

**HERRAMIENTA MULTIMEDIA PARA EL ESTUDIO Y DISEÑO DE
FACILIDADES DE SUPERFICIE EN LA INDUSTRIA DE LOS
HIDROCARBUROS**

**HERNAN CAMILO PINEDA RUGELES
JUAN CARLOS CASTRO VILLADIEGO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA DE PETROLEOS
BUCARAMANGA
2010**

**HERRAMIENTA MULTIMEDIA PARA EL ESTUDIO Y DISEÑO DE
FACILIDADES DE SUPERFICIE EN LA INDUSTRIA DE LOS
HIDROCARBUROS**

**HERNAN CAMILO PINEDA RUGELES
JUAN CARLOS CASTRO VILLADIEGO**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al
Título de Ingeniero de Petróleos**

**Director
Cesar Augusto Pineda Gómez
Ingeniero de Petróleos**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA DE PETROLEOS
BUCARAMANGA
2010**

A Dios, que en su magnificencia siempre me dio la fuerza para seguir adelante bendiciendo mi vida y cada día llenándola de nuevas alegrías. Por regalarme el preciado don de vivir y permitirme dar un paso más, por darme salud y amarme de manera especial.

A Manuel Pineda Castillo, Ingeniero de la vida, mi padre, de quien aprendí todo lo que se, y lo necesario para ser un buen hombre. Gran ejemplo de ser humano y padre.

A Beatriz Rugeles Patarrojo, mi madre, quien deposito siempre en mi su inmenso amor y confianza, por ser la mejor mujer, la mejor docente y la mejor madre.

A Carlos Andrés, mi mano derecha, mi amigo, mi hermano, por su gran apoyo y colaboración.

A Martha Lilibiana, la niña, mi hermana, que tanto quiero.

A mis amigos: Carlos Andrés, Andrés Julián, Leidy Carolina, Roberto José, y muy especialmente a mi amigo Carlos Javier.

A mi familia, de manera especial al Doctor Hernando Pineda C., por su gran colaboración y confianza, esperando en Dios mil bendiciones para él y su familia.

Camilo Pineda Rugeles.

A Dios por haberme dado la oportunidad de estar en donde había querido.

*A mi madre Alcira Villadiego por apoyarme incondicionalmente
durante todo este tiempo y enseñarme que con paciencia y*

perseverancia se pueden alcanzar las metas propuestas.

A mi hermana Lorena por su comprensión , lealtad y apoyo.

A belsy albarracin por su sincera amistad.

A Gisela Valderrama por compartir conmigo todo este tiempo.

A mis amigos Gustavo ariza, Fabio tejada, Carlos romero,

Edinson hernandez , Carlos robles.

y a todas aquellas personas que de una forma u otra

contribuyeron para que este proceso llegara a

feliz término.

Juan Carlos Castro

CONTENIDO

Introducción	1
1. Justificación para la solución del problema	2
1.1 Objetivos	3
1.2 Aplicación de la informática en la educación	5
1.2.1 Usos educativos del computador	7
1.2.1.1 La computación como objeto de estudio	7
1.2.1.2 Ambientes de enseñanza-aprendizaje enriquecidos con Computador	8
1.2.1.3 Incorporación de un mec en el currículo	13
1.3 El computador como herramienta de trabajo	14
1.4 Diseño de la herramienta multimedia	17
1.4.1 Variables del entorno	17
1.4.1.1 Población objetivo.	17
1.4.1.2 Área de contenido.	17
1.4.1.3 Necesidad educativa.	17
1.4.2 Variables educativas	17
1.4.2.1 Objetivos que se pretende alcanzar con el uso de la herramienta.	17
1.4.2.2 Contenido.	18
1.4.3 Variables de computación.	19
1.4.3.1 Funciones de apoyo al alumno.	19
2. Contenido de la herramienta multimedia para el estudio y diseño de facilidades de superficie en la industria de los hidrocarburos.	20
2.1 Generalidades.	20
2.1.1 Introducción.	20
2.1.2 Definición de una facilidad de producción.	20

