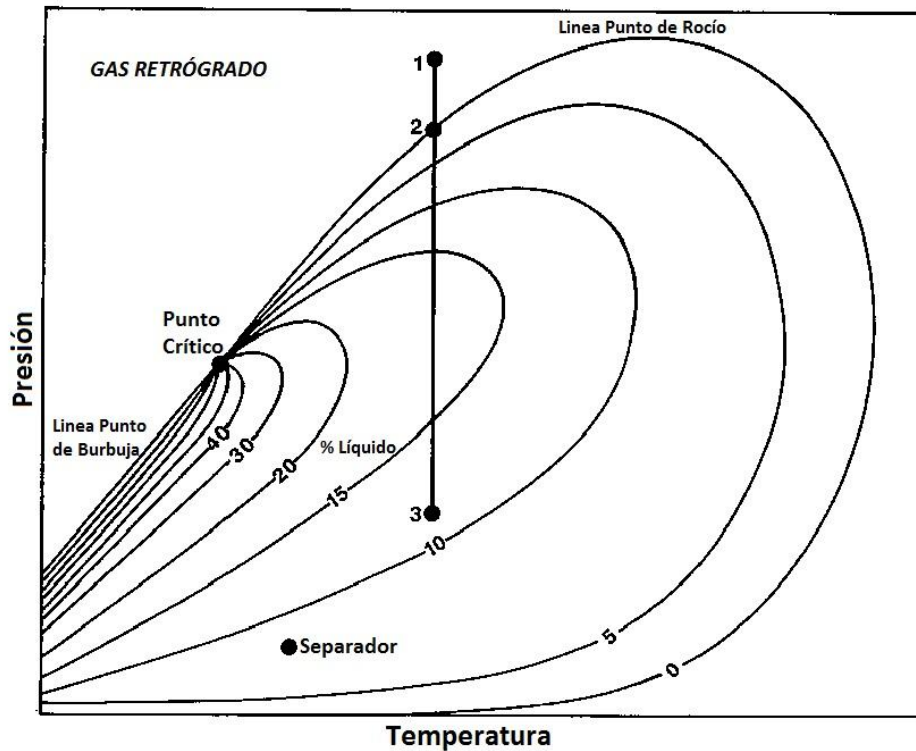


Fuente: MCCAIN, William, D. Jr. "The Properties of Petroleum Fluids". PennWell. 2ª Ed

**2.2.5.3 Gases retrógrados.** Gases retrógrados también llamados *condensados de gas retrógrado, gases condensados retrógrados, gases condensados* o *condensados*. El uso de la palabra "condensados" en el nombre conlleva a mucha confusión. Inicialmente, el fluido es gas en el yacimiento y exhibe un comportamiento retrógrado. Por lo tanto, el nombre correcto es *gas retrógrado*.

El diagrama de fase de un gas retrógrado tiene una temperatura crítica menor que la temperatura de yacimiento y una cricondentérmica mayor que la temperatura de yacimiento, observe la Figura 8. Inicialmente, el gas retrógrado es totalmente un gas en el yacimiento, punto 1. Como la presión en el yacimiento decrece, el gas retrógrado exhibe un punto de rocío, punto 2. Como la presión se reduce, líquidos se condensan del gas para formar líquido libre en el yacimiento. Este líquido normalmente no fluirá y no podrá ser producido.

Fig. 8 Diagrama de fase típico para un gas retrogrado.



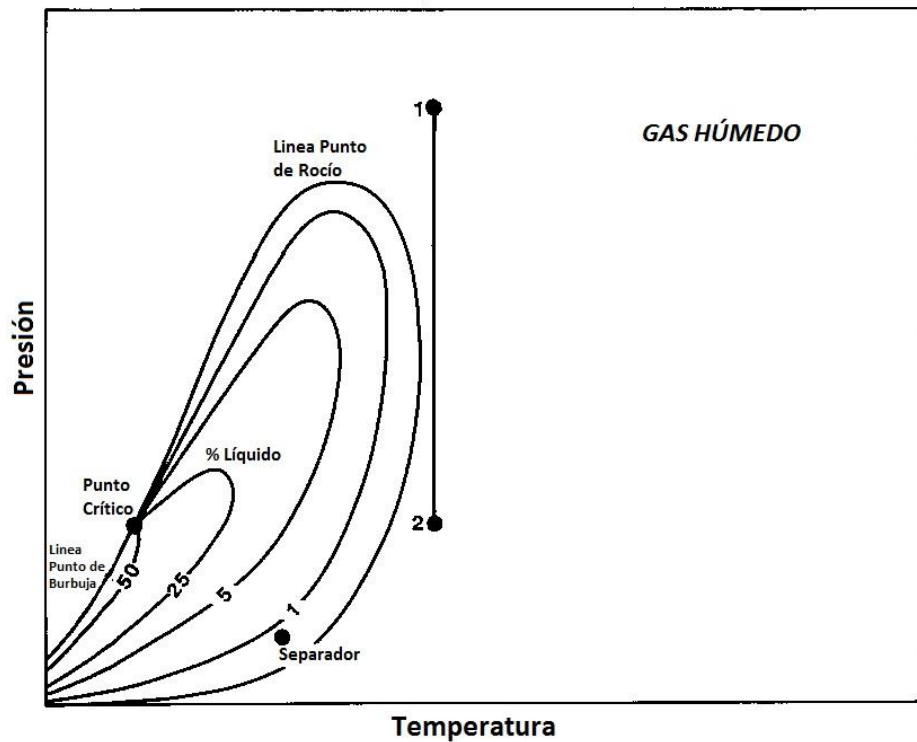
Fuente: MCCAIN, William, D. Jr. "The Properties of Petroleum Fluids". PennWell. 2ª Ed

**2.2.5.4 Gases húmedos.** La palabra "húmedo" en el gas húmedo no se refiere que el gas es húmedo con agua, pero hace referencia al hidrocarburo líquido el cual se condensa a condiciones de superficie.

El diagrama de fase completo de una mezcla de hidrocarburos de moléculas pequeñas predominantemente, estará por debajo de la temperatura del yacimiento. Un ejemplo del diagrama de fases para un gas húmedo se muestra en la Figura 9.

Un gas húmedo existe únicamente como un gas en el yacimiento a lo largo de la reducción en la presión del yacimiento. El patrón de la presión, línea 1-2, no entra en la envolvente del diagrama. Así, no se forman líquidos en el yacimiento. Sin embargo, las condiciones de separador estarán dentro de la envolvente, causando que se forme algo de líquido en la superficie.

Fig. 9 Diagrama de fase típico para un gas húmedo.

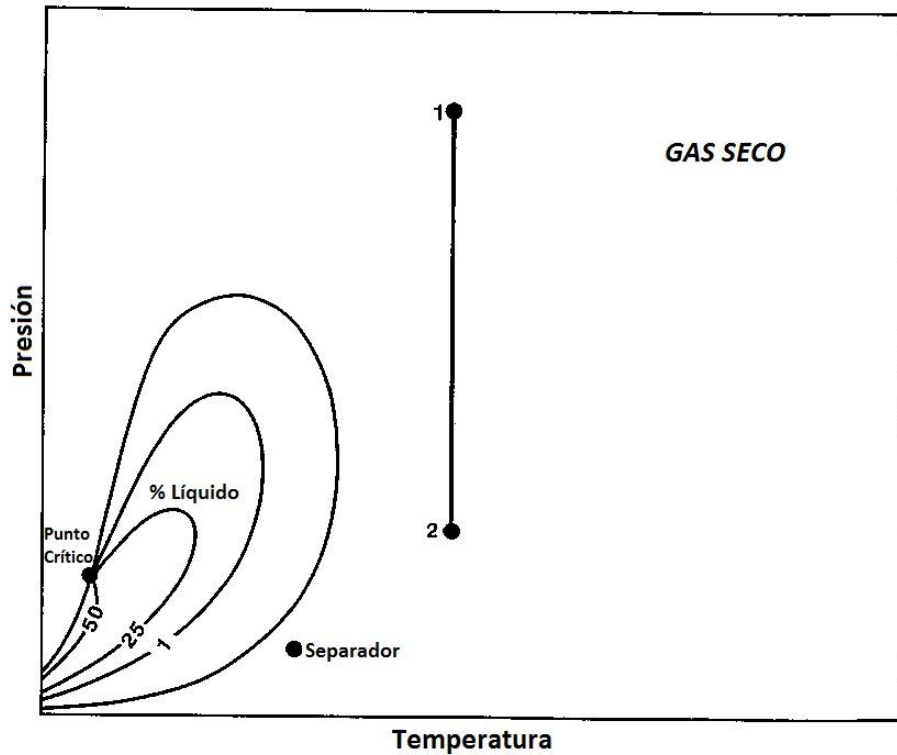


Fuente: MCCAIN, William, D. Jr. "The Properties of Petroleum Fluids". PennWell. 2ª Ed

**2.2.5.5 Gas seco.** La palabra "seco" en el gas seco indica que no contiene suficiente moléculas pesadas en forma de hidrocarburo líquido en la superficie, se podría indicar que las moléculas pesadas de hidrocarburo en superficie son nulas.

El gas seco es ante todo metano con algo de intermedios. La Figura 10 muestra que la mezcla de hidrocarburos es únicamente gas en el yacimiento y que normalmente las condiciones de separador en superficie caen por fuera de la envolvente. Así, no se forma líquido en la superficie.

Fig. 10 Diagrama de fase típico para los gases secos.



Fuente: MCCAIN, William, D. Jr. "The Properties of Petroleum Fluids". PennWell. 2ª Ed

## 2.3 ECUACIONES DE ESTADO<sup>22</sup>

Un gas puede ser definido como un fluido homogéneo de baja densidad y baja viscosidad, el cual tiene forma independiente y su volumen está dado por el recipiente que lo contiene. Las propiedades de los gases difieren considerablemente de las propiedades de los líquidos, principalmente porque las moléculas en los gases están más lejos que las moléculas en los líquidos. Por ejemplo, un cambio en la presión tiene un mayor efecto en la densidad de un gas que en la densidad de un líquido.

Se utiliza el término "Ecuaciones de estado" a aquellas ecuaciones que describa la relación entre el volumen de un gas y su presión y temperatura.

**2.3.1 Gases ideales.**<sup>23</sup> Como un comienzo en el estudio de las ecuaciones de estado de los gases reales, es necesario considerar un gas hipotéticamente

<sup>22</sup> WHITSON, Curtis H. y BRULE, Michael R. "Phase Behavior". SPE Monografía. Vol. 20. 2000. (Modificado)

conocido como un gas ideal. Se debe desarrollar la ecuación de estado de un gas ideal en dos maneras, primero por evidencia experimental y luego por teoría cinética. La forma de la ecuación para los gases ideales será usada como la base de las ecuaciones para los gases reales.

Un gas ideal tiene estas propiedades:

- a) El volumen ocupado por las moléculas es insignificante con respecto al volumen ocupado por el gas.
- b) No hay fuerzas de atracción o repulsión entre las moléculas o entre las moléculas y la pared del recipiente.
- c) Todas las colisiones de las moléculas son perfectamente elásticas, esto es, que no existe pérdida de energía interna durante la colisión.

Diversos autores desarrollaron ecuaciones y correlaciones que permitieran modelar el comportamiento de los gases ideales, en este capítulo se estudiarán algunas de estas ecuaciones, que son de vital importancia para el entendimiento de los gases ideales.

#### a. ECUACIÓN DE BOYLE

$$V \sim \frac{1}{P} \text{ ó } PV = \textit{constante}$$

#### b. ECUACIÓN DE CHARLES

$$V \sim T \text{ ó } \frac{V}{T} = \textit{constante}.$$

#### c. LEY DE AVOGADRO

La ley de Avogadro dice, que bajo las mismas condiciones de presión y temperatura, volúmenes iguales de todos los gases ideales contienen el mismo

---

<sup>23</sup> MCCAIN, William, D. Jr. "The Properties of Petroleum Fluids". PennWell. 2ª Ed

número de moléculas. Siempre habrá  $2.73 \times 10^{26}$  moléculas por libra-mol de gas ideal.

#### d. ECUACIÓN DE ESTADO PARA UN GAS IDEAL.

$$P_1V_1 = P_2V \quad \text{ó} \quad V = \frac{P_1V_1}{P_2}$$

**2.3.1.1 Densidad de un gas ideal.** Debido a que la densidad es definida como la masa de gas por unidad de volumen, una ecuación de estado puede ser utilizada para calcular las densidades de los gases a varias temperaturas y presiones. La ecuación se describe como,

$$\rho_g = \frac{m}{V} = \frac{PM}{RT}$$

**2.3.1.2 Mezcla de los gases ideales.** Desde la ingeniería de petróleos, se interesa principalmente en la mezcla de gases, las leyes que rigen el comportamiento de mezcla de los gases ideales serán incluidas. Es por esto que se estudiará la Ley de Dalton y la Ley de Amagat.

**2.3.1.2.1 Ley de Dalton.** La presión total ejercida por una mezcla de gases es igual a la suma de las presiones ejercidas por cada componente. La presión ejercida por cada uno de los componentes es conocida como la *presión parcial*. Dalton postuló que la presión parcial de cada componente en una mezcla de gases es igual a la presión que el componente ejerce si este estuviera solo en el recipiente donde se ocupa el gas. Esto solo es válido cuando la mezcla y cada componente de la misma actúan como un gas ideal. En algunas ocasiones la ley de Dalton es llamada como la *ley de las presiones aditivas*.

**2.3.1.2.2 Ley de Amagat.** Amagat postuló que el volumen total ocupada por una mezcla de gases es igual a la suma de los volúmenes de cada uno de

los componentes puros que deben ocupar a la misma presión y temperatura. Esta ley es en algunas veces llamada la *ley de los volúmenes aditivos*. Los volúmenes ocupados por cada uno de los componentes individuales son conocidos como *volumen parcial*.

**2.3.1.3 Peso Molecular aparente de una mezcla de gases.** Dado que una mezcla de gases está compuesta por moléculas de varios tamaños, decir que una mezcla de gases tiene un peso molecular no es adecuado. Sin embargo, una mezcla de gases se comporta como si tuviera un peso molecular definido. Este peso molecular es conocido como el *peso molecular aparente* y es definido como,

$$M_a = \sum_j y_j M_j$$

**2.3.1.4 Gravedad específica de un gas.**<sup>24</sup> La gravedad específica de un gas está definida como la relación de la densidad de un gas con la densidad del aire seco, ambos medidos a la misma presión y temperatura. Se puede conocer mediante,

$$\gamma_g = \frac{\rho_g}{\rho_{aire}}$$

Donde,  $\gamma_g$  es la gravedad específica del gas

**2.3.2 Gases reales.** Investigaciones han proporcionado cientos de ecuaciones para los gases reales. Sin embargo, la más utilizada en la industria del petróleo es la ecuación de compresibilidad. Esta ecuación presenta algunas

---

<sup>24</sup> GUO, Boyun y GHALAMBOR, Ali. "Natural Gas Engineering Handbook". Gulf Publishing Company. 2005. (Modificado)

limitaciones, por lo tanto, se examinará algunas otras ecuaciones de estado las cuales son usadas en menor extensión por ingenieros de petróleos.

**2.3.2.1 Ecuación de compresibilidad.** El comportamiento de la mayoría de los gases reales no se desvía mucho del comportamiento que predice la ecuación de estado para gases ideales, pero si es necesario realizar algunos ajustes que identifican a los gases reales. Esta corrección viene dada por el factor  $z$ , el cual es denominado como el factor de *compresibilidad de los gases*.

Por lo tanto, la ecuación de estado para los gases reales viene dada por la siguiente expresión,

$$PV = znRT, \quad PV_M = zRT, \quad Pv = \frac{zRT}{M} \quad \text{y} \quad \rho_g = \frac{PM}{zRT}$$

El factor  $z$  es la relación de un volumen que actualmente ocupa un gas a una presión y temperatura dada, con el volumen de gas que ocuparía el mismo gas a las mismas condiciones de presión y temperatura si se comportara como un gas ideal.

$$z = \frac{V_{actual}}{V_{ideal}}$$

El factor  $z$  no es una constante. Este varía con cambios en la composición del gas, temperatura y presión. Debe de ser determinada experimentalmente. Los valores de  $z$  pueden ser obtenidos para cada componente hidrocarburo en las Figuras mostradas en el Capítulo 2 de la herramienta multimedia adjuntada a este libro.

**2.3.2.2 Ley de los estados correspondientes.** Como se puede ver a lo largo de las diversas figuras de compresibilidad para diversas condiciones de presión y temperatura, adjuntada en la herramienta multimedia, la forma de las

isotermas son muy parecidas. La comprensión de que todo esto es cierto para casi todos los gases reales, llevó al desarrollo de la *ley de los estados correspondientes* y la definición de los términos *temperatura reducida* y *presión reducida*, los cuales están definidos como,

$$T_r = \frac{T}{T_c} \quad P_r = \frac{P}{P_c}$$

La ley de los estados correspondientes dice que todos los gases puros tienen el mismo factor  $z$  a los mismos valores de presión y temperatura reducidas.

La Tabla 7 muestra los valores de presión crítica y temperatura reducida de algunos de los hidrocarburos más comunes.

Tabla 7. Presión y temperatura crítica de algunos hidrocarburos de interés.

Componente	Presión y Temperatura Crítica		
	$P_c$ (psia)	$T_c$ (°F)	$T_c$ (°R)
Metano	666,4	-115,67	343,33
Etano	706,5	89,92	549,92
Propano	616	206,96	666,96
Isobutano	527,9	273,48	733,48
n-Butano	550,6	305,62	765,62
Isopentano	490,4	388,1	848,1
n-Pentano	468,6	384,8	844,8
Neopentano	464	320,13	780,13
n-Hexano	436,9	452,6	912,6
Neohexano	446,5	420,13	880,13
n-Heptano	396,8	512,7	972,7
n-Octano	360,7	564,22	1024,22
Isooctano	372,4	519,49	979,49
n-Nonano	331,8	610,68	1070,68
n-Decano	305,2	652	1112

Fuente: Gas Processors Suppliers Association (GPSA), "Engineering Data Book". 12 Ed.

**2.3.2.3 Ecuación de estado de compresibilidad para mezcla de gases.** La ley de los estados correspondientes ha sido extendida a cubrir mezcla de gases los cuales son cercanamente relacionados. Para obtener el

punto crítico en una mezcla multicomponentes es muy complicado, por lo tanto, los términos *presión pseudocrítica* ( $P_{pc}$ ) y *temperatura pseudocrítica* ( $T_{pc}$ ) han sido inventados. Estas cantidades han sido definidas como,

$$P_{pc} = \sum_j y_j P_{cj} \quad T_{pc} = \sum_j y_j T_{cj}$$

Estas propiedades pseudocríticas fueron ideadas simplemente para el uso de correlaciones para las propiedades físicas. Las propiedades pseudocríticas no son iguales a las actuales propiedades críticas de una mezcla de gases.

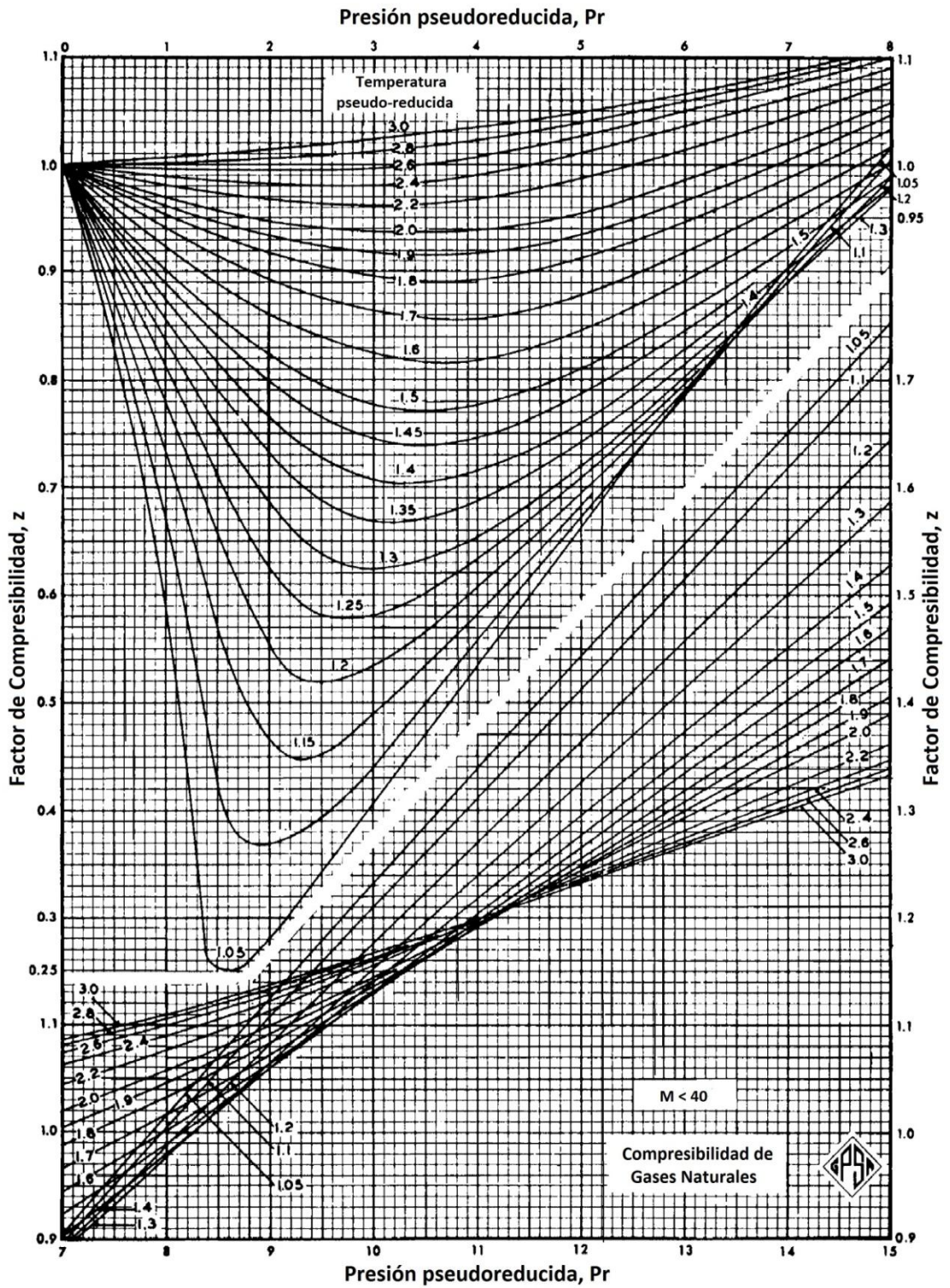
Las propiedades físicas de la mezcla de gases son correlacionadas con la presión y temperatura pseudocríticas de la misma manera que las propiedades de los gases puros son relacionadas con la presión y temperatura reducidas. Por lo tanto,

$$T_{pr} = \frac{T}{T_{pc}} \quad P_{pr} = \frac{P}{P_{pc}}$$

En la Figura 11 se observa la compresibilidad en función de la presión pseudocrítica y temperatura pseudocrítica de los gases naturales para pesos moleculares menores a 40.

Fig. 11. Compresibilidad de los gases naturales en función de la presión y temperatura

pseudocrítica



Fuente: Gas Processors Suppliers Association (GPSA), "Engineering Data Book". 12 Ed.

**2.3.2.4 Efecto de componentes no hidrocarburos.**<sup>28</sup> Los gases naturales comúnmente contienen sulfuro de hidrógeno, dióxido de carbono y nitrógeno. La presencia de nitrógeno no afecta mucho al factor de compresibilidad obtenido por los métodos vistos anteriormente; el factor de  $z$  incrementa cerca del 1% por cada 5% de nitrógeno en el gas.

Sin embargo, la presencia de sulfuro de hidrogeno y dióxido de carbono causan errores grandes en el factor  $z$  obtenido por los métodos discutidos anteriormente. La solución a este problema es ajustar las propiedades pseudocríticas para tener en cuenta el comportamiento inusual de los gases ácidos. Las ecuaciones para este ajuste son,

$$T'_{pc} = T_{pc} - \epsilon$$

Y,

$$P'_{pc} = \frac{P_{pc} T'_{pc}}{T_{pc} + y_{H_2S}(1 - y_{H_2S}) \epsilon}$$

Donde  $T'_{pc}$  y  $P'_{pc}$  son usados para calcular  $T_{pr}$  y  $P_{pr}$  para gases ácidos.

El factor de ajuste de temperatura pseudocritica,  $\epsilon$ , se obtiene de la Figura 12<sup>2</sup> El símbolo  $y_{H_2S}$  representa la fracción molar de sulfuro de hidrógeno en el gas.

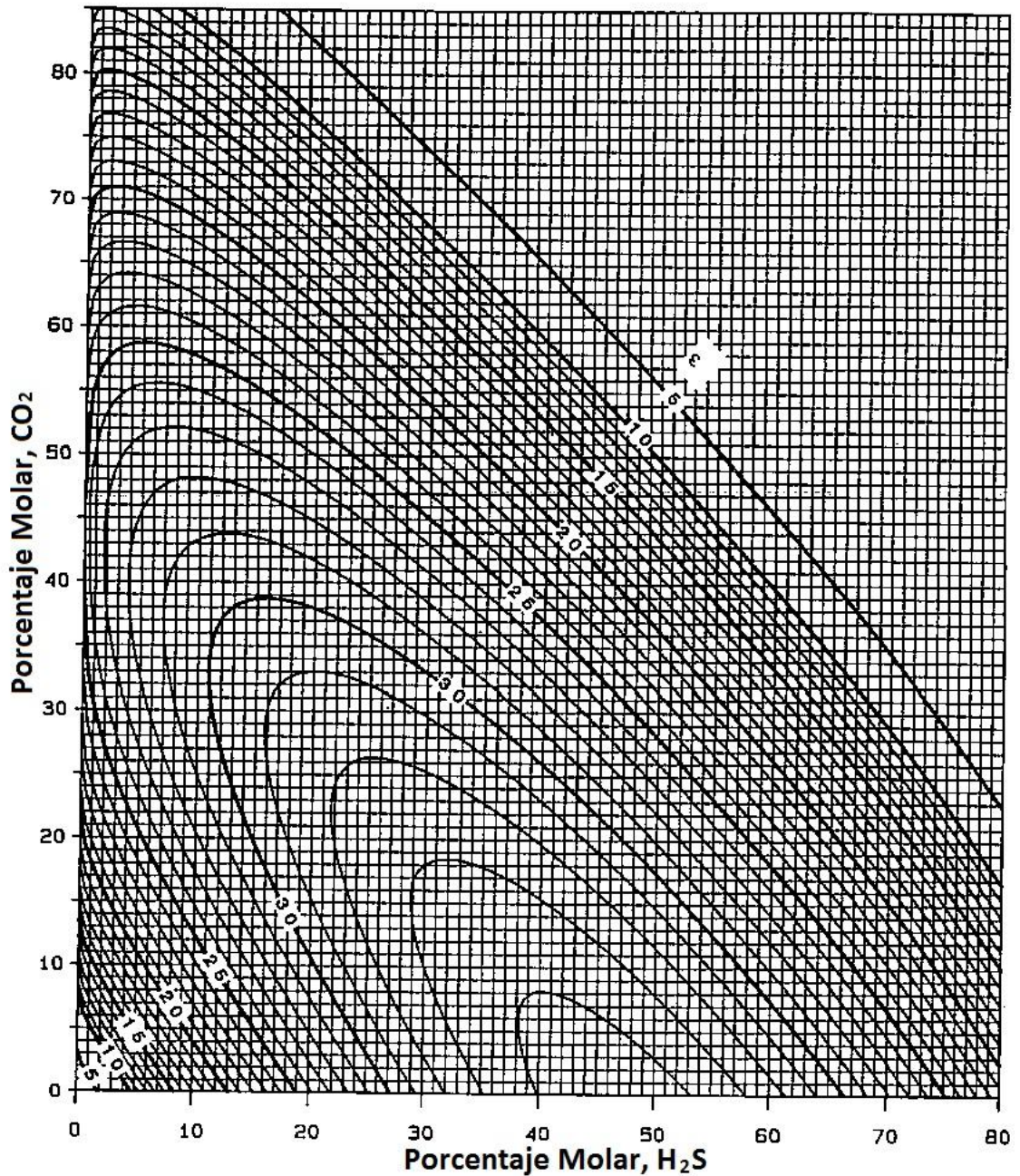
En la tabla 8 se puede observar las temperaturas y presiones críticas de los tres componentes ácidos frecuentemente presentes en los gases.

Tabla 8. Presiones y temperaturas críticas de sulfuro de hidrogeno, dióxido de carbono y nitrógeno.

Presión y Temperatura Critica			
Componente	$P_c$ (psia)	$T_c$ (°F)	$T_c$ (°R)
$H_2S$	1300	412.7	872.4
$CO_2$	1710	88.18	547.9
$N_2$	493.1	-116.42	343.3

Fuente: MCCAIN, William, D. Jr. "The Properties of Petroleum Fluids". PennWell. 2ª Ed

Fig. 12 Factor de ajuste  $\epsilon$  para gases ácidos.



Fuente: Gas Processors Suppliers Association (GPSA), "Engineering Data Book". 12 Ed.

**2.3.2.5 Otras ecuaciones de estado para gases reales.**<sup>25</sup> Una de las limitaciones en el uso de la ecuación de estado de compresibilidad que describe el comportamiento de los gases es que el factor  $z$  no es constante. Por lo tanto, manipulaciones matemáticas no se pueden hacer directamente,

<sup>25</sup> MCCAIN, William, D. Jr. "The Properties of Petroleum Fluids". PennWell. 2ª Ed

pero debe realizarse a través de técnicas numéricas y gráficas. La mayoría de las otras ecuaciones de estado comúnmente utilizadas fueron ideadas tal que los coeficientes que corrigen la ley de gas ideal para no idealidad sea asumida como constante. Esto permite que las ecuaciones a ser utilizadas en cálculos matemáticos envuelvan diferenciación o integración.

### 2.3.2.5.1 Ecuación de estado De Van Der Waals.

$$P + \frac{a}{V_M^2} (V_M - b) = RT$$

### 2.3.2.5.2 Ecuación de estado en el punto crítico.

$$\left. \frac{\partial P}{\partial V_M} \right|_{T_c} = 0 \quad y \quad \left. \frac{\partial^2 P}{\partial V_M^2} \right|_{T_c} = 0$$

### 2.3.2.5.3 Ecuación de estado Beattie – Bridgeman.

$$P = RT \left[ 1 - \frac{c}{V_M T^3} \right] \left( V_M + B_0 \left[ 1 - \frac{b}{V_M} \right] - \frac{A_0 \left[ 1 - \frac{a}{V_M} \right]}{V_M^2} \right)$$

**2.3.2.6 Recientes desarrollos en las ecuaciones de estado.** Los avances investigativos que se han llevado a cabo, es partiendo de las ecuaciones de “espíritu de Van der Waals”, las cuales son ecuaciones cúbicas con dos constantes. Dos ecuaciones popularmente aceptadas en la industria petrolera han surgido de este estudio, las ecuaciones Redlich – Kwong y Peng – Robinson. Estas ecuaciones han sido ampliamente utilizadas para calcular propiedades físicas y equilibrio vapor – líquido de mezcla de hidrocarburos.

### 2.3.2.6.1 Ecuación de estado Redlich – Kwong.

$$P + \frac{a}{T^{1.2} V_M (V_M + b)} (V_M - b) = RT$$

Soave sugirió que  $T^{1.2}$  fuera reemplazado con un término de temperatura dependiente  $a_T$ . La cual se conoce como la ecuación de Soave – Redlich – Kwong.

$$P + \frac{a_T}{V_M (V_M + b)} (V_M - b) = RT$$

Donde,  $a_T = a_c \alpha$ , y  $a_c$  es el valor de  $a_T$  a la temperatura crítica y  $\alpha$  es un término adimensional dependiente de la temperatura el cual tiene un valor de 1.0 en la temperatura crítica.

Y donde,

$$b = 0.08664 \frac{RT_c}{P_c} \quad y \quad a_c = 0.42747 \frac{R^2 T_c^2}{P_c}$$

#### 2.3.2.6.2 Ecuación de estado Peng –Robinson.

$$P + \frac{a_T}{V_M (V_M + b) + b (V_M + b)} (V_M - b) = RT$$

Donde,

$$b = 0.07780 \frac{RT_c}{P_c} \quad y \quad a_c = 0.45724 \frac{R^2 T_c^2}{P_c}$$

### 2.4 PROPIEDADES DE LOS GASES.

En esta sección se estudiarán las diversas propiedades que van involucradas dentro del estudio del comportamiento de los gases. Dentro de estas propiedades, podemos encontrar los siguientes conceptos que se muestran a continuación.

**2.4.1 Factor volumétrico de formación del gas.** El factor volumétrico de formación del gas es definido como el volumen de gas a condiciones de yacimiento requeridas para producir un pie cubico estándar de gas en superficie. Suele utilizarse unidades de yacimiento como pie cubico, por lo tanto, el factor volumétrico de formación del gas está dado como,  $ft^3$  SCF. Los pies cúbicos de yacimiento simplemente representa el gas medido o calculado a temperatura y presión de yacimiento. A menudo las unidades utilizadas son barriles de gas por cada pie cubico estándar,  $bbl$  SCF.

El factor volumétrico de un gas puede ser calculado como el volumen ocupado por el gas a presión y temperatura de yacimiento dividido por el volumen ocupado por la misma masa del gas a condiciones estándar.

$$\beta_g = \frac{V_{yac}}{V_{SC}}$$

**2.4.2 Coeficiente de compresibilidad isotérmico del gas.** El coeficiente de compresibilidad isotérmico es definido como el cambio fraccional del volumen en un delta de presión a una temperatura constante. La ecuación que lo define es,

$$c_g = -\frac{1}{V} \frac{\partial V}{\partial P}_T$$

Se debe entender que el término compresibilidad es usado para designar el coeficiente de compresibilidad isotérmico; mientras, el termino factor de compresibilidad hace referencia a el factor  $z$ , el coeficiente en la ecuación de estado de compresibilidad.

**2.4.3 Viscosidad del gas.** El coeficiente de la viscosidad es una medida a la resistencia a fluir ejercida por un fluido. Un poise es la fluidez de un gramo de sustancia que recorre en un centímetro y en un segundo. Usualmente, la

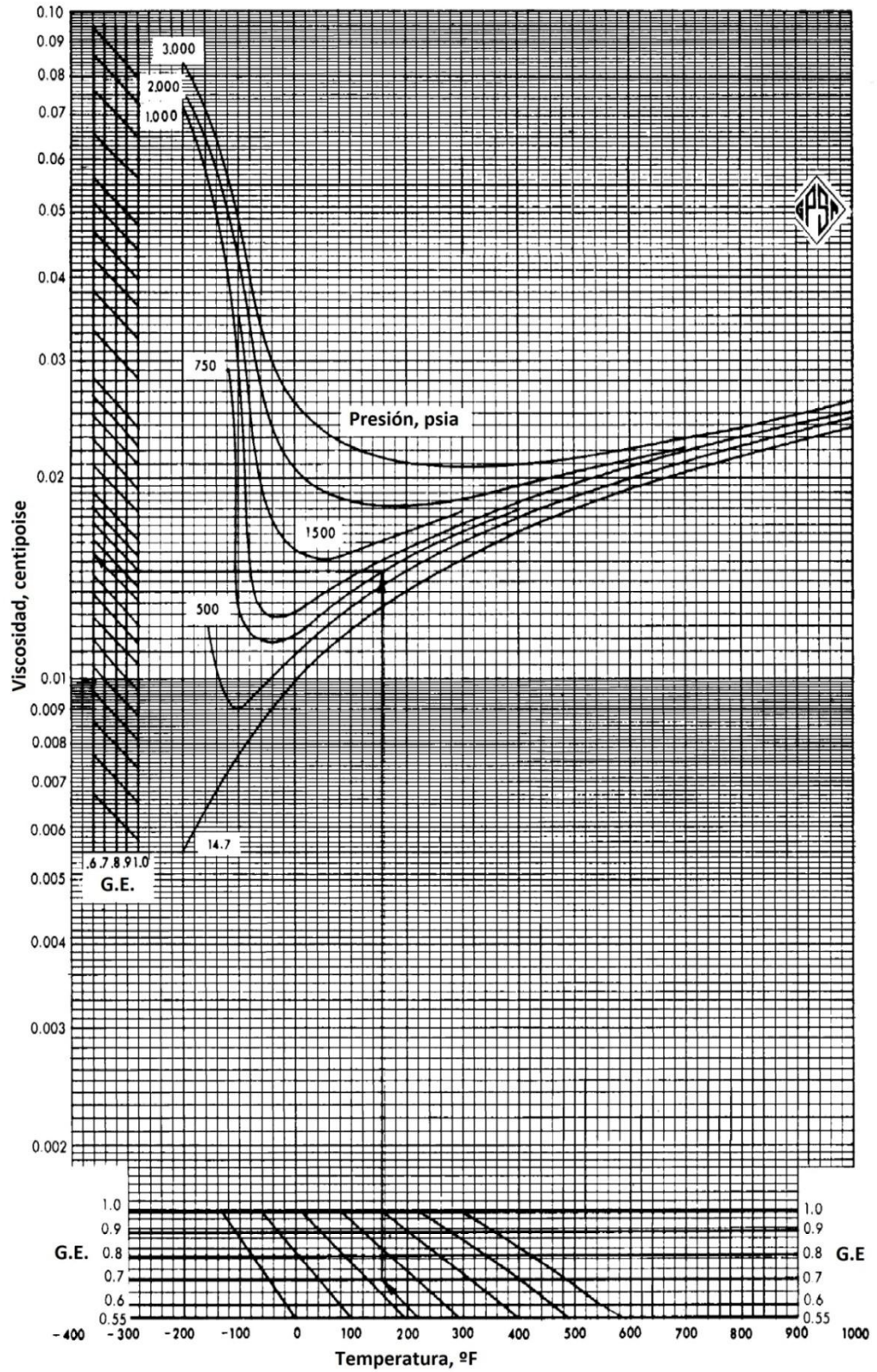
viscosidad es dada en unidades de *centipoise*. Este término de viscosidad es llamada *viscosidad dinámica* para diferenciarla de la *viscosidad cinemática*, la cual es definida como la viscosidad dinámica dividida por la densidad del fluido.

$$\text{viscosidad cinemática } \nu = \frac{\text{viscosidad dinámica } \mu}{\text{densidad } \rho_g} = \frac{\text{centipoise}}{\text{g cc}}$$

Usualmente, la viscosidad cinemática es dada en *centistokes*. El centistoke está definido como centipoise dividido por la densidad en gramos por centímetro cúbico.

En la Figura 13 se puede obtener gráficamente el valor de la viscosidad en función de la gravedad específica del gas a condiciones de temperatura y presión deseada.

Fig. 13. Viscosidades de los gases en función de la gravedad específica, temperatura y presión.



Fuente: Gas Processors Suppliers Association (GPSA), "Engineering Data Book". 12 Ed.

<sup>26</sup>Existen dos métodos muy conocidos para calcular la viscosidad para mezcla de gases, el método de Carr – Kobayashi – Burrows y el método de Lee – González – Eakin.

**2.4.3.1 Método de Carr – Kobayashi – Burrows.** Carr, Kobayashi y Burrows en 1954, desarrollaron las correlaciones gráficas para estimar la viscosidad de un gas como función de la temperatura, presión y gravedad específica del gas. Ellos se basan en los siguientes pasos.