2.1.3	Importancia de un diseño eficiente.	21
2.1.4	Diagrama de una facilidad de producción.	24
2.1.5	Tipos de facilidades de producción.	26
2.1.6	Control del proceso y sus variables.	27
2.2	Secciones de un separador.	31
2.2.1	Partes internas de un separador.	31
2.3	Separadores de prueba.	34
2.4	Separadores de dos fases.	38
2.4.1	Etapas de separación gas líquido.	42
2.4.2	Factores que afectan la separación.	44
2.5	Tipos de separadores de dos fases y sus componentes.	45
2.5.1	Separadores bifásicos horizontales.	45
2.6	Separadores de tres fases.	47
2.6.1	Parámetros generales de diseño.	48
2.6.2	Separador trifásico convencional horizontal.	49
2.7	Dimensionamiento de separadores de tres fases.	51
2.7.1	Dimensionamiento de un separador trifásico horizontal.	53
2.8	Emulsiones, clasificación y tratamiento.	56
2.9	Generalidades del tratamiento del crudo.	60
2.10	Equipos de tratamiento de crudo.	64
2.10.1	Tratador térmico vertical.	64
2.11	Tanques de almacenamiento de petróleo.	68
2.12	Tratamiento de agua.	71
2.12.1	Tratamiento mecánico.	72
2.13	Equipos de tratamiento de aguas residuales.	73
2.13.1	Aspectos teóricos acerca de los desnatadores.	74
2.13.2	Recipiente desnatador cilíndrico vertical presurizado.	75
2.14	Válvulas.	78
2.14.1	Partes generales de una válvula.	78
2.14.2	Tipos de válvulas.	79
2.15	Bombas.	81
2.15.1	Clasificación de bombas.	81

2.16	Tuberías.	84
2.16.1	Selección de un tamaño de línea y espesor de pared.	84
3.	Manual de usuario	87
3.1	Requerimientos para el uso de la herramienta.	87
3.1.1	Instalación de la herramienta multimedia.	87
3.1.2	Ejecutar la aplicación	87
3.2	Descripción del funcionamiento de la mec.	88
3.2.1	Acceso a la introducción.	88
3.2.2	Esquema de una facilidad como medio de acceso a la información.	89
3.2.3	Procedimiento para acceder a la información deseada.	91
3.2.4	Botones complementarios.	94
	Conclusiones	97
	Recomendaciones	98
	Bibliografía	99

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Esquema de pérdidas de presión.	21
Figura 2.	Esquema de una facilidad de producción.	24
Figura 3.	Control de presión en un sistema de separación.	28
Figura 4.	Distribución del caudal en dos sistemas de tratamiento.	30
Figura 5.	Platina desviadora de flujo.	32
Figura 6.	Esquema de un desviador tipo ciclón o centrifugo.	33
Figura 7.	Paquetes de malla.	34
Figura 8.	Esquema de un sistema típico de separación de prueba.	35
Figura 9.	Presión de llegada del caudal al separador.	39
Figura 10.	Etapas de separación gas líquido.	42
Figura 11.	Sistema de separación bifásica horizontal.	45
Figura 12.	Comportamiento de una mezcla de cierta concentración de agua-aceite.	47
Figura 13.	Sistema de separación trifásica horizontal convencional.	49
Figura 14.	Clasificación general de las emulsiones.	57
Figura 15.	Clasificación según la fase de la emulsión	58
Figura 16.	Clasificación de las emulsiones según el grado de estabilidad.	59
Figura 17.	Clasificación de las emulsiones según la facilidad para romperlas.	59
Figura 18.	Tratador térmico vertical.	64
Figura 19.	Esquema de un tanque cilíndrico de techo cónico.	69
Figura 20.	Diagrama de un tanque cilíndrico con fondo y tapas cóncavas.	69
Figura 21.	Tanque cilíndrico con membrana flotante.	70

Figura 22.	Esquema de un tanque de almacenamiento esférico.	70
Figura 23.	Tanque soldado.	70
Figura 24.	Esquema de un tanque soldado.	71
Figura 25.	Procedimiento mecánico en el tratamiento de aguas residuales.	73
Figura 26.	Desnatador cilíndrico vertical presurizado.	75
Figura 27.	Válvula de compuerta para tuberías de petróleo.	80
Figura 28.	Bomba de flujo radial.	82
Figura 29.	Bomba de flujo axial.	83
Figura 30.	Ejecutable herramienta Facilidades de Superficie.	88
Figura 31.	Introducción Herramienta multimedia.	89
Figura 32.	Acceso a la información.	90
Figura 33.	Información contenida dentro de un botón.	91
Figura 34.	Subtemas dentro del botón “separador de producción general”.	92
Figura 35.	Contenido de la MEC – Separador de prueba.	93
Figura 36.	Contenido de la MEC – Tratamiento de agua.	94
Figura 37.	Botones complementarios.	94
Figura 38.	Botón de acceso al menú.	95
Figura 39.	Botón de salida.	95
Figura 40.	Acceso al archivo PDF compilado.	95
Figura 41.	Página inmediatamente anterior.	96
Figura 42.	Botón activar/desactivar sonido.	96
Figura 43.	Acceso al esquema general de la MEC.	96

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Caídas de presión.	22
Tabla 2. Efecto de las etapas de separación para un caudal rico en condensados.	43
Tabla 3. Guía para etapas de separación.	43
Tabla 4. Condiciones necesarias para vertimiento en cuerpos de agua.	72

RESUMEN

TITULO: HERRAMIENTA MULTIMEDIA PARA EL ESTUDIO Y DISEÑO DE FACILIDADES DE SUPERFICIE EN LA INDUSTRIA DE LOS HIDROCARBUROS*

AUTORES:

JUAN CARLOS CASTRO VILLADIEGO
HERNAN CAMILO PINEDA RUGELES**

PALABRAS CLAVES: Herramienta, educativa, multimedia, superficie.