- 1) Calcular la presión pseudo – crítica, temperatura pseudo – crítica y el peso molecular aparente o gravedad específica de la composición del gas. Hacer las correcciones a esas propiedades pseudo-críticas por la presencia de los componentes no hidrocarburos, debe realizarse la corrección si estos componentes están presentes por encima o igual al 5% molar de la mezcla.
- 2) Obtener la viscosidad del gas a una atmosfera de presión y la temperatura de interés, ver Fig. 4.3 de la herramienta multimedia. Esta viscosidad, es denotada como  $\mu_1$ , y debe de ser corregida por la presencia de los componentes no hidrocarburos utilizando la Fig. 4.4 adjunta en la herramienta multimedia. El efecto de los componentes no hidrocarburos en la viscosidad de un gas puede ser expresada matemáticamente por la siguiente relación,

$$\mu_1 = \mu_1 \text{ sin corregir} + \Delta\mu_{N_2} + \Delta\mu_{CO_2} + \Delta\mu_{H_2S}$$

Donde,

$\mu_1$  = es la viscosidad “corregida” del gas a una atmosfera de presión y a una temperatura de yacimiento,

---

<sup>26</sup> AHMED, Tarek. “Reservoir Engineering Handbook”. 3ª Ed. 2006

- $\Delta\mu_{N_2}$  = es la corrección debido a la presencia de  $N_2$   
 $\Delta\mu_{CO_2}$  = es la corrección debido a la presencia de  $CO_2$   
 $\Delta\mu_{H_2S}$  = es la corrección debido a la presencia de  $H_2S$   
 $\mu_1$  sin corregir = viscosidad del gas sin corregir.

- 3) Calcular la presión y temperatura pseudo – reducida.
- 4) De la presión y temperatura pseudo – reducida, obtener la razón de viscosidad,  $\mu_g / \mu_{g_1}$ , de las figuras 4.5 o 4.6 adjuntas en la herramienta multimedia. El término  $\mu_g$  representa la viscosidad del gas a las condiciones requeridas.
- 5) La viscosidad del gas,  $\mu_g$ , a la presión y temperatura de interés es calculada por la multiplicación de la viscosidad a una atmosfera de presión y la presión del sistema,  $\mu_{g_1}$ , por la relación de viscosidad.

**2.4.3.2 Método de Lee - González – Eakin.** Lee, González y Eakin en 1966 presentaron una relación semi empírica para calcular la viscosidad de los gases. Los autores expresaron la viscosidad en términos de la temperatura de yacimiento, densidad del gas y el peso molecular del gas. Ellos propusieron la siguiente ecuación,

$$\mu_g = 1.0^{-4} K \exp X \frac{\rho_g}{62.4}^Y$$

Donde,

$$K = \frac{9.4 + 0.02M_A T^{1.5}}{209 + 19M_A + T}$$

$$X = 3.5 + \frac{986}{T} + 0.01M_A$$

$$Y = 2.4 - 0.2X$$

**2.4.4 Valor calorífico.** El valor calorífico de un gas es la cantidad de calor producido cuando el gas es quemado completamente produciendo dióxido de carbono y agua. El valor calorífico es usualmente expresado en Unidades Térmicas Inglesas (*BTU, British Thermal Unit*) por pie cubico estándar, *BTU SCF*.

La industria petrolera utiliza cuatro adjetivos para describir los valores caloríficos: *húmedo, seco, bruto y neto*.

Cuando es usado con términos de calor, los términos húmedo y seco se refieren a la condición del gas preferente a la combustión. Húmedo hace referencia a que el gas es saturado con vapor de agua, cerca de un 1.75% en volumen. Y seco refiere a que el gas no contiene agua.

El valor calorífico de un gas ideal es calculado como,

$$L_{c \text{ ideal}} = \sum_j y_j L_{c j}$$

**2.4.5 Propiedades de los gases húmedos.** La llave para analizar las propiedades de un gas húmedo es que las propiedades del gas en superficie no son las mismas propiedades a condiciones de yacimiento. El líquido se condensa desde el yacimiento a medida que este se mueve desde las condiciones de yacimiento a condiciones de superficie. Por lo tanto la composición del gas en superficie es absolutamente diferente de la composición del gas en yacimiento, teniendo considerablemente menos de los componentes intermedios y pesados.

Los gases húmedos usualmente son separados en un sistema de separación de dos etapas. En la superficie, la corriente es separada en un tanque de almacenamiento (*stock-tank*) (condensados), separador de gas y tanque de almacenamiento de gas (*stock-tank gas*). Estos tres fluidos deben ser incluidos en los cálculos de recombinación.

Para ello se puede hacer recombinación de fluidos en superficie para composiciones conocidas y desconocidas, utilizando las propiedades físicas tanto del separador como en el tanque de almacenamiento.

## **2.5 PROPIEDADES DEL ACEITE.<sup>27</sup>**

Se considerará aquellas propiedades físicas las cuales son requeridas para los cálculos en la ingeniería de yacimientos conocidos como, cálculos de balance de materia. Los procesos físicos involucrados en las propiedades del crudo cambian a medida que la presión del yacimiento es reducida a una temperatura constante.

**2.5.1 Gravedad específica del crudo.** La gravedad específica del crudo o aceite,  $\gamma_o$ , es definida como la relación de la densidad del crudo y la densidad del agua, tomados ambos a la misma presión y temperatura.

$$\gamma_o = \frac{\rho_o}{\rho_w}$$

Algunas veces, esta propiedad es dada como 60°/60°, la cual significa que las densidades tanto del aceite como del agua fueron medidas a 60°F y a presión atmosférica.

$$^{\circ}API = \frac{141.5}{\gamma_o} - 131.5$$

Donde  $\gamma_o$  es la gravedad específica a 60°/60°

---

<sup>27</sup> AHMED, Tarek. "Reservoir Engineering Handbook". 3° Ed. 2006

**2.5.2 Factor volumétrico de formación del aceite.** El factor volumétrico de formación del aceite está definido como el volumen de aceite de yacimiento requerido para obtener un barril de aceite en el tanque de almacenamiento (*stock-tank*). Ya que el aceite de formación incluye el gas disuelto,

$$\beta_o = \frac{\text{volumen de aceite} + \text{gas disuelto liberado a condiciones estandar}}{\text{volumen de aceite entrando al stock - tank a condiciones estandar}}$$

Las unidades son barriles de aceite a condiciones estándar por barril en el stock-tank, *bbl STB*. El volumen en el stock-tank es siempre reportado a 60°F, sin tener en cuenta la temperatura del stock-tank.

**2.5.3 Relación gas – aceite en solución.** La relación gas-aceite en solución es la cantidad de gas que se libera desde el aceite, a medida que el aceite es transportado desde el yacimiento hasta la superficie. Esta relación está definida en términos de las cantidades de gas y aceite que aparecen en la superficie durante la producción.

$$R_s = \frac{\text{volumen de gas producido en superficie a condiciones estandar}}{\text{volumen de aceite entrando al stock - tank a condiciones estandar}}$$

Los volúmenes en superficie tanto del gas como del aceite son referidos a condiciones estándar, por lo tanto las unidades es *SCF STB*.

**2.5.4 Factor volumétrico de formación total.** Este volumen total es el *factor volumétrico de formación total*.

$$\beta_t = \beta_o + \beta_g R_{sb} - R_s$$

El factor volumétrico de formación del gas debe ser expresado en unidades de *bbl SCF*, y el factor volumétrico de formación total en *bbl STB*.

**2.5.5 Coeficiente de compresibilidad isotérmica del aceite.** A presiones por encima del punto de burbuja, el *coeficiente de compresibilidad isotérmica del aceite* está definido exactamente como el coeficiente de compresibilidad isotérmica del gas. A presiones por debajo del punto de burbuja, un término adicional debe ser adicionado a la definición para calcular el gas liberado. Como con los gases, el coeficiente de compresibilidad isotérmico del aceite es llamado algunas veces *compresibilidad del aceite*.

**2.5.6 Viscosidad del aceite.** La viscosidad de un líquido es relacionada directamente al tipo y tamaño de las moléculas las cuales componen el líquido. La variación de la viscosidad del líquido con estructura molecular no se conoce con exactitud; sin embargo, las viscosidades de los líquidos los cuales son semejantes, se asume que varían en una manera regular, como lo hace la mayoría de las propiedades físicas.

Un incremento en la temperatura causa una disminución en la viscosidad. Una disminución en la presión causa una disminución en la viscosidad, debido a que solamente el efecto de la presión es para comprimir el líquido.

Además, en el caso de los líquidos del yacimiento, existe un tercer parámetro que afecta la viscosidad. Una disminución en la cantidad de gas en solución en el líquido, causa un incremento en la viscosidad, y, por supuesto, la cantidad de gas en solución es una función directa de la presión.

**2.5.7 Coeficiente isobárico de la expansión térmica.** El coeficiente isobárico de la expansión térmica está definido como el cambio fraccional en volumen de un líquido tanto la temperatura cambia bajo una presión constante.

$$B = \frac{1}{V} \frac{\partial V}{\partial T} \bigg|_P$$

La definición en términos de la densidad se muestra como,

$$B = -\frac{1}{\rho_o} \frac{\partial \rho_o}{\partial T}_P$$

El término coeficiente de expansión térmica usualmente es asumido como una constante sobre un limitado rango de temperaturas.

**2.5.8 Tensión interfacial.**<sup>28</sup> Existe un desequilibrio de fuerzas moleculares en la interface entre dos fases. Esto es causado por la atracción física entre las moléculas. Este desequilibrio de fuerzas es conocido como *tensión interfacial*. Una molécula en un líquido es uniformemente atraída por las moléculas circundantes.

Una molécula en la superficie es atraída más fuertemente hacia abajo porque las moléculas del gas están separadas más ampliamente, y la atracción es inversamente proporcional a la distancia entre moléculas.

Este desequilibrio de fuerzas crea una especie de membrana en la superficie. Esto causa que el líquido tienda hacia un área de superficie mínima. Por ejemplo, una gota de agua cayendo a través del aire tiende a ser esférica, ya que una esfera tiene la relación mínima entre volumen y superficie.

## 2.6 ANÁLISIS PVT.<sup>29</sup>

Para optimizar la producción de un campo de aceite o de gas, es esencial tener el conocimiento de los cambios volumétricos y de fase del fluido de yacimiento, que pueden llegar a someterse desde el recorrido del yacimiento hasta la refinería.

Las propiedades PVT son el término general utilizado para expresar el comportamiento volumétrico de un fluido del yacimiento como una función de la presión y la temperatura. Una propiedad PVT esencial es la presión de saturación a una temperatura de yacimiento. Desde el momento que la presión

<sup>28</sup> MCCAIN, William, D. Jr. "The Properties of Petroleum Fluids". PennWell. 2ª Ed

<sup>29</sup> DANESH, Ali. "PVT and Phase Behaviour of Petroleum Reservoir Fluids". 1998 (Modificado)

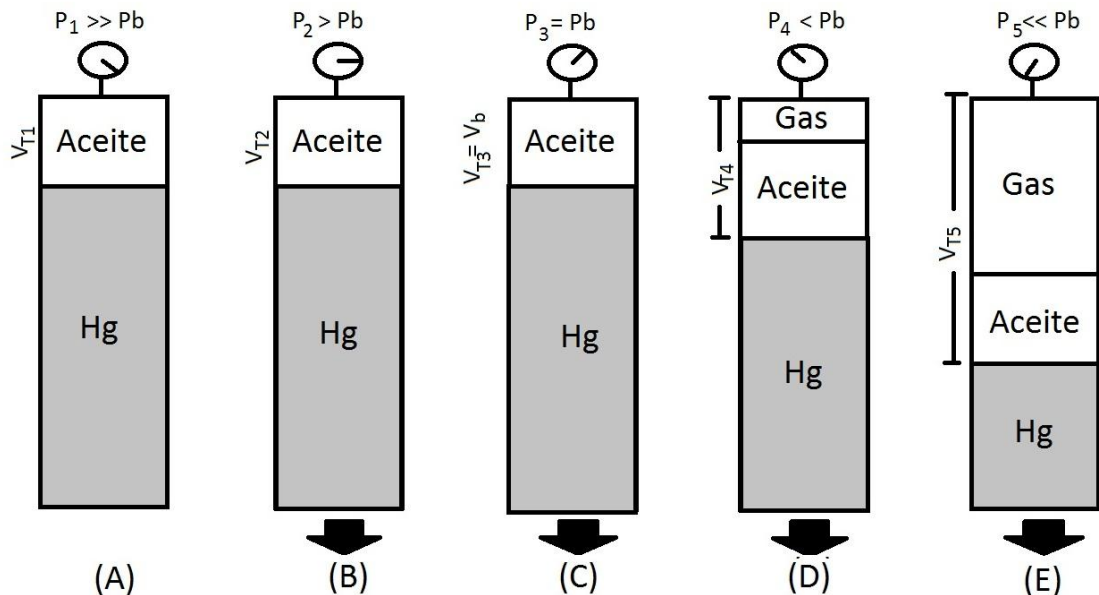
del yacimiento alcanza la presión de saturación, en el yacimiento se empieza a formar una segunda fase (gas).

Es costumbre usar los volúmenes de aceite y gas a presión atmosférica y a 60°F como valores de referencia.

Los cambios volumétricos toman lugar en el yacimiento, durante el paso desde el pozo hasta los procesos en superficie, pueden ser estudiados desarrollando experimentos PVT del fluido. Este capítulo describe los experimentos PVT que comúnmente más se desarrollan a un fluido.

**2.6.1 Expansión a composición constante.** El experimento de expansión a composición (o masa) constante para un gas condensado se puede ver esquemáticamente en la Figura 14, pero también puede ser realizado en mezcla de componentes.

Fig. 14 Esquemas del experimento de expansión a composición constante.



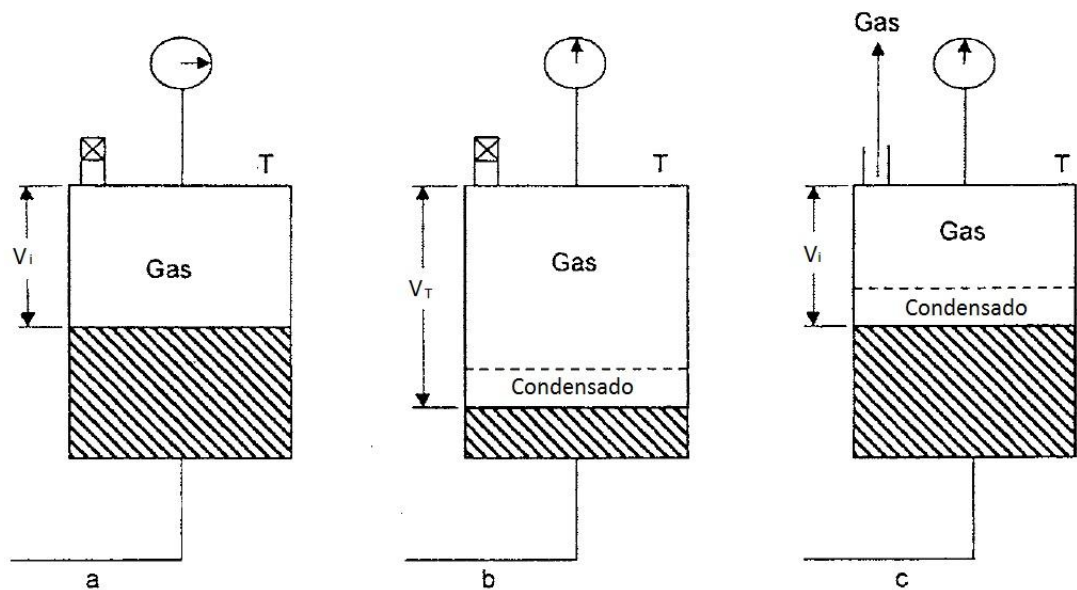
Fuente: DANESH, Ali. "PVT and Phase Behaviour of Petroleum Reservoir Fluids". 1998

El procedimiento experimental involucra colocar una muestra del fluido (aceite o gas) en una celda visual PVT a temperatura de yacimiento y a una presión

mayor a la presión inicial del yacimiento (Figura 14-A). La presión es reducida en pasos a temperatura constante removiendo mercurio de la celda, y el cambio en el volumen total,  $V_T$ , es medido para cada incremento en la presión.

**2.6.2 Depleción a volumen constante.** Los experimentos de depleción a volumen constante son realizados en condensados del gas y aceites volátiles para simular el desempeño de la depleción del yacimiento y la variación composicional. La prueba provee una variedad de información importante y útil que son utilizados en cálculos de ingeniería de yacimiento. Estos datos y cálculos se puede observar con mayor profundidad en la herramienta multimedia adjunta a este proyecto. Un esquema general de este experimento se puede observar en la Figura 15.

Fig. 15 Ilustración esquemática de la depleción a volumen constante.



Fuente: DANESH, Ali. "PVT and Phase Behaviour of Petroleum Reservoir Fluids". 1998

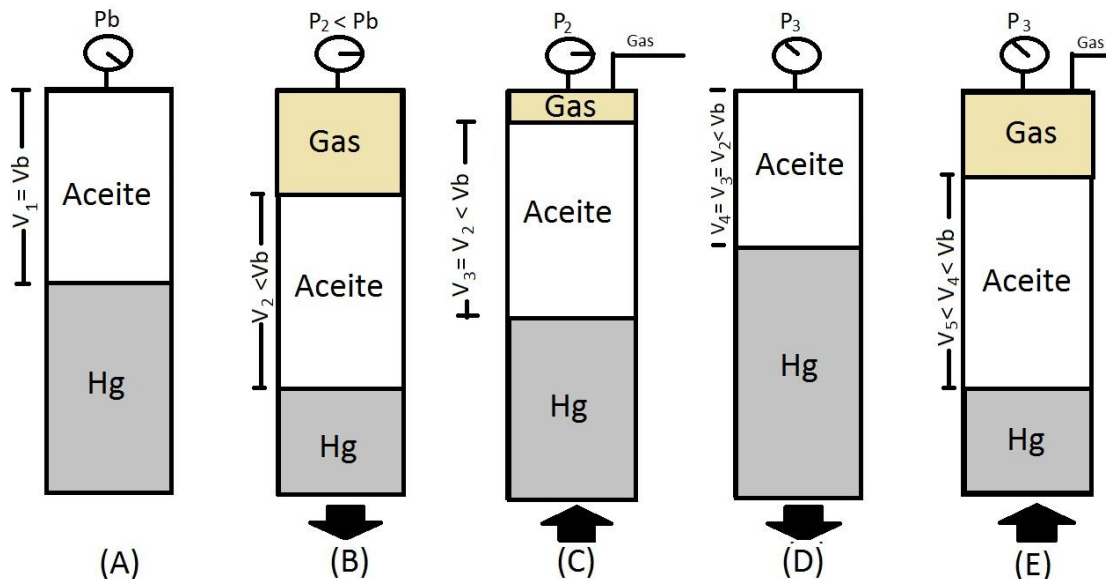
**2.6.3 Liberación diferencial.** En el proceso de liberación diferencial, el gas en solución liberado de una muestra de aceite durante la declinación en la presión es continuamente removido de contacto con el aceite, antes de establecer el equilibrio con la fase líquida. Este tipo de liberación es

caracterizada por una variación composicional del total de hidrocarburos del sistema. La información experimental obtenida de la prueba incluye,

- Cantidad de gas en solución como una función de la presión
- La merma en el volumen de aceite como una función de la presión
- Propiedades del gas liberado, incluyendo la composición, el factor de compresibilidad y la gravedad específica.
- Densidad del aceite remanente como una función de la presión.

Esta prueba es llevada a cabo en muestras de crudos líquidos montadas en una celda PVT en la presión del punto de burbuja y a la temperatura del yacimiento. Como es mostrado esquemáticamente en la Figura 16, la presión es reducida en pasos, usualmente de 10 a 15 niveles de presión, luego todo el gas liberado es retirado y ese volumen es medido a condiciones estándar.

Fig. 16 Prueba de liberación diferencial



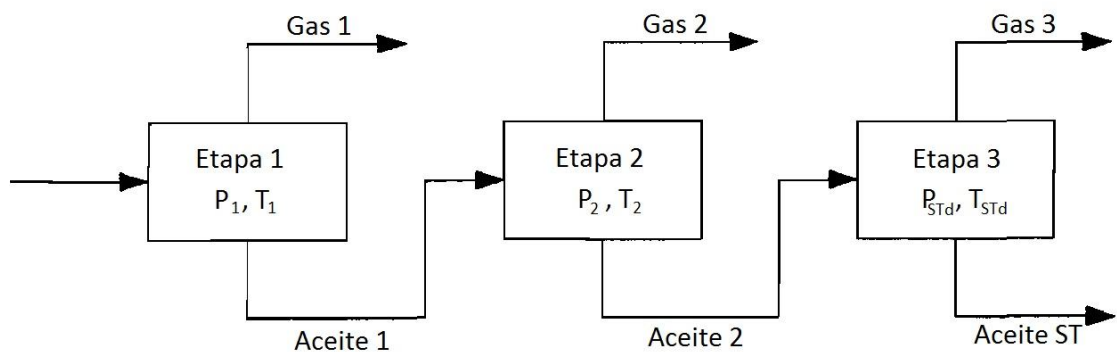
Fuente: MCCAIN, William, D. Jr. "The Properties of Petroleum Fluids". PennWell. 2ª Ed

**2.6.4 Prueba del separador.** La prueba del separador es desarrollada para determinar los cambios en el comportamiento volumétrico del fluido del yacimiento a medida que el fluido pasa a través del separador (o separadores)

y luego entra al stock-tank. El comportamiento volumétrico resultante es influenciado en una gran medida por las condiciones de operación, que son las presiones y temperaturas, de las facilidades de separación en superficie. El objetivo primario de llevar a cabo estas pruebas, por lo tanto, es proveer la información de laboratorio esencial necesaria para determinar las condiciones óptimas de separación en superficie, que a su vez maximiza la producción de aceite.

La prueba involucra colocar una muestra de hidrocarburo a su presión de saturación y temperatura de yacimiento en una celda PVT. El volumen de la muestra es medido como  $V_{sat}$ . La muestra luego es desplazada y flasheada a través de un sistema de separadores multietapa, comúnmente 1 o 3 etapas, como se muestra en la Figura 17.

Fig. 17 Esquema esquemático de la prueba de los separadores.



Fuente: DANESH, Ali. "PVT and Phase Behaviour of Petroleum Reservoir Fluids". 1998

**2.7 Equilibrio de fases gas – líquido.**<sup>30</sup> El área limitada por las curvas del punto de burbuja y el punto de rocío en el diagrama de fases de una mezcla multicomponente define las condiciones para la cual el gas y el líquido existan en equilibrio. Las cantidades y composiciones de las dos fases varían a diferentes puntos dentro de los límites de la envolvente de fase.

<sup>30</sup> MCCAIN, William, D. Jr. "The Properties of Petroleum Fluids". PennWell. 2ª Ed (Modificado)

En esta oportunidad se considerarán métodos para calcular el comportamiento de mezcla de hidrocarburos en la región de dos fases. Tres tipos de cálculos se examinarán:

- ✓ Cálculos de condiciones para cual una mezcla exhibe un punto de rocío.
- ✓ Cálculos de condiciones para cual una mezcla exhibe un punto de burbuja.
- ✓ Cálculos de cantidades y composiciones del gas y líquido a condiciones dentro de la región de dos fases.

Estos métodos de cálculos permiten predecir el comportamiento de los fluidos del yacimiento y determinar las condiciones para procesar en superficie dichos fluidos.

**2.7.1 Soluciones ideales.** Una *solución ideal* es una solución para la cual,

- ✓ Solubilidad mutua resulta cuando los componentes son mezclados.
- ✓ No hay interacción química cuando ocurre la mezcla
- ✓ Los diámetros moleculares de los componentes son los mismos.
- ✓ Las fuerzas intermoleculares de atracción y de repulsión son las mismas entre moléculas iguales y desiguales.

Esas propiedades de soluciones ideales llevaron a dos resultados prácticos. Primero, no hay efecto de calor cuando los componentes de una solución ideal son mezclados. Segundo, el volumen de la solución ideal iguala a la suma de los volúmenes de los componentes que deberían ocupar como líquidos puros a la misma presión y temperatura.

**2.7.1.1 Ecuación de Raoult.** La ecuación de Raoult declara que la presión parcial de un componente en el gas es igual a la fracción molar de ese componente en el líquido multiplicado por la presión de vapor del componente

puro. La ecuación de Raoult es válida solamente si las mezclas de tanto el gas y el líquido son soluciones ideales. Matemáticamente, se expresa como,

$$P_j = x_j P_{v_j}$$

**2.7.1.2 Ecuación de Dalton.** Se sabe que la ecuación de Dalton puede ser utilizada para calcular la presión parcial ejercida por un componente de una mezcla de gases ideales,

$$P_j = y_j P$$

**2.7.1.3 Composiciones y cantidades de las fases de equilibrio gas y líquido en una solución ideal.** Las ecuaciones de Raoult y Dalton representan la presión parcial de un componente en una mezcla de gases. En el caso de la ecuación de Raoult, el gas debe estar en equilibrio con un líquido. Estas ecuaciones pueden ser combinadas eliminando la presión parcial. La ecuación resultante relaciona las composiciones de las fases gas y líquido en equilibrio a la presión y temperatura a la cual existe el equilibrio gas-líquido.

$$y_j P = x_j P_{v_j}$$

Ó

$$\frac{y_j}{x_j} = \frac{P_{v_j}}{P}$$

**2.7.1.4 Cálculo de la presión del punto de burbuja de una solución líquida ideal.** La presión del punto de burbuja de una solución líquida ideal a una temperatura dada es simplemente la suma de los productos de la fracción molar y las presiones de vapor de cada componente.

$$P_b = \sum_j z_j P_{v_j}$$

**2.7.1.5 Cálculo de la presión del punto de rocío de una solución gaseosa ideal.** El punto de rocío de una mezcla de gas ideal a una temperatura dada es simplemente el inverso de la sumatoria de la fracción molar dividido por la presión de vapor para cada componente.

$$P_d = \frac{1}{\sum_j \frac{z_j}{P_{vj}}}$$

**2.7.2 Soluciones NO Ideales.** La idealización de las soluciones ideales está limitada por algunas razones. Primero, la ecuación de Dalton está basada en la suposición que el gas se comporta como una solución ideal de gases ideales. Segundo, la ecuación de Raoult está basada en la suposición que el líquido se comporta como una solución ideal. El comportamiento de una solución ideal es aproximado solamente si los componentes de la mezcla de líquidos son químicamente y físicamente muy similares. Tercero, un componente puro no tiene una presión de vapor a temperaturas por encima de su temperatura crítica.

De esta manera, las ecuaciones utilizadas en el cálculo de soluciones ideales están limitadas a temperaturas más bajas que la temperatura crítica de la mayoría de los componentes volátiles en la mezcla.

Varios métodos teóricos para superar estos problemas han sido tratados. Pero la única manera razonable precisa de predecir el equilibrio gas-líquido es a través de correlaciones basados en observaciones experimentales de comportamiento de equilibrio gas-líquido. Esas correlaciones usualmente involucran la *relación de equilibrio (K)*, la cual es definida como,

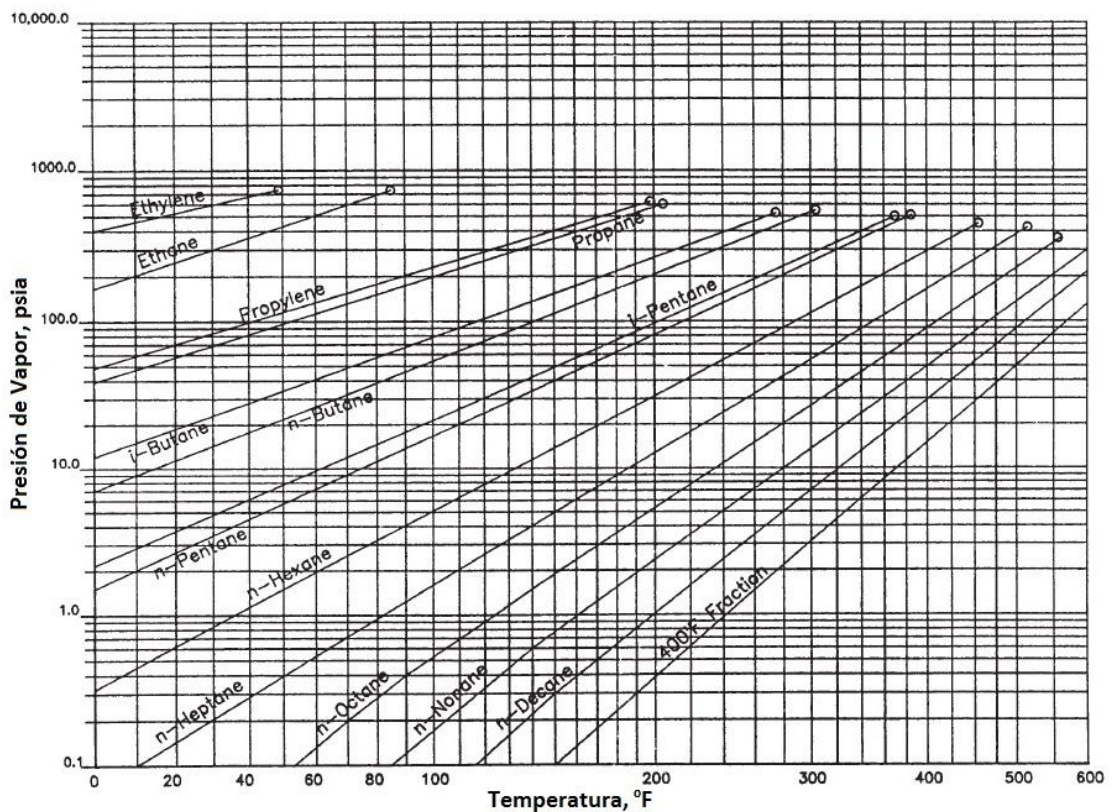
$$K_j = \frac{y_j}{x_j}$$

Donde  $y_j$  y  $x_j$  son valores determinados experimentalmente de las composiciones de gas y líquido que existe en equilibrio a una presión y temperatura dada.

En la Figura 18 se pueden ver los valores de la presión de vapor de diversos compuestos de hidrocarburos puros, esta figura se conoce como la Carta Cox, y es recomendada para determinar la relación de equilibrio utilizando la siguiente expresión matemática,

$$K_i = \frac{P_{vi}}{P}$$

Fig. 18 Valores de presión de vapor de compuestos puros de hidrocarburos, en función de la temperatura.



Fuente: Gas Processors Suppliers Association (GPSA), "Engineering Data Book". 12 Ed.

Los valores de  $K$ , pueden ser obtenidos directamente en las figuras 7.2 – 7.9 mostradas en la sección 7.2 del Capítulo 7 en la herramienta multimedia adjunta a este trabajo.

### 2.7.2.1 Composiciones y cantidades de las fases gas y líquido en equilibrio de una solución real.

$$\sum_j x_j = \sum_j \frac{z_j}{1 + n_g(K_j - 1)} = 1$$

Y,

$$\sum_j y_j = \sum_j \frac{z_j}{1 + n_L \frac{1}{K_j} - 1} = 1$$

### 2.7.2.2 Cálculo de la presión del punto de burbuja de un líquido real.

De nuevo se considera que la cantidad de gas en el punto de burbuja es despreciable. Así, se puede sustituir que  $n_g = 0$ ,  $n_L = n$ . Por lo tanto,

$$\sum_j z_j K_j = 1$$

La presión no aparece implícitamente en la ecuación anterior. Así la presión del punto de burbuja no puede ser calculada directamente como en el caso de las soluciones ideales.

**2.7.2.3 Cálculo de la presión de punto de rocío de un gas ideal.** En el punto de rocío, la mezcla está enteramente en la fase gaseosa, excepto por una cantidad infinitesimal de líquido. Así,  $n_L = 0$  y  $n_g = n$  por lo tanto,

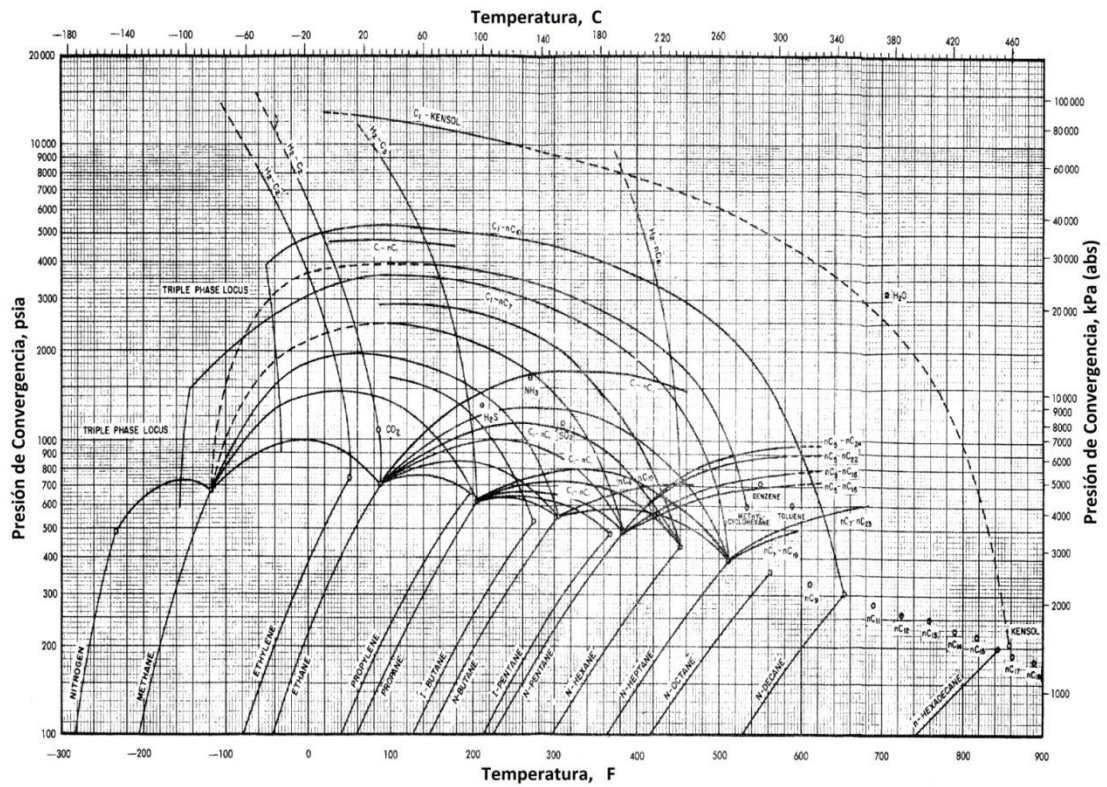
$$\sum_j \frac{z_j}{K_j} = 1$$

La presión del punto de rocío es la presión a la temperatura dada para la cual la ecuación anterior satisface. De nuevo, los cálculos involucran procesos de prueba y error.

**2.7.3 Presión de convergencia.** Los factores  $K$  determinados experimentalmente normalmente son trazados versus la presión en una escala log – log. Las formas de las curvas son características de la mayoría de mezcla multicomponentes. A bajas presiones, la pendiente de cada curva es aproximadamente -1.0. Una pendiente de -1.0 para factores  $K$  ideales es predecible por la ecuación (7.14) de la herramienta multimedia. Cada curva pasa a través de un valor de unidad a una presión muy cerca a la presión de vapor del componente a la temperatura de la grafica. Esto también es predicho por el comportamiento de las soluciones ideales. A altas presiones, el efecto de no idealidad son vistos. La curva para cada componente parte de una pendiente de -1.0. Las curvas tienen a converger hacia un valor de  $K$  igual a 1.0

Presiones de convergencia de mezcla de hidrocarburos binarios pueden ser estimadas utilizando la Figura 19.

Fig. 19. Presiones de convergencia para hidrocarburos.



Fuente: Gas Processors Suppliers Association (GPSA), "Engineering Data Book". 12 Ed.

Este método de estimación de la presión de convergencia involucra un procedimiento de prueba y error en el cual, un primer valor de presión de convergencia de prueba es utilizado para obtener factores de equilibrio. Una estimación razonable de presión de convergencia para un valor de prueba inicial, puede ser obtenida de la siguiente forma,

$$P_k = 60M_{C7+} - 4200$$

Donde,  $M_{C7+}$  es el peso molecular de la fracción de heptanos plus.

## 2.8 CARACTERIZACIÓN DE LA FRACCIÓN PESADA.<sup>31</sup>

<sup>31</sup> RIAZI, M. R. "Characterization and Properties of Petroleum Fractions". AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. 2005. (Modificado)

Existen diferentes modos de clasificar los componentes de los fluidos del yacimiento. Normalmente, los constituyentes de un sistema de hidrocarburos son clasificados dentro de dos categorías; fracciones del petróleo bien definidas y fracciones indefinidas del petróleo. Los componentes bien definidos incluyen

- ✓ Fracciones no hidrocarburos, las cuales son,  $CO_2, N_2, H_2S$ .
- ✓ Metano hasta normal Pentano. El metano hasta el propano exhibe una estructura molecular única, mientras que el butano puede existir como dos isómeros y el pentano como tres isómeros
- ✓ Hexanos y pesados, donde el número de isómeros aumenta exponencialmente

Katz y Firoozabadi, en 1978, presentaron un arreglo generalizado de las propiedades físicas para las fracciones del petróleo desde  $C_6$  hasta  $C_{45}$ , que son expresadas como un Número de Carbono Único (*SCN, por sus siglas en inglés, Single Carbon Number*), tal como el grupo  $C_6$ , el grupo  $C_7$  y el grupo  $C_8$ .

**2.8.1 Correlaciones generalizadas.**<sup>32</sup> Más adelante en este mismo capítulo, se estudiarán todas esas correlaciones generalizadas donde se intenta conocer las propiedades críticas de esas fracciones pesadas del crudo, dentro de las cuales se pueden mencionar,

#### 2.8.1.1 Correlación de Edmister.

$$\omega = \frac{3 \log \frac{P_c}{14.7}}{7 \frac{T_c}{T_b} - 1} - 1$$

#### 2.8.1.2 Correlación de Riazi y Daubert.

$$\theta = aT_b^b \gamma^c$$

---

<sup>32</sup> AHMED, Tarek. "Equations of State and PVT Analysis". 2007

Donde,

$\theta$  = cualquier propiedad física ( $T_c, P_c, V_c$  o  $M$ )

$T_b$  = punto de ebullición normal, °R

$\gamma$  = gravedad específica

$a, b, c$  = constantes de la correlación que se ven en la Tabla 9

Tabla 9. Valores de parámetros y constantes para la correlación de Riazi y Daubert

$\theta$	$a$	$b$	$c$	Desviación, %	
				promedio	máximo
$M$	$-4.56730 \times 10^{-5}$	2.19620	-1.0164	2.6	11.8
$T_c, \text{°R}$	24.27870	0.58848	0.3596	1.3	10.6
$P_c, \text{psia}$	$3.12281 \times 10^9$	-2.31250	2.3201	3.1	-9.3
$V_c, \text{ft}^3 \text{ lb}$	$7.52140 \times 10^{-3}$	0.28960	-0.7666	2.3	-9.1

Fuente: AHMED, Tarek. "Equations of State and PVT Analysis". 2007

**2.8.1.3 Correlación de Cavett.** La correlación propuesta fue expresada analíticamente como función del punto de ebullición normal, en °F, y la gravedad API.

$$T_c = a_0 + a_1 T_b + a_2 T_b^2 + a_3 \text{API} T_b + a_4 T_b^3 + a_5 \text{API} T_b^2 + a_6 \text{API}^2 T_b^2$$

$$\log P_c = b_0 + b_1 T_b + b_2 T_b^2 + b_3 \text{API} T_b + b_4 T_b^3 + b_5 \text{API} T_b^2 + b_6 \text{API}^2 T_b + b_7 \text{API}^2 T_b^2$$

Donde, los coeficientes están dados en la Tabla 10.

Tabla 10. Coeficientes de la correlación de Cavett

$i$	$a_i$	$b_i$
0	768.071210	2.82904060
1	1.71336930	$0.94120109 \times 10^{-3}$
2	-0.0010834003	$-0.30474749 \times 10^{-5}$

3	-0.0089212579	-0.20876110× 10 <sup>-4</sup>
4	0.38890584× 10 <sup>-6</sup>	0.15184103× 10 <sup>-8</sup>
5	0.5309492× 10 <sup>-5</sup>	0.11047899× 10 <sup>-7</sup>
6	0.327116× 10 <sup>-7</sup>	-0.48271599× 10 <sup>-7</sup>
7		0.13949619× 10 <sup>-9</sup>

Fuente: AHMED, Tarek. "Equations of State and PVT Analysis". 2007

#### 2.8.1.4 Correlación de Kessler y Lee

$$\ln P_c = 8.3634 - \frac{0.0566}{\gamma} - 0.24244 + \frac{2.2898}{\gamma} + \frac{0.11857}{\gamma^2} 10^{-3} T_b$$

$$+ 1.4685 + \frac{3.648}{\gamma} + \frac{0.47227}{\gamma^2} 10^{-7} T_b^2$$

$$- 0.42019 + \frac{1.6977}{\gamma^2} 10^{-10} T_b^3$$

$$T_c = 341.7 + 811.1\gamma + 0.4244 + 0.1174\gamma T_b$$

$$+ \frac{0.4669 - 3.26238\gamma 10^5}{T_b}$$

$$M = -12272.6 + 9486.4\gamma + 4.6523 - 3.3287\gamma T_b$$

$$+ 1 - 0.77084\gamma - 0.02058\gamma^2 1.3437 - \frac{720.79}{T_b} \frac{10^7}{T_b}$$

$$+ 1 - 0.80882\gamma - 0.02226\gamma^2 1.8828 - \frac{181.98}{T_b} \frac{10^{12}}{T_b^3}$$

El factor acéntrico es encontrado por la definición del factor de caracterización de Watson, K, y el punto de ebullición reducido,  $\theta$ , por la siguiente expresión,

$$K = \frac{T_b^{1/3}}{\gamma}$$

$$\theta = \frac{T_b}{T_c}$$

### 2.8.1.5 Correlación de Winn y Sim-Daubert

$$P_c = 3.48242 \times 10^9 T_b^{-2.3177} \gamma^{2.4853}$$

$$T_c = \exp 3.9934718 T_b^{0.08615} \gamma^{0.04614}$$

$$M = 1.4350476 \times 10^{-5} T_b^{2.3776} \gamma^{-0.9371}$$

Donde, las temperaturas están dadas en °R y la presión en psia

**2.8.1.6 Correlación del factor de compresibilidad crítica.** El factor de compresibilidad crítica está definido como el factor de compresibilidad de un componente en su punto crítico. Esta propiedad puede ser convenientemente calculada por la ecuación de estado de los gases reales, a condiciones del punto crítico, o por

$$z_c = \frac{P_c V_c}{RT_c}$$

Donde, el volumen crítico está dado en  $ft^3 lb - mol$  y R es la constante universal de los gases.

### 2.8.1.7 Correlación de Magoulas – Tassios.

$$T_c = -1247.4 + 0.792M + 1971\gamma - \frac{27000}{M} + \frac{707.4}{\gamma}$$

$$\ln P_c = 0.01901 - 0.0048442M + 0.13239\gamma + \frac{227}{M} - \frac{1.1663}{\gamma} + 1.2702 \ln(M)$$

$$\omega = -0.64235 + 0.00014667M + 0.021876\gamma - \frac{4.559}{M} + 0.21699 \ln(M)$$

Donde, la temperatura crítica está en °R y la presión crítica en psia.

**2.8.1.8 Correlación de Twu.** Basado en la teoría de expansión-perturbación con parafinas normales como el estado de referencia, que puede ser usado para determinar las propiedades críticas y físicas de las fracciones indefinidas del petróleo, como el C<sub>7+</sub>. La metodología se basó en seleccionar una fracción de parafina normal con la temperatura de ebullición idéntica a la fracción de hidrocarburos plus.

**2.8.2 Determinación PNA.** El vasto número de componentes hidrocarburos que forman naturalmente aceite crudo han sido agrupados químicamente dentro de algunas series de componentes. Cada serie consiste en aquellos componentes similares en su composición molecular y características. Dentro de las series dadas, el rango de componentes va de extremadamente ligeros, o químicamente simple, hasta pesados, o químicamente complejo. En general, se asume que las fracciones de hidrocarburo pesada (indefinidas) están compuestas de tres grupos de hidrocarburos

- Parafinas (P)
- Nafténicos (N)
- Aromáticos (A)

El contenido PNA de la fracción plus de la fracción de hidrocarburo indefinido puede ser estimado experimentalmente de la destilación o un análisis

cromatográfico. Ambos tipos de análisis proveen información válida para el uso en la caracterización de la fracción plus.

**2.8.3 Esquemas de expansión y agrupamiento.**<sup>33</sup> Las fracciones de hidrocarburos plus, que constituye una porción significativa de hidrocarburos en un fluido, crea mayores problemas cuando se intenta predecir las propiedades termodinámicas y el comportamiento volumétrico de estos fluidos por las ecuaciones de estado. Estos problemas surgen debido a la dificultad de caracterizar adecuadamente las fracciones plus (componentes pesados) en términos de sus propiedades críticas y factores acéntricos.

El problema es como expandir adecuadamente las fracciones de  $C_{7+}$  en un número de pseudo-componentes caracterizados por la fracción molar, peso molecular y gravedad específica. Esas propiedades de caracterización, cuando son combinadas adecuadamente, puede coincidir la medida de las propiedades de las fracciones plus, esto es,  $\gamma_{7+}$  y  $M_{7+}$

**2.8.3.1 Esquemas de expansión.** Los esquemas de expansión refieren a los procedimientos de dividir las fracciones de heptanos plus en grupos de hidrocarburos con un número de átomos de carbón único ( $C_7$ ,  $C_8$ ,  $C_9$ , etc.), descritos por las mismas propiedades físicas utilizadas para componentes puros.

Algunos autores han propuesto algunos esquemas para expandir la distribución molar del comportamiento del  $C_7$ , en términos de fracción molar como una función del peso molecular o en número de átomos de carbono.

**2.8.3.1.1 Método de Katz.** El método fue originado por estudio en el comportamiento composicional de seis condensados, usando un análisis extendido y detallado. En una escala semi-log el porcentaje molar de cada constituyente de la fracción  $C_{7+}$  versus el número de carbono en la fracción, fue

---

<sup>33</sup> AHMED, Tarek. "Equations of State and PVT Analysis". 2007

trazado. La relación resultante puede ser expresada matemáticamente por la siguiente expresión,

$$z_n = 1.38205z_{7+}e^{-0.25903n}$$

Donde,

$z_{7+}$  = fracción molar de  $C_{7+}$  en el sistema de condensados

$n$  = número de átomos de carbono del pseudo-componente

$z_n$  = fracción molar del pseudo-componente con número de átomos de carbono igual a  $n$

**2.8.3.1.2 Método de Lohrenz.** Lohrenz, Bra y Clark, en 1964, propusieron que la fracción de heptanos plus deben ser divididas en los pseudo-componentes con números de carbono que van desde 7 hasta 40. Ellos matemáticamente declararon que la fracción molar  $z_n$  está relacionada con su número de átomo de carbono y la fracción molar de la fracción de hexano,  $z_6$ , por la expresión,

$$z_n = z_6 e^{A(n-6)^2 + B(n-6)}$$

**2.8.3.1.3 Método de Pedersen.** Pedersen, Thomassen y Fredenslund, en 1982, propusieron que, para mezclas de hidrocarburos de origen natural, existe una relación exponencial entre la fracción molar de un componente y el número de carbón correspondiente. Ellos expresaron esta relación matemática de la siguiente manera,

$$z_n = e^{(n-A) B}$$

**2.8.3.1.4 Método de Ahmed.** El esquema de expansión se basó en cálculo de la fracción molar, en un número de átomos de carbono aumentando progresivamente. El proceso de extracción continúa hasta que la suma de la

fracción molar de los pseudo-componentes iguala a la fracción molar de los heptanos plus.

$$z_n = z_{n+} \frac{M_{n+1+} - M_{n+}}{M_{n+1+} - M_n}$$

Donde,

$z_n$  = fracción molar del pseudo-componente con un número de átomos de carbono de  $n$   $z_7, z_8, z_9, etc.$

$M_n$  = peso molecular del grupo de hidrocarburo con  $n$  átomos de carbono dada en la Tabla 11.

$M_{n+}$  = peso molecular de la fracción  $n_+$  calculado por la siguiente expresión

$$M_{n+1+} = M_{7+} + S(n - 6)$$

Donde  $n$  es el número de átomos de carbono y  $S$  es el coeficiente de la ecuación anterior cuyos valores están dados en la Tabla 11.

Tabla 11. Valores de  $S$  para diversos sistemas de Hidrocarburos

No. De átomos de Carbono	Valor de $S$	
	Sistema de Condensados	Sistema de aceite Crudo
$n \leq 8$	15.5	16.5
$n > 8$	17.0	20.1

Fuente: AHMED, Tarek. "Equations of State and PVT Analysis". 2007

**2.8.3.2 Esquemas de agrupamiento.** Cálculos de las ecuaciones de estado frecuentemente son cargados por el gran número de componentes necesarios para describir la mezcla de hidrocarburo para un modelamiento preciso de comportamiento de fase. A menudo, el problema es agrupar juntas las fracciones determinadas experimentalmente o modelar un sistema de

hidrocarburo cuando solamente la información experimental está disponible para la fracción C<sub>7+</sub> es el peso molecular y la gravedad específica.

Los términos *agrupamiento* o *pseudotización* entonces denota la reducción en el número de componentes utilizados en los cálculos de la ecuación de estado para los fluidos del yacimiento. Esta reducción es llevada a cabo por el empleo del concepto del pseudo-componente. El pseudo-componente denota un grupo de componentes puros agrupados juntos y representado por un componente único con un único número de carbono (SCN, por sus siglas en inglés, *single carbon number*)

## **2.9 PROPIEDADES DEL AGUA DE FORMACIÓN.<sup>34</sup>**

Al igual que el crudo que se produce en superficie, es necesario hacer diversas pruebas al agua producida para poder tomar decisiones sobre su disposición final, es por tanto, que es necesario conocer las propiedades tanto físicas como químicas del agua en subsuelo como en superficie.

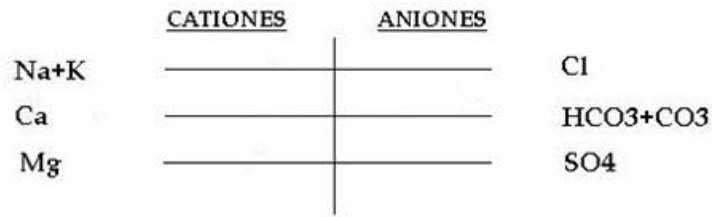
**2.9.1 Propiedades químicas del agua de formación.** El análisis químico al agua es presentado en forma de gráfica. Algunos métodos diferentes para presentar la información del análisis al agua han sido utilizados, pero mayormente se utiliza la forma gráfica. El diagrama de Stiff es el más utilizado para caracterizar el agua químicamente.

Stiff presenta un gráfico, en el cual el efecto de dilución o concentración ha sido reducido al mínimo. El diagrama presenta una característica esencial, donde los iones positivos son trazados a la izquierda y los iones negativos son trazados a la derecha de una línea central, en unidades de miliequivalentes por litro, esto se puede ver en la Figura 20.

---

<sup>34</sup> SMITH, Charles R.; TRACY, G. W.; FARRAR, Lance, R. "Applied Reservoir Engineering". Vol. 1. OGCI Publications. 1992. (Modificado)

Fig. 20 Diagrama general de Stiff

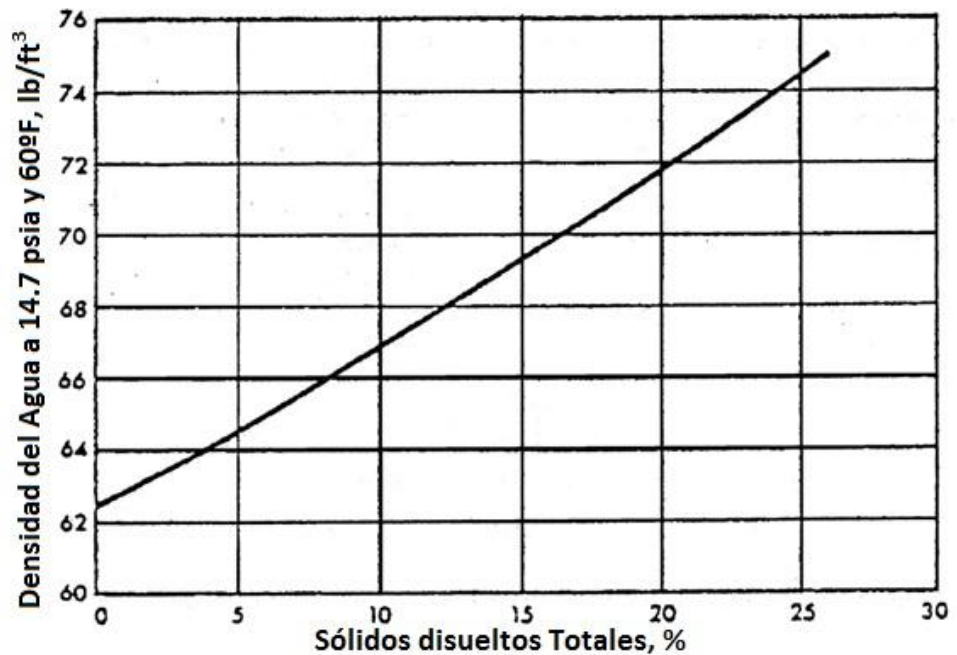


Fuente: [http://www.cybertesis.edu.pe/sisbib/2005/ortiz\\_rr/html/sdx/ortiz\\_rr-TH.7.html&docid](http://www.cybertesis.edu.pe/sisbib/2005/ortiz_rr/html/sdx/ortiz_rr-TH.7.html&docid) (Modificado)

**2.9.2 Propiedades físicas del agua de formación.** Al igual que en las propiedades físicas del aceite, en este capítulo se estudiarán todas esas propiedades que afecten, o que estén involucradas, en el comportamiento del agua de formación a diferentes condiciones, dentro de las cuales encontramos,

**2.9.2.1 Densidad o Gravedad Específica del agua de formación.** La Figura 21 muestra la densidad del agua de formación a condiciones estándar como función de los sólidos disueltos totales.

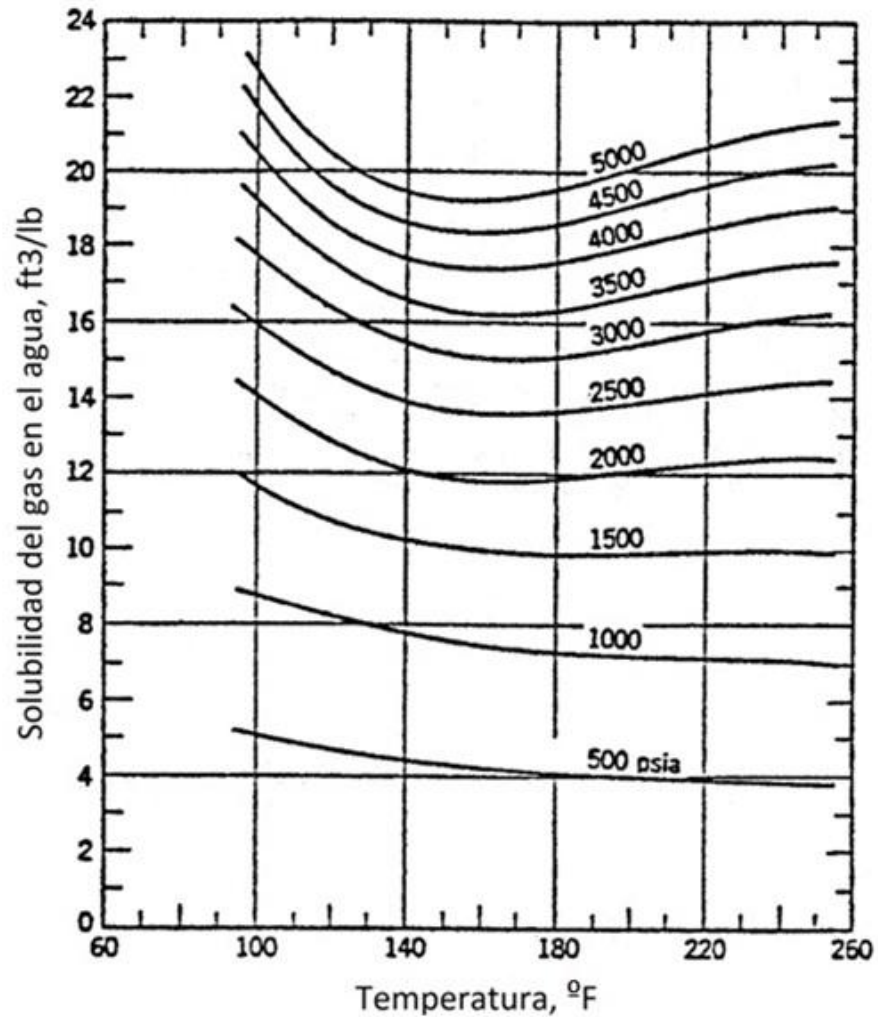
Fig. 21. Densidad del agua de formación a condiciones estándar



Fuente: SMITH, Charles R.; TRACY, G. W.; FARRAR, Lance, R. "Applied Reservoir Engineering". Vol. 1. OGCI Publications. 1992

**2.9.2.2 Solubilidad del gas en el agua.** La solubilidad del gas en el agua fue determinada por Dodson y Standing. Los resultados se muestran en la Figura 22. Los investigadores utilizaron una gravedad específica del gas igual a 0.655 y midieron la solubilidad en agua dulce y en dos salmueras como ejemplos.

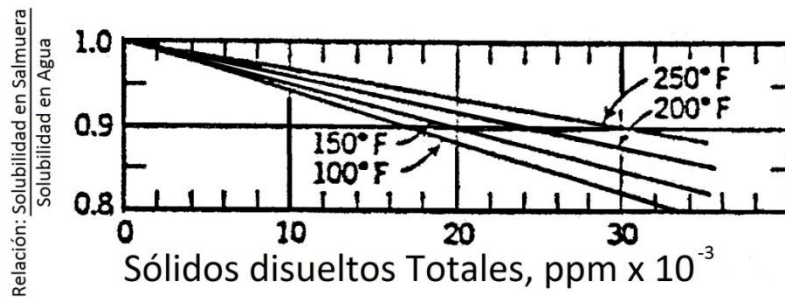
Fig. 22 Resultados obtenidos de la solubilidad del gas en el agua por Dodson y Standing



Fuente: SMITH, Charles R.; TRACY, G. W.; FARRAR, Lance, R. "Applied Reservoir Engineering". Vol. 1. OGCI Publications. 1992

La Figura 23 muestra la corrección de la solubilidad del gas en el agua debido a la salinidad de la salmuera.

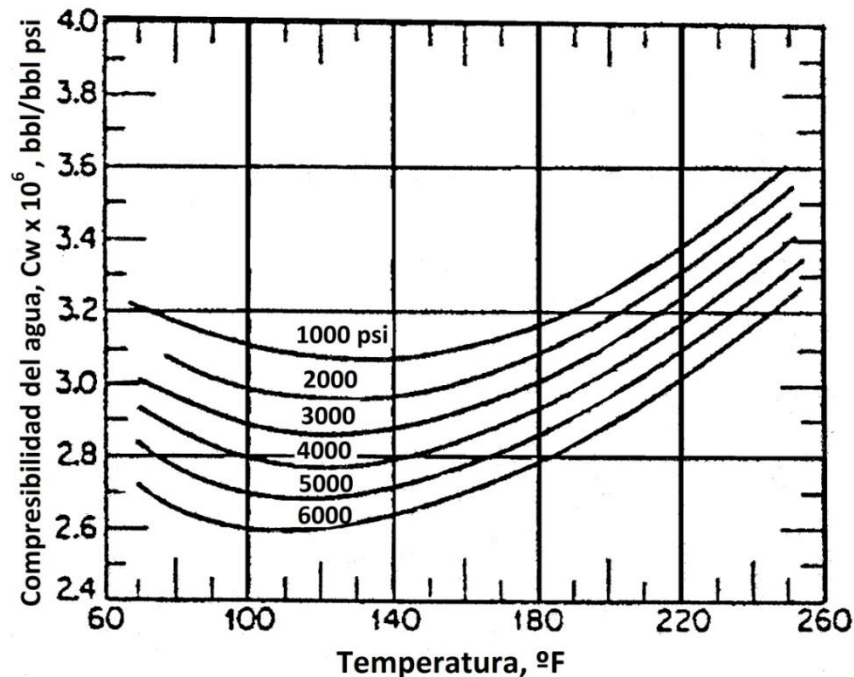
Fig. 23 Corrección de la solubilidad del gas en agua debido a la salinidad del agua



Fuente: SMITH, Charles R.; TRACY, G. W.; FARRAR, Lance, R. "Applied Reservoir Engineering". Vol. 1. OGCI Publications. 1992

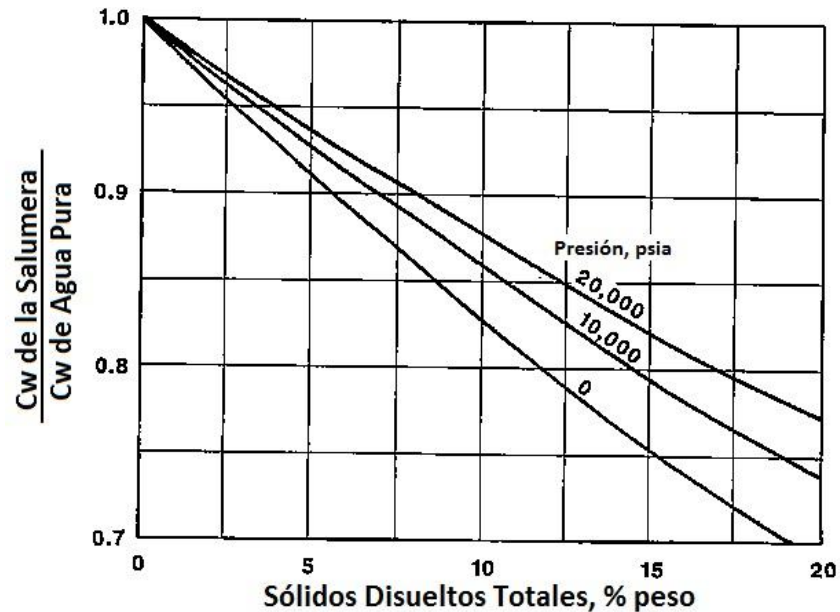
**2.9.2.3 Compresibilidad del agua.** La compresibilidad del agua es influenciada por la presión, temperatura, gas en solución y por los sólidos disueltos. La compresibilidad del agua pura es mostrada en la Figura 24 con una corrección prevista por gas en solución. La influencia de los sólidos disueltos pueden ser incluidos cuando se estima la solubilidad del gas en el agua, entonces se utiliza la Figura 25 para su corrección.

Fig. 24 Compresibilidad del agua pura.



Fuente: SMITH, Charles R.; TRACY, G. W.; FARRAR, Lance, R. "Applied Reservoir Engineering". Vol. 1. OGCI Publications. 1992

Fig. 25 Corrección de la solubilidad por gas en solución.



Fuente: SMITH, Charles R.; TRACY, G. W.; FARRAR, Lance, R. "Applied Reservoir Engineering". Vol. 1. OGCI Publications. 1992

**2.9.2.4 Expansión térmica del agua.** La Figura 26 nos permite calcular la expansión térmica del agua de formación, en función del factor volumétrico. Note que un incremento en temperatura desde 60 hasta 250°F, el volumen de agua incrementa aproximadamente 5.5% en volumen.

**2.9.2.5 Factor volumétrico de formación del agua.** El factor volumétrico del agua de formación,  $B_w$ , puede ser estimado utilizando la siguiente ecuación.

$$B_w = 1 + \Delta V_{wP} (1 + \Delta V_{wT})$$

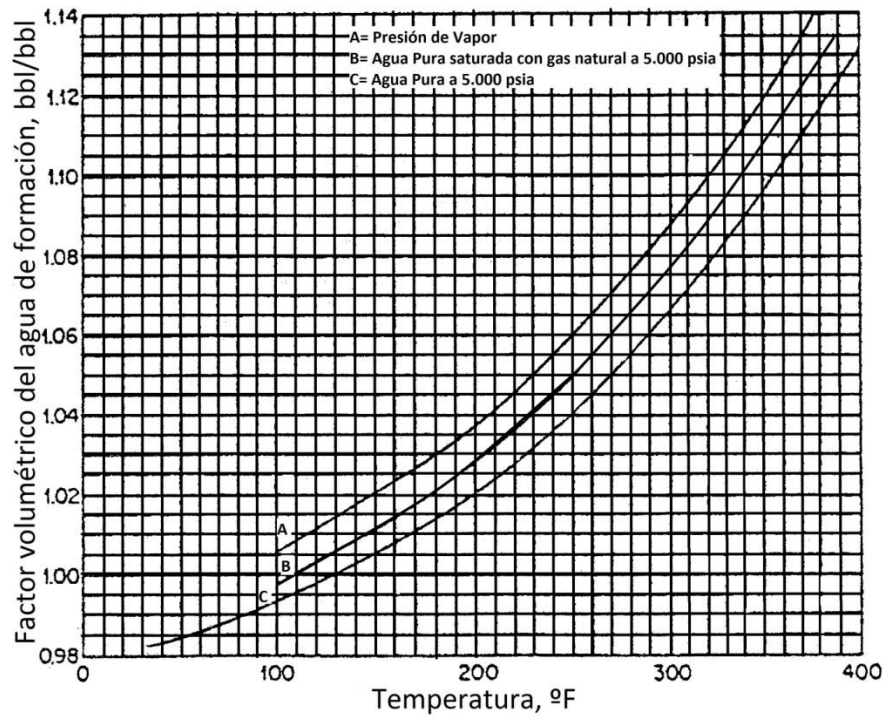
Donde,

$B_w$ , factor volumétrico del agua de formación, bbl/STB.

$\Delta V_{wP}$ , corrección por presión de yacimiento, adimensional.

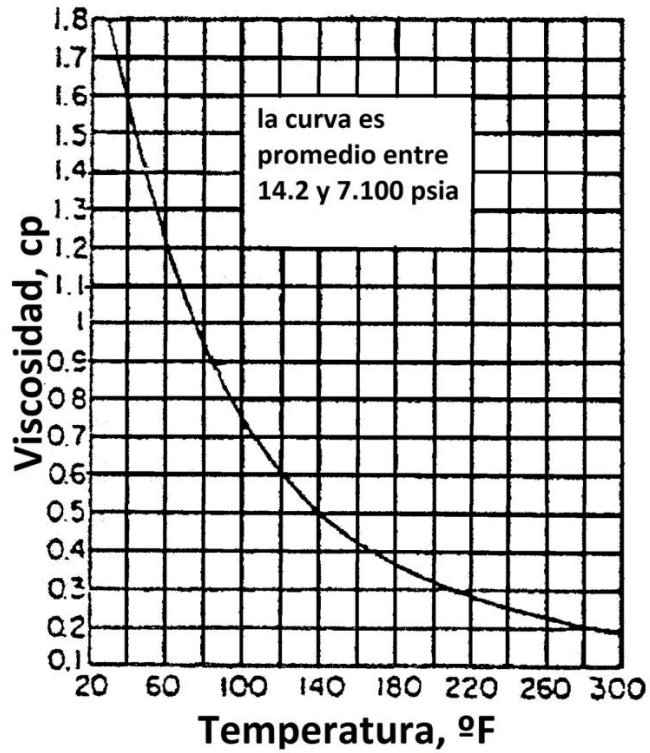
$\Delta V_{wT}$ , corrección por temperatura de yacimiento, adimensional.

Fig. 26. Factor volumétrico del agua de formación.



Fuente: SMITH, Charles R.; TRACY, G. W.; FARRAR, Lance, R. "Applied Reservoir Engineering". Vol. 1. OGCI Publications. 1992

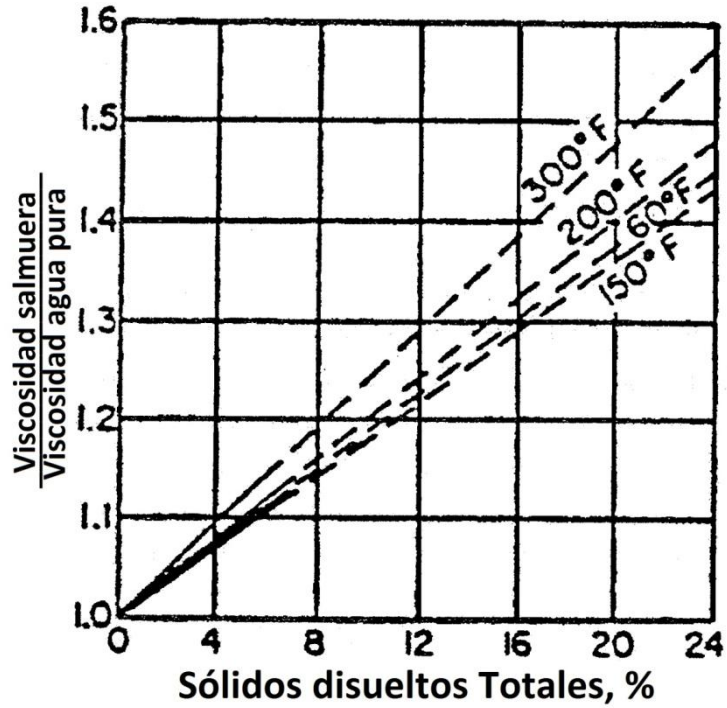
Fig. 27. Viscosidad de agua pura vs Temperatura.



Fuente: SMITH, Charles R.; TRACY, G. W.; FARRAR, Lance, R. "Applied Reservoir Engineering". Vol. 1. OGCI Publications. 1992

**2.9.2.6 Viscosidad del agua de formación.** Una determinación de la viscosidad del agua de formación es posible gracias a los resultados obtenidos por Beal. Los resultados son mostrados en las Figuras 27 y 28.

Fig. 28 Relación de viscosidad entre agua salada y pura vs salinidad.



Fuente: SMITH, Charles R.; TRACY, G. W.; FARRAR, Lance, R. "Applied Reservoir Engineering". Vol. 1. OGCI Publications. 1992

### 3 METODOLOGÍA DEL DESARROLLO

Para ser efectiva la realización de esta herramienta multimedia, se tuvieron en cuenta muchos aspectos importantes, en los cuales se pueden encontrar el desarrollo de los objetivos planteados, los criterios pedagógicos a utilizar, la metodología educativa, los sistemas de evaluación adecuados y el diseño propio.

Todo esto para poder entablar una relación estrecha entre el docente y el estudiante, que permita un desarrollo adecuado, tanto para el aprendizaje como la enseñanza de la asignatura, facilitando la comprensión y análisis de los tópicos de interés, donde se refuerce la destreza y el aprendizaje de los contenidos propios de la asignatura.

#### 3.1 ANÁLISIS DEL PROYECTO

##### 3.1.1 Objetivos de la herramienta educativa multimedia.

- Intentar dar soporte, tanto al aprendizaje como a la enseñanza, al contenido global de la asignatura Propiedades de los Fluidos del Yacimiento. Involucrando en la herramienta multimedia un contenido bibliográfico exhausto y completo de los temas a estudiar.
- Permitir que el estudiante comprenda de manera cómoda, útil, sencilla y didáctica todos los conceptos que involucra el estudio de la asignatura.
- Lograr que el estudiante, mediante el sistema de evaluación, analice sus fortalezas y debilidades frente a lo estudiado y a los temas mencionados, permitiendo que refuerce su aprendizaje y comprensión del contenido.

**3.1.2 Área de contenido.** Los amplios conceptos y análisis de comportamiento que involucran el estudio de las propiedades de los fluidos del yacimiento, se encuentran organizados en nueve secciones dentro de la interfaz de la herramienta multimedia. Dentro de las secciones se puede encontrar como elementos importantes las características químicas y físicas de los hidrocarburos, comportamiento de fases gas-líquido, pruebas PVT, ecuaciones de estado, equilibrio de fases gas-líquido, propiedades tanto del gas como del aceite y el agua de formación y caracterización de la fracción pesada. Todo esto, para que el estudiante tenga un conocimiento global de todos los análisis pertinentes a la hora de caracterizar un fluido en la industria petrolera.

**3.1.3 Criterios pedagógicos.** Los criterios pedagógicos en la que se desarrolla esta herramienta multimedia se basa que el estudiante es sujeto sobre su propio proceso de aprendizaje facilitando las condiciones autónomas de estudio y comprensión, es por esto que se creó una herramienta multimedia de fácil uso, acceso y dueño de su propio material de estudio. Aunque el estudiante va a tener la libertad de escoger a criterio propio su ambiente de estudio, es necesario que el docente lleve un seguimiento para favorecer y dar apoyo al aprendizaje, resolviendo dudas e inquietudes que se generen a medida que se avance en el contenido de la herramienta.

**3.1.4 Desarrollo material.** Para ser efectiva la herramienta multimedia, se utilizó una plataforma computacional basada en lenguaje Script II y Script III, utilizados básicamente en el programa Adobe Flash. La idea de utilizar esta plataforma es la factibilidad de desarrollar el contenido de la asignatura en forma de presentación y con comandos que permitan la interacción entre la interfaz y el usuario, permitiendo que el hipertexto sea de agrado y de fácil acceso a la información. Adobe Flash es de fácil manejo, se ejecuta automáticamente y no es necesario tener un manual de usuario para su lectura. También, la herramienta se desarrolló en esta plataforma ya que es de tipo Off-

Line, no es necesario la conexión a internet, esto implica que cada usuario es libre de utilizarla en un ordenador donde se tenga instalado el programa Adobe Flash, independiente de su conexión a la red.

## **3.2 DISEÑO.**

**3.2.1 Diseño lógico.** La libertad que tiene el usuario de escoger a gusto el tema a seleccionar es la razón por la que la herramienta multimedia se presenta como un sistema de tipo tutorial y ejercitación, donde el usuario conscientemente refuerza aquellos temas que representan debilidad frente al propósito del curso, donde se proponen ejercicios en la parte evaluativa que permita al usuario la autocorrección.

**3.2.2 Diseño funcional.** Si bien esta herramienta multimedia da la libertad al usuario de ser dueño de su propio auto aprendizaje, debe tener criterio de sinceridad y honestidad consigo mismo para aprovechar al máximo el contenido previsto en esta herramienta, sin embargo, el docente debe realizar un seguimiento periódico para no permitir que el usuario pierda el ritmo de estudio. En la parte evaluativa no es estrictamente favorable, si bien se observa por el lado de formación universitaria, es por esto que la parte evaluativa es realizada para que el usuario permita fortalecer los conceptos donde se falle o no se tenga claro.

### **3.2.3 Diseño físico.**

**3.2.3.1 Medios de transmisión.** Los textos con soporte gráfico que permita la mejor comprensión de los temas a estudiar en la asignatura y comandos que permitan que el hipertexto sea agradable y de fácil manejo, son los medios de transmisión para la herramienta educativa multimedia. De esta

manera el usuario se enfrenta a una manera particular del concepto aprendizaje, y de la misma forma, el docente al concepto de enseñar, permitiendo la agilidad y facilidad al momento de repasar algún contenido concreto.

**3.2.3.2 Interfaz de usuario.** Para mayor comodidad al momento de hacer uso de la herramienta multimedia por parte del usuario, se ha decidido generar varias etapas de interfaz, para que su funcionalidad no sea afectada por mal información de uso. Es por esto que se han generado las siguientes interfaces,

**3.2.3.2.1 Inicio a la interfaz.** En este momento, se le da la opción al usuario de ingresar a la herramienta o de abandonarla. Para acceder a ella es necesario dar click en el botón de Entrar, que se mencionará más adelante en este libro.

**3.2.3.2.2 Interfaz de inicio.** Esta interfaz visualiza los tres comandos primordiales en la herramienta multimedia. En esta página se muestra el comando Contenido, Evaluación y Ayuda, donde el usuario es libre de escoger desde este punto, a que modulo desea acceder.

**3.2.3.2.3 Interfaz de contenido.** Es representada por una página donde se puede visualizar nueve módulos, donde se observa en cada uno de ellos, un tema en particular que hace parte del plan actual de estudios de la asignatura propiedades de los fluidos del yacimiento. Al acceder a cada módulo del contenido, se despliegan los sub-temas que complementan el contenido.

**3.2.3.2.4 Interfaz de módulo de evaluación.** Contiene la auto selección de cada una de las nueve secciones del contenido, donde el usuario accede libremente a cada sección en particular, se genera una serie de preguntas del tema seleccionado, que permita poner en práctica y desarrollo de los tópicos

estudiados, obteniendo valores cuantitativos y cualitativos de los resultados logrados.

**3.2.3.2.5 Interfaz del módulo ayuda.** Brinda al estudiante tres módulos que permite estar identificado con la herramienta, donde se puede encontrar en archivos separados el contenido total de la herramienta, la bibliografía consultada y el manual de usuario.

**3.2.3.3 Imágenes.** Dado que se desea proveer al usuario una información didáctica y de manera multimedia, al ir avanzando dentro de la herramienta, se pueden observar imágenes que permitan al estudiante fortalecer los conceptos mencionados y a tratar de cada sección en particular, esto es para que el usuario tenga una mejor comprensión de los temas.

**3.2.3.4 Sonido.** Se utiliza un sonido suave y ligero, para darle armonía a la herramienta desde el momento que se ejecuta. No se utiliza para medios educativos, solamente se introduce con la intención de propiciar un ambiente de relajación y comodidad al usuario.

**3.2.3.5 Color.** Los colores utilizados en la herramienta fueron escogidos con el fin de proporcionar al usuario una facilidad de visualización del contenido, con el fin de no exigir tanto la visión y reconocer fácilmente los diferentes comandos incluidos en la herramienta, es por esto que se tomaron colores claros, tales como el rosado, rojo, blanco y amarillo.

**3.2.3.6 Contenido audiovisual.** Todos los contenidos audiovisuales generados en esta herramienta multimedia se presentan por medio de comandos y botones teniendo en cuenta el espaciado general del texto, gráficas e imágenes. Donde es muy práctico a la hora de escoger un tema deseado, desarrollando que el hipertexto sea de fácil uso y manejo.

**3.2.3.7 Contenido de la herramienta.**

- **CLASIFICACIÓN DE COMPUESTOS HIDROCARBUROS:** Hidrocarburos de cadenas abiertas o alifáticos (Saturados e Insaturados), Hidrocarburos de cadenas cerradas o alicíclicas (Saturados e insaturados), Tipos de crudo (composición, Grados API, Contenido de azufre)
  
- **COMPORTAMIENTO DE FASES:** Sustancias puras (Diagrama de fase para una sustancia pura, Uso del diagrama de fase, Presión de vapor de una sustancia pura, Diagrama de presión – volumen de una sustancia pura, Punto de burbuja y punto de rocío, Sobresaturación, Diagrama densidad-temperatura para una sustancia pura), Mezclas de dos componentes (Diagrama de fase, Punto de burbuja y punto de rocío, Punto crítico, Puntos cricondentérmica y cricondenbárica, Condensación retrógrada, Diagrama presión-volumen, Diagrama de composición, Diagramas de presión-composición, Diagrama de composición-temperatura), Mezcla de tres componentes (Diagrama ternarios, Diagrama de fase, Uso de los diagramas ternarios), Mezcla multicomponente, Los tipos de fluidos del yacimiento (Aceite negro, Aceite volátil, Gas retrogrado, Gas húmedo, Gas seco).
  
- **ECUACIONES DE ESTADO:** Gas ideal (Ecuación de Boyle, Ecuación de Charles, Ley de Avogadro, Ecuación de estado para un gas ideal, Densidad de un gas ideal, Mezcla de gases ideales), Gases reales (Ecuación de compresibilidad, Ley de los estados correspondientes, Ecuación de estado de compresibilidad para mezcla de gases, Propiedades pseudocríticas del gas, Efecto de componentes no hidrocarburos), Otras ecuaciones de estado (Ecuación de Van der Waals, Otras ecuaciones de estado del “espíritu de Van der Waals”, Ecuación de estado en el punto crítico, Ecuación de estado virial, Ecuación de estado de Beattie – Bridgeman), Recientes desarrollos en

las ecuaciones de estado, Ecuación de estado de Redlich – Kwong, Ecuación de estado de Peng – Robinson, Reglas de mezclas).

- **PROPIEDADES DE LOS GASES:** Propiedades de los gases secos (Factor volumétrico de formación del gas, Coeficiente de compresibilidad isotérmico, Compresibilidad pseudoreducida, Coeficiente de viscosidad, Viscosidad de mezcla de gases, Viscosidad del gas a altas presiones, Métodos de cálculo de la viscosidad, Valor calorífico), Propiedades de los gases húmedos (Recombinación de fluidos en superficie "composiciones conocidas", Recomendación de fluidos en superficie "composiciones desconocidas", Factor volumétrico).
- **PROPIEDADES DEL ACEITE:** Gravedad específica, Factor volumétrico de formación del aceite, Relación gas-aceite en solución, Factor volumétrico de formación total, Coeficiente de compresibilidad isotérmica del aceite, Coeficiente de viscosidad, Coeficiente isobárico de la expansión térmica del líquido, Tensión interfacial.
- **ANÁLISIS PVT:** Expansión a composición constante, Depleción a volumen constante, Liberación diferencial, Prueba del separador.
- **EQUILIBRIO DE FASES GAS – LÍQUIDO:** Soluciones ideales (Ecuación de Raoult, Ecuación de Dalton, Composiciones y cantidades de las fases en equilibrio, Cálculo de la presión del punto de burbuja, Cálculo de la presión del punto de rocío), Soluciones no ideales (Composiciones y cantidades de las fases en equilibrio, Cálculo de la presión del punto de burbuja, Cálculo de la presión del punto de rocío), Vaporación flash (Cálculos flash), Vaporación diferencial (Presión final conocida, Número de moles a ser evaporadas conocida), Presión de convergencia (Definición, Estimación)

- **CARACTERIZACIÓN DE LA FRACCIÓN PESADA:** Correlaciones generalizadas (Correlación de Edmister, Correlación generalizada de Riazi y Daubert, Correlación de Cavett, Correlación de Kessler – Lee, Correlación de Winn y Sim – Daubert, Correlación del factor de compresibilidad crítica, Correlación de Willman – Teja, Correlación de Magoulas – Tassios, Correlación de Twu), Determinación PNA (Método de Peng – Robinson, Método de Bergman), Esquemas de expansión y agrupamiento (Esquemas de expansión, Esquemas de agrupamiento).
  
- **PROPIEDADES DEL AGUA DE FORMACIÓN:** Propiedades químicas del agua de formación, Propiedades físicas del agua de formación. (Densidad o gravedad específica, Solubilidad del gas en el agua de formación, Compresibilidad, Expansión térmica, Factor volumétrico de formación del agua de formación, Viscosidad).

**3.2.3.8 Evaluación.** En la parte evaluativa de la herramienta se generó una base de datos donde se encuentran una serie de preguntas divididas por cada sección del contenido que se desea evaluar. Se creó un código que permita a la herramienta seleccionar diez preguntas al azar de la base de datos. Se utilizó dos formatos de evaluación, una de selección múltiple con única respuesta correcto y de tipo falso y verdadero, esto con el fin de que el usuario lea, comprenda y analice cada una de las preguntas y su posible respuesta, también, para que pueda afianzar aquellas debilidades que presente frente a los conceptos estudiados sin recurrir a la incertidumbre de fallar a sus conocimientos. Además, dado que algunos cálculos puedan diferenciar en decimales, incluso en milésimas, no se puede generar una evaluación con valores que el usuario pueda determinar exactamente.

## **4. MANUAL DEL USUARIO.**

Este manual que se presenta a continuación se desarrolló con el objetivo de brindar al usuario una guía clara y necesaria para la navegación y manejo adecuado de la “Herramienta Educativa Multimedia para el Estudio de la asignatura Propiedades de los Fluidos del Yacimiento” describiendo cada una de las funciones y elementos que la conforman, obteniendo las opciones y ayudas que se dispone durante la ejecución de la herramienta.

### **4.1 REQUERIMIENTOS PARA LA INSTALACIÓN Y USO DE LA HERRAMIENTA MULTIMEDIA.**

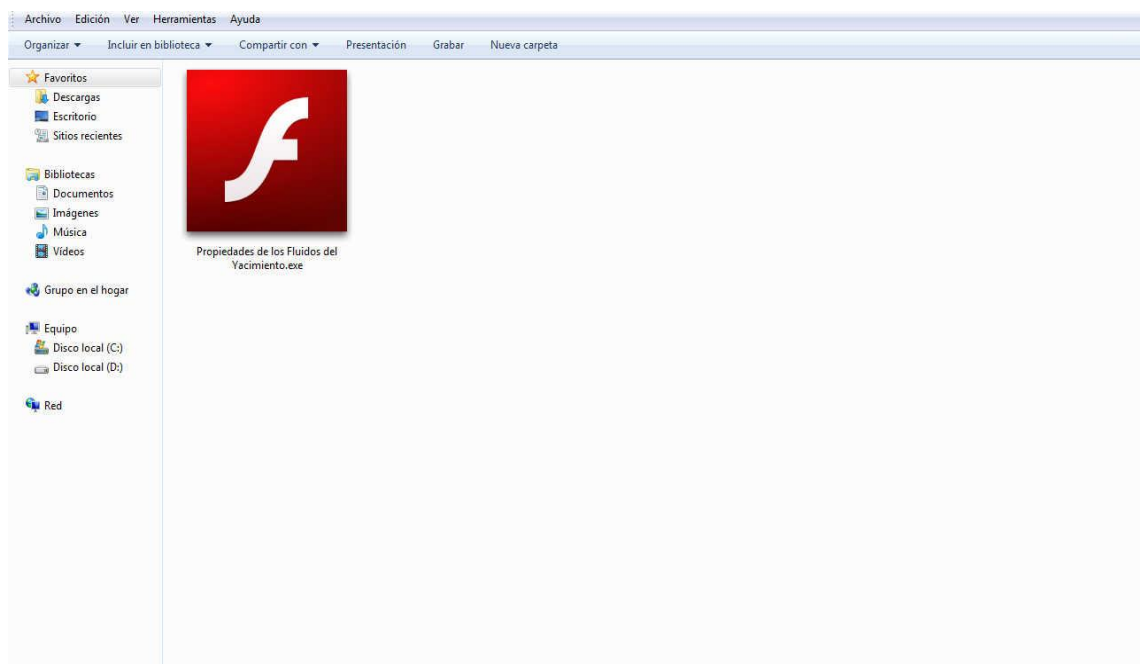
Para llevar a cabo un adecuado manejo de la herramienta y un proceso de consulta exitoso, es necesario tener en cuenta ciertas recomendaciones y desarrollar algunos pasos,

**4.1.1 Instalación de la herramienta educativa multimedia.** Para instalar la herramienta es necesario que el ordenador tenga como requisito mínimo de software, un sistema operativo MAC OS/ Windows 2000/ Windows XP/ Windows Vista/ Windows 7, el programa Adobe Flash Player 9 instalado y un espacio libre en el disco duro de 55 MB.

No es necesario llevar a cabo un proceso de instalación de la herramienta en el ordenador, pero sí es indispensable que cuente con la capacidad mencionada anteriormente. Si por alguna razón, el ordenador tiene la reproducción automática desactivada, solo basta con explorar la ubicación de la herramienta y ejecutar el archivo “Propiedades de los Fluidos del Yacimiento.exe” desarrollada en Flash, para tener acceso a la herramienta multimedia.

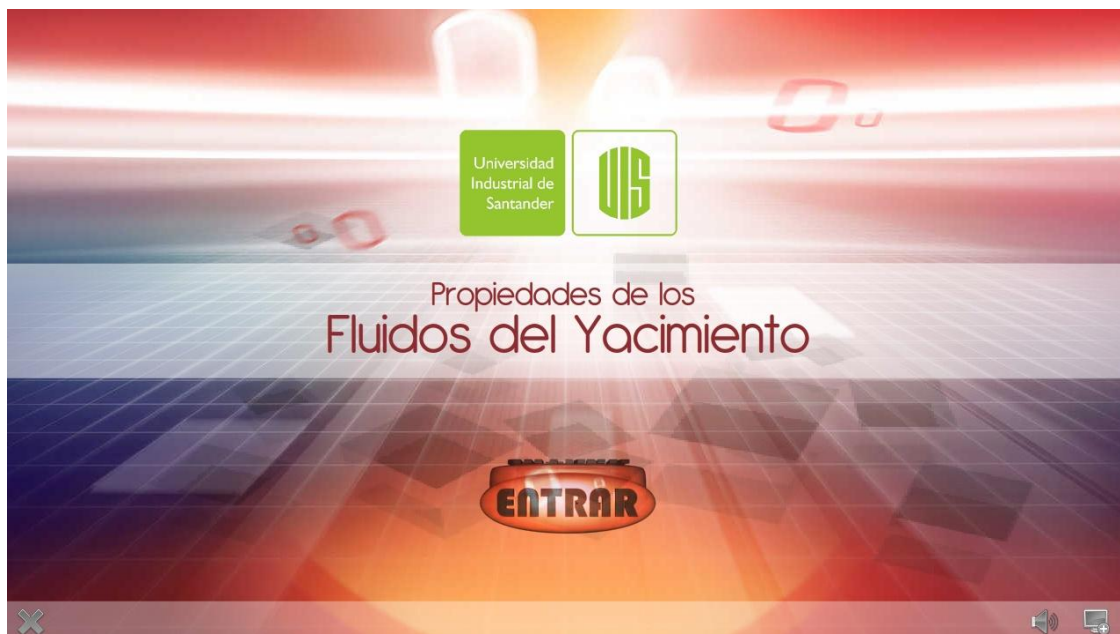
**4.1.2 Procedimiento de inicio.** Para dar inicio a la herramienta se debe introducir el CD y este se ejecutará automáticamente. Si por el contrario no se reproduce automáticamente, como se mencionó anteriormente, se debe, dar doble Click o seleccionar el archivo y oprimir Enter, en la aplicación “Propiedades de los Fluidos del Yacimiento.exe”, como se muestra en la Figura 29 y se visualizará la introducción a la interfaz de inicio, como se muestra en la figura 30, donde se deberá dar Click en el botón “Entrar” para acceder.

Fig. 29 Archivo de la aplicación de la herramienta multimedia propiedades de los fluidos del yacimiento.



Fuente: Los Autores

Fig. 30 Visualización de inicio a la interfaz de la herramienta educativa multimedia propiedades de los fluidos del yacimiento.



Fuente: Los Autores

## 4.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA.

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

**4.2.1 Interfaz de inicio.** La interfaz de inicio aparecerá una vez haya finalizado el proceso de inicio, descrito en el numeral anterior. La interfaz se puede observar en la Figura 31.

Fig. 31. Interfaz de inicio a la herramienta multimedia.



Fuente: Los Autores

Donde se pueden observar tres comandos primordiales,

- 1. Contenido:** en este comando se encontrará toda la información relacionada con la asignatura Propiedades de los Fluidos del yacimiento. Se encuentra la información completa de los ítems mencionados en el Capítulo 2 de este libro, mediante textos, imágenes, gráficas y animaciones.
- 2. Evaluación:** en esta sección se tiene acceso a una prueba donde se pretende evaluar de manera constructiva al usuario referente a los capítulos estudiados en la herramienta. Es por esto que se aconseja presentar la evaluación una vez que el usuario termine por completo el contenido de un capítulo en específico, y estar seguro de sus conocimientos adquiridos.
- 3. Ayuda:** en este menú de ayuda se accede al manual, en formato PDF, de la herramienta, dando Click en el botón "Manual". También encontrará el contenido completo de la asignatura, en formato PDF,

dando click en el comando “Contenido”. Y por último encontrará la bibliografía extensa de todo el contenido de la herramienta, en formato PDF, dando click en el comando “Bibliografía”.

**4.2.2 Contenido.** El extenso contenido de la herramienta multimedia contiene información textual, gráfica y animada distribuida en nueve secciones principales, como se muestra en la Figura 32.

Fig. 32. Visualización de los nueve secciones principales que involucran el contenido de la herramienta multimedia.



Fuente: Los Autores

Las nueve secciones principales, están divididas de la siguiente manera,

- ✓ **Clasificación de Compuestos Hidrocarburos:** en esta sección se tiene las características de aquellos compuestos que generalmente se observan en la industria del petróleo. Haciendo un estudio y análisis completo de la representación, propiedades tanto físicas como químicas, nomenclatura y clasificación de dichos componentes. De otro lado, también encuentra la

clasificación del crudo, como concepto básico para el Ingeniero de Petróleos.

- ✓ **Comportamiento de Fases:** describe las relaciones que existe entre las fases líquida y gaseosa de las sustancias puras, mezcla de sustancias, sustancias terciarias y multicomponente. Se encuentran los diagramas de fases en funciones de presión, temperatura, volúmenes específicos y densidades, y todos sus componentes. También se encuentra el completo análisis de los cinco fluidos del yacimiento y sus envolventes de fases.
- ✓ **Ecuaciones de Estado:** se estudiarán todas las correlaciones, tanto numéricas como gráficas, que involucran el comportamiento de los gases ideales y reales, para entender su comportamiento bajo diferentes escenarios.
- ✓ **Propiedades de los gases:** en esta sección se encuentran todas y cada una de esas propiedades características de los gases reales, secos y húmedos, su variación y comportamiento bajo diversos esquemas de condiciones.
- ✓ **Propiedades del aceite:** describe de manera exhaustiva aquellas propiedades que afectan el comportamiento del aceite.
- ✓ **Análisis PVT:** enfatiza en los cuatro procedimientos básicos de laboratorio llevados a cabo para describir un fluido, basándose en las propiedades de presión, volumen y temperatura. También se encuentra de manera generalizada los procesos llevados para recolectar muestras de fluido dentro de un yacimiento.
- ✓ **Equilibrio de fases Gas – Líquido:** se encontrarán los estudios hechos por diversos autores, correlaciones y métodos, basados

en el comportamiento de soluciones ideales y no ideales entre las fases gas y líquido presente en un fluido, cuando se intenta medir propiedades físicas en algún punto cualquiera de presión y temperatura dentro de la envolvente de fase.

- ✓ **Caracterización de las fracciones pesadas:** métodos y correlaciones que intenta eliminar los componentes pesados como un solo componente, caracterizando de manera particular y específica algunos componentes presentes dentro de un crudo.
  
- ✓ **Propiedades del agua de formación:** en esta sección se encuentra todas y cada una de esas propiedades tanto físicas y químicas que permitan al ingeniero de petróleos, determinar la disposición del agua que se produce en superficie.

La lista de los capítulos siempre está visible en la parte izquierda de la herramienta dentro del módulo de contenido. En la parte de evaluación la lista de los capítulos se encuentran al lado derecho. Esto facilita al usuario identificar el tema de estudio, los capítulos estudiados y capítulos remanentes, al igual la evaluación actual, pasada y restante.

Dentro de cada capítulo o módulo, se encuentran varios sub-temas que hacen del capítulo más fácil y de ágil acceso a la información deseada. Como se puede ver en la Figura 33, dentro del capítulo “Clasificación de Compuestos Hidrocarburos” se puede observar tres sub-temas: 1.1 Hidrocarburos de cadenas abiertas o alifáticos, 1.2 hidrocarburos de cadenas cerradas o alicíclicos y 1.3 tipos de crudo.

Fig. 33. Ventana del subtema 1.3 tipos de crudo, dentro del capítulo 1 del contenido.



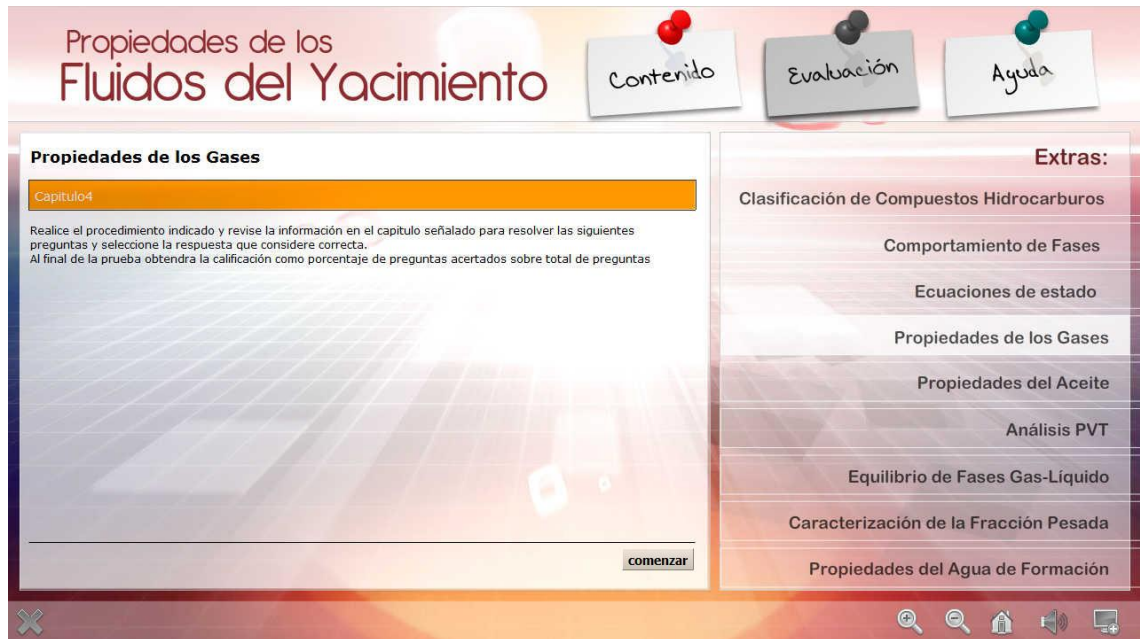
Fuente: Los Autores

Para acceder a cualquier sub-tema solo es necesario dar click en el sub-tema deseado. Los sub-temas siempre están visibles dentro del módulo del contenido en estudio, por lo que se evita al usuario volver a empezar si se escogió un sub-tema no deseado.

La información está distribuida en páginas. La navegación a través de estas se logra por medio de los botones de navegación que se encuentran en la parte derecha e izquierda de ventana de información.

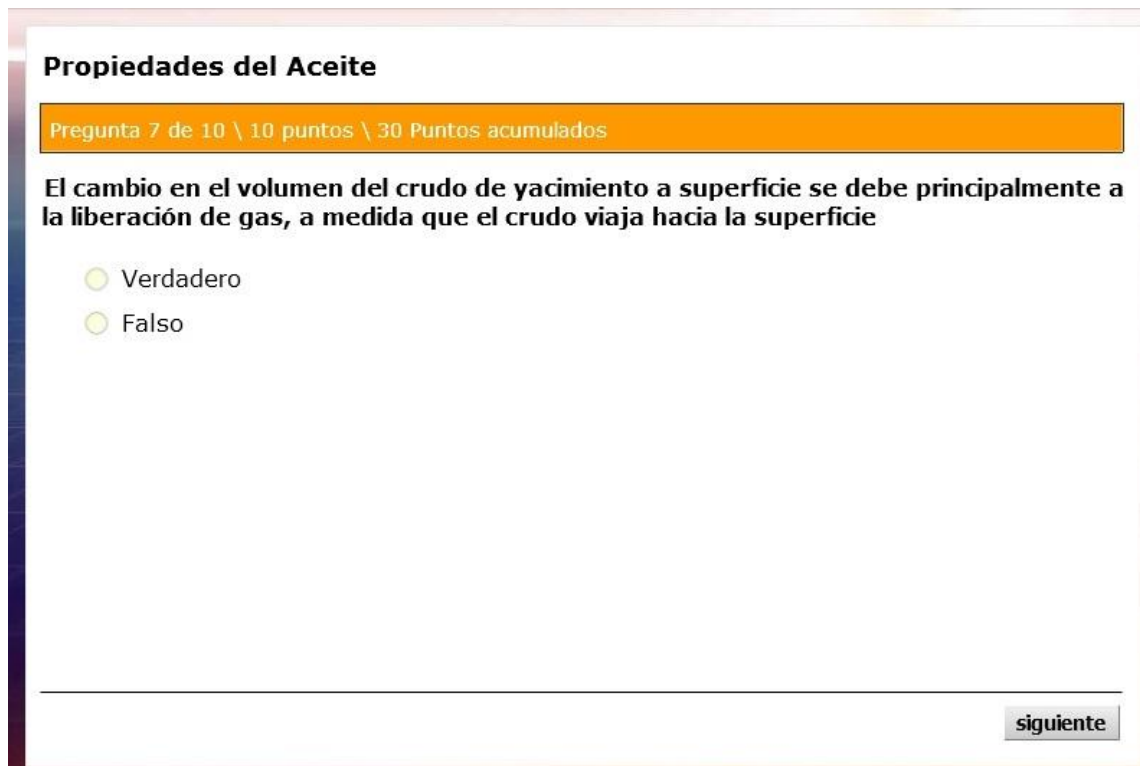
**4.2.3 Evaluación.** Para acceder a la parte evaluativa es necesario ingresar en el comando de evaluación, que puede encontrarse en la ventana de la interfaz de inicio (módulo 4.2.1) o en cualquier momento ya estando ejecutando la herramienta. En este módulo pueden encontrarse una serie de diez preguntas divididas según el tema a evaluar, como se puede ver en la Figura 34. El usuario tiene la libertad de escoger que modulo desea evaluar, mediante una serie de preguntas del tipo selección múltiple con única respuesta y de tipo Falso y Verdadero, como se muestra en las Figuras 35 y 36.

Fig. 34 Ventana de visualización de la sección Evaluación.



Fuente: Los Autores

Fig. 35 Visualización de una pregunta de tipo Falso o Verdadero



Fuente: Los Autores

La estructura del módulo de evaluación se basa en contestar todas las preguntas asignadas para el tema elegido. Al ir avanzando en la prueba, la herramienta muestra los puntajes obtenidos y acumulados, como se puede observar en la Figura 37.

Fig. 36 Visualización de pregunta tipo Selección múltiple con única respuesta.

**Ecuaciones de Estado**

Pregunta 5 de 10 \ 10 puntos \ 10 Puntos acumulados

Determinar la composición en fracción en peso de un gas con la siguiente composición molar:

Componente	Composición (fracción molar)
Metano	0.870
Etano	0.049
Propano	0.036
n-Butano	0.025
i-Pentano	0.020
<b>TOTAL</b>	<b>1.00</b>

a  
 b  
 c  
 d

a. 29 lb – mol  
 b. 12.3 lb – mol  
 c. 19.9 lb – mol  
 d. 48.3 lb – mol

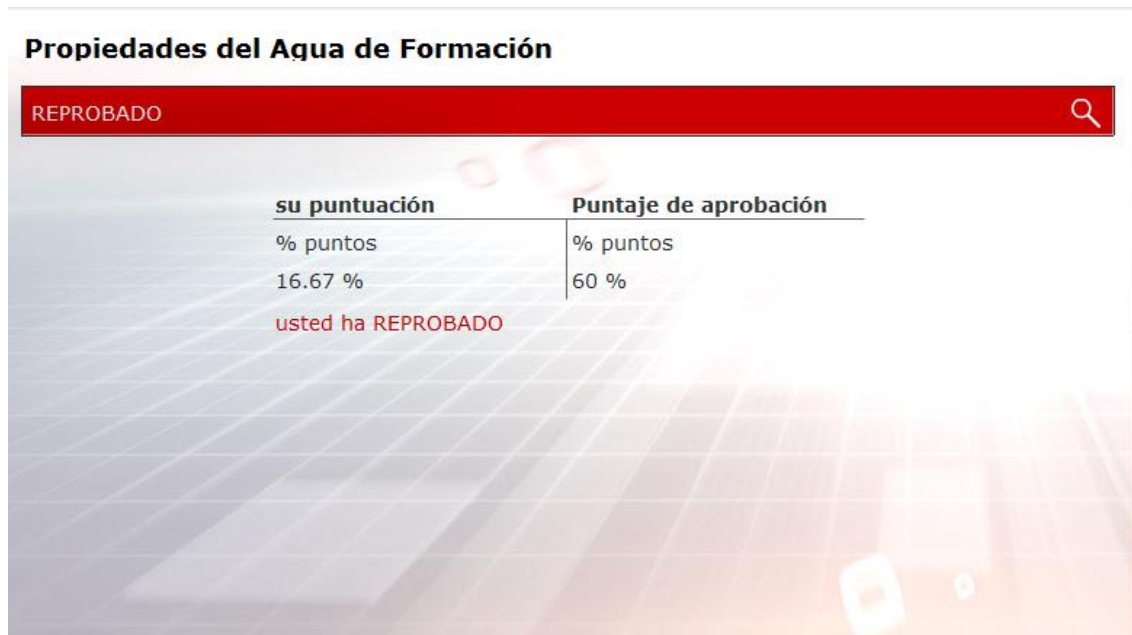
Composición (fracción molar)

0.870
0.049
0.036
0.025
0.020
1.00

Fuente: Los Autores

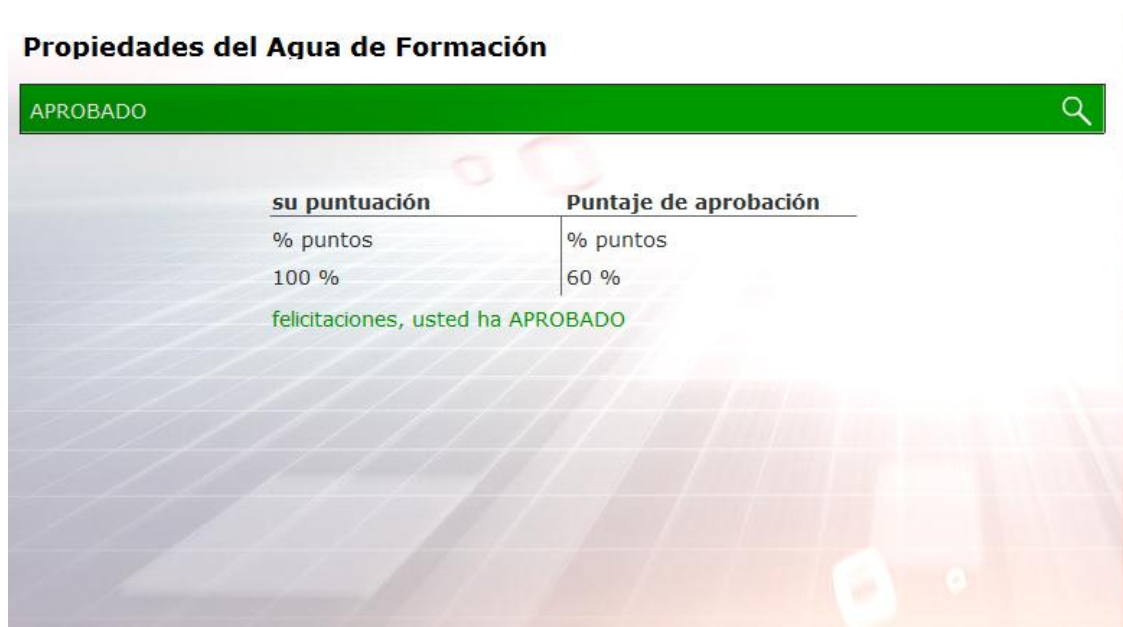
Al finalizar la prueba, el sistema muestra el puntaje obtenido. Para su aprobación, es necesario cumplir un 60% de las preguntas asignadas. La herramienta ilustra de manera textual e ilustrativa si el usuario aprueba o reprueba el test evaluativo, como se ilustra en las Figuras 37 y 38.

Fig. 37 Visualización del puntaje obtenido respecto al puntaje necesario para aprobar el tema estudiado.  
Resultado: Reprobado



Fuente: Los Autores

Fig. 38 Visualización del puntaje obtenido respecto al puntaje necesario para aprobar el tema estudiado.  
Resultado: Aprobado



Fuente: Los Autores

**4.2.4 Ayuda.** Este módulo de ayuda es complementario para que el usuario tenga acceso adicional a la información incluida en la herramienta multimedia. En este módulo se puede observar tres comandos principales, como se puede ver en la Figura 39.

Fig. 39. Ventana de visualización del modulo Ayuda.



Fuente: Los Autores

Los tres módulos principales que se encuentran en este módulo son,

- a. **Manual del usuario:** un archivo en formato PDF donde explica detalladamente la instalación, utilización e importancia de todos los componentes de la herramienta multimedia. Al dar click en el módulo se desplegará el archivo en una nueva ventana del navegador. No es necesaria la conexión a Internet para ser visualizado.
- b. **Contenido de la Herramienta:** se encuentra un archivo en formato PDF donde se puede observar todo el contenido completo de la herramienta. Para poder visualizarlo es necesario dar click en el módulo y se desplegará el archivo en una nueva ventana de navegador. No es necesaria la conexión a Internet para poder ser visualizado.

c. **Bibliografía:** se encuentran todas las referencias bibliográficas consultadas para el desarrollo de esta herramienta, en formato PDF. Para su visualización es necesario dar click en el módulo y se desplegará el archivo en una nueva ventana del navegador. No es necesaria la conexión a Internet para ser visualizado.

**4.2.5 Botones complementarios.** La herramienta multimedia consta de 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 ENTRAR.**

Fig. 40. Botón de Entrar a la interfaz de inicio.



Fuente: Los Autores

Este botón se encuentra en la introducción a la interfaz de inicio. Es necesario darle click para poder acceder a la interfaz y empezar a navegar dentro de la herramienta multimedia "Propiedades de los Fluidos del Yacimiento"

b) **BOTÓN DE INICIO.**

Fig. 41. Botón del Inicio



Fuente: Los Autores

El botón de inicio se encuentra ubicado en la parte inferior derecha dentro de la herramienta. Este botón permite al usuario ir directamente a

la interfaz de inicio en el instante que desee hacerlo. Es necesario hacer click en este botón para desplazarse a la interfaz.

### c) BOTÓN CERRAR

Fig. 42. Botón de Cerrar



Fuente: Los Autores

Este botón se encuentra en la parte inferior izquierda desde el momento que se ejecuta la herramienta. Permite al usuario cerrar automáticamente la herramienta desde cualquier posición dentro de la herramienta y en el instante deseado.

### d) BOTÓN SONIDO.

Fig. 43. Botón del Sonido



Fuente: Los Autores

El botón sonido se encuentra ubicado en la parte inferior derecha desde el momento en que se ejecuta la herramienta. Permite al usuario silenciar o poner en marcha el sonido programado en la herramienta. Para poder hacer efecto, es necesario hacer clic en este botón. El sonido se irá disminuyendo o aumentando gradualmente con un solo click, hasta lograr su objetivo.

### e) BOTONES DE AUMENTAR O REDUCIR LA PANTALLA.

Fig. 44. Botón de Aumentar o Reducir la pantalla



Fuente: Los Autores

Se encuentran ubicados en la parte inferior derecha de la herramienta, una vez pase la interfaz de inicio. Permite al usuario reducir la pantalla o ampliar la pantalla a gusto, en ocasiones donde la visibilidad sea escasa, por ejemplo en graficas muy saturadas de curvas.

#### f) BOTONES PÁGINA ANTERIOR Y PÁGINA SIGUIENTE.

Fig. 45. Botón de Página anterior y Página siguiente



Fuente: Los Autores

Se encuentran ubicados en la parte izquierda y derecha, respectivamente, de la ventana de visualización de la información, una vez se encuentre en el módulo de Contenido o Evaluación. Permite al usuario devolver o seguir una página de información, respectivamente.

#### g) BOTONES DE AJUSTAR DE LA PANTALLA.

Fig. 46. Botones de acople de pantalla.



Fuente: Los Autores

Estos botones se encuentran en la parte inferior derecha. Para poder ajustar la pantalla, a modo de FullScreen (pantalla completa) o cualquier otro ajuste de la herramienta a la pantalla, es necesario dar click a los botones y ajustar al gusto del usuario.

## 5 CONCLUSIONES

- ✓ La herramienta multimedia de la asignatura Propiedades de los Fluidos de Yacimientos fue elaborada y diseñada de acuerdo con las disposiciones del docente basándose en diferentes fuentes de información y cumpliendo de manera completa y organizada con el contenido de la asignatura, del plan de estudios del programa ingeniería de petróleos.
  
- ✓ La herramienta fue elaborada como un apoyo al estudiante para que este complemente y perfeccione sus conocimientos en la asignatura, de una forma fácil y didáctica manejando con autonomía el material expuesto en la herramienta y profundizando en esas áreas que más se le dificulten, y como apoyo al docente para facilitar la forma de exposición de los temas, permitiendo interactuar más tiempo con el estudiante y observar cuáles son sus falencias y así reforzar en estos temas.
  
- ✓ La herramienta está estructurada de tal forma que el usuario pueda estudiar por separado las diferentes temáticas enfocándose así directamente en las que más trabajo requieran, y con esto poder asimilar y desarrollar conceptos para la comprensión completa de la asignatura.

## 6 RECOMENDACIONES

- La herramienta elaborada para la asignatura propiedades de los fluidos de yacimiento no se debe tomar como una única fuente de información al momento del estudio de la asignatura, sino como un apoyo al proceso de aprendizaje.
- Es de gran importancia identificar falencias que trae la herramienta tanto en su contenido como en su parte operacional para así implementar y desarrollar una herramienta más completa y de más utilidad tanto al docente como al estudiante y así asegurar un proceso enseñanza-aprendizaje óptimo.
- El sistema de evaluación empleado en la herramienta es un mecanismo de retroalimentación de la información obtenida, por lo tanto no debe ser tomada como un sistema de calificación universitaria y de aprobación de la asignatura.
- Para un mayor aprovechamiento de la herramienta esta debe ser actualizada periódicamente.
- Para obtener resultados óptimos y satisfactorios con el uso de la herramienta esta debe tener un acompañamiento de un docente experto, que guíe al estudiante y resuelva sus inquietudes en esos temas que presentan mayor dificultad.
- La herramienta debe estar dispuesta para todos los estudiantes y docentes lo cual conlleva a que esta deba ser publicada en un sitio Web donde sea de fácil acceso y uso para toda la comunidad estudiantil.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CARACTERÍSTICAS DE LAS TIC'S  
<http://www.cibersociedad.net/archivo/articulo.php?art=218>
  
- LAS TIC'S EN LA EDUCACIÓN  
<http://flosse.blogging.fi/2005/06/23/critical-history-of-ict-in-education-and-where-we-are-heading/>
  
- VANEGAS PEREZ, Daniel Andrés y GONZÁLEZ GONZÁLEZ Christian Leonardo. Herramienta multimedia para el estudio del área de perforación de pozos en el programa académico de ingeniería de petróleos. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 2010. Pag 24.
  
- CLASIFICACIÓN DE LAS TIC'S DE ACUERDO A LAS NECESIDADES DE LOS USUARIOS  
<http://edithlupaca.wordpress.com/> “La Importancia TICS en la Educación”, LUPACA Violeta Edith
  
- CLASIFICACIÓN DE LAS TIC'S TOMANDO EN CUENTA TIPOS DE MEDIOS Y ENFOQUE EDUCATIVOS.  
[http://www.colombiaaprende.edu.co/html/investigadores/1609/articles-73523\\_archivo.pdf](http://www.colombiaaprende.edu.co/html/investigadores/1609/articles-73523_archivo.pdf)
  
- VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS TIC'S EN LA EDUCACIÓN  
<http://peremarques.pangea.org/siyedu.ht>

- EDUCACIÓN VIRTUAL  
<http://www.monografias.com/trabajos13/educvirt/educvirt.shtml>
  
- ROL DE LOS DOCENTES Y ESTUDIANTES EN LA EDUCACIÓN VIRTUAL  
<http://edithlupaca.wordpress.com/> ; “La Importancia TICS en la Educación”, LUPACA Violeta Edith
  
- MULTIMEDIA  
<http://es.wikipedia.org/wiki/Multimedia>
  
- HIPERTEXTO E HIPERMEDIA  
<http://www.slideshare.net/escenaenelmar/texto-hipertexto-e-hipermedia>
  
- TIPOS DE MULTIMEDIA  
<http://www.uv.es/bellochc/pdf/pwtic3.pdf>
  
- BRICEÑO CABALLERO, Diana Carolina y JARAMILLO JAIMES, Johana Andrea. “Herramienta multimedia para el estudio y diseño de métodos de producción en la industria de los hidrocarburos”. Tesis de Grado. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 2011.
  
- TIPOS DE EVALUACIÓN  
<http://es.scribd.com/doc/14595372/Tipos-de-evaluacion>

- ACTIONSCRIPT II Y III  
<http://es.wikipedia.org/wiki/ActionScript>
  
- ADOBE FLASH  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Adobe\\_Flash\\_Professional](http://es.wikipedia.org/wiki/Adobe_Flash_Professional)
  
- GONZALEZ ALCARAZ, Francisco. “Nomenclatura de química orgánica”.  
Universidad de Murcia. 1991. (Modificado)
  
- MCCAIN, William, D. Jr. “The Properties of Petroleum Fluids”.  
PennWell. 2ª Ed. 1990.
  
- AHMED, Tarek. “Equations of State and PVT Analysis”. Gulf Publishing  
Company. 2007.
  
- DANESH, Ali. “PVT and Phase Behaviour of Petroleum Reservoir  
Fluids”. ELSEVIER. 1998.
  
- WHITSON, Curtis H. y BRULE, Michael R. “Phase Behavior”. SPE  
Monografía. Vol. 20. 2000. (Modificado)
  
- GUO, Boyun y GHALAMBOR, Ali. “Natural Gas Engineering Handbook”.  
Gulf Publishing Company. 2005. (Modificado)

- Gas Processors Suppliers Association (GPSA), “Engineering Data Book”. 12 Ed.
  
- AHMED, Tarek. “Reservoir Engineering Handbook”. 3ª Ed. 2006
  
- DAKE, L. P. “Fundamentals of Reservoir Engineering” ELSEVIER. 1978. (Modificado)
  
- RIAZI, M. R. “Characterization and Properties of Petroleum Fractions”. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. 2005. (Modificado)
  
- SMITH, Charles R.; TRACY, G. W.; FARRAR, Lance, R. “Applied Reservoir Engineering”. Vol. 1. OGCI Publications. 1992. (Modificado)
  
- PEDERSEN, Karen Schou; CHRISTENSEN, Peter L. “Phase Behavior of Petroleum Reservoir Fluids”. Editorial Taylor & Francis. 2007.
  
- PÉREZ PALACIO, Ramiro; MARTÍNEZ, Marcías J. “Ingeniería de gas Natural: Características y Comportamiento de los Hidrocarburos”. Germore C.A. 1995.
  
- CRAFT, B.C.; HAWKINS, M. “Applied Petroleum Reservoir Engineering”. Prentice Hall. 2ª Ed. 1991.

- AMYX, James W.; BASS, Daniel M. Jr.; WHITING, Robert L. "PETROLEUM RESERVOIR ENGINEERING: Physical Properties". McGraw-Hill. 1960.
  
- SANABRIA AMAYA, Jefferson Julián y GONZÁLEZ MARÍN, Manuel Ignacio. "Herramienta Multimedia para el Análisis de Pruebas de Presión". Tesis de Grado. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 2011.