DESCRIPCIÓN:

Este material educativo fue desarrollado con el propósito de facilitar a los estudiantes y profesores de la asignatura facilidades de superficie una herramienta de apoyo al proceso enseñanza-aprendizaje al igual que a todas las personas interesadas en los principios básicos de diseño de los equipos en una batería de producción.

La herramienta fue diseñada en función de una interfaz de fácil manejo para cualquier usuario donde se puede encontrar información en forma organizada la cual es mostrada en diferentes presentaciones como texto, animaciones, gráficos, además puede ser encontrada en diferentes formatos para facilitar su búsqueda haciéndola más dinámica e interactiva y permitiéndole al lector llegar rápidamente al tema de interés.

Otro de los aspectos fundamentales a resaltar dentro de este proyecto es la metodología usada (heurística) mediante la cual el estudiante crea su conocimiento por medio de la interacción con la herramienta lo cual le permite aprender a su propio ritmo y hacer énfasis en los temas que prefiera o le presenten una mayor dificultad. Todo esto es posible gracias a los ambientes presentes dentro de la herramienta los cuales presentan entornos con múltiples posibilidades de interacción.

Mediante el desarrollo de esta herramienta se espera que muchos estudiantes en proceso de formación, elijan la implementación de una MEC como tesis de grado, de esta forma generando un ambiente computacional interactivo en otras asignaturas.

*Trabajo de grado

**Facultad de Ingenierías Físico-Químicas, Escuela de Ingeniería de Petróleos, Ing. Cesar Pineda.

SUMMARY

TITLE: MULTIMEDIA TOOL FOR STUDYING AND DESIGNING SURFACE FACILITIES IN HYDROCARBON INDUSTRY.*

AUTHORS:

JUAN CARLOS CASTRO VILLADIEGO
HERNAN CAMILO PINEDA RUGELES**

KEY WORDS: Tool, multimedia, surface, educational.

DESCRIPTION:

This educational material was developed for the purpose of making easy for teachers and students of petroleum engineering about the subject surface facilities a support tool to the teaching - learning process in the same way that all people interested in the basic design criterias of surface facilities equipment.

The tool was designed in function of easy handle interface for any user where organized information can be found. It is shown in many presentations as text, animations, and graphics. Besides, information can be found in different formats for making easy its search of doing it more interactive and dynamic and allowing the reader a quickly finding his interest topic.

Other main aspects in this project is the used methodology (heuristic) through it student creates his own knowledge to have interaction with the tool and allowing learning on his own pace and that they can focus in subjects that they choose or which are more difficult for them. It all is possible because of different enviroments inside the tool which have many interaction possibilities.

Through the development of this tool is expected that many students in training, choose to implement a MEC as thesis, thus generating an interactive computing environment in other subjects.

* Work degree

** Faculty of Physical and Chemical Engineering, School of Petroleum Engineering, Ing. Cesar Pineda.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de nuevas tecnologías ha incrementado el uso del computador como una herramienta valiosa para el desarrollo tanto en la industria como en la educación, ya que nos permite tener acceso a una gran cantidad de información en forma rápida y confiable. Por esta razón el desarrollo de herramientas que permitan acceder a información organizada, completa y de una manera agradable puede enriquecer el proceso enseñanza-aprendizaje.

Esta herramienta ha sido desarrollada con el propósito de enseñar cuales son los principales parámetros de diseño de los equipos básicos usados en una batería de producción además, ser una guía de selección para aquellos elementos que constituyen una parte importante en la facilidad tal como bombas, tuberías y válvulas.

Este trabajo presenta la información estructurada en tres capítulos los cuales corresponden a la sustentación teórica y la descripción del manejo de la herramienta. El capítulo 1 comprende todo lo correspondiente al componente educativo de la herramienta, el capítulo 2 describe el las generalidades y el diseño de los equipos de una facilidad de producción y el capítulo 3 la manera como debe ser usada la herramienta multimedia y cuáles son los requerimientos necesarios para su óptimo desempeño.

Al desarrollar este trabajo se busca presentar una herramienta de apoyo para el proceso enseñanza- aprendizaje dentro de la asignatura facilidades de superficie e implementar el uso de la informática en la educación lo cual facilita el acceso a información así como la habilidad de desarrollar nuevas destrezas como la capacidad de procesar y producir nuevos conocimientos.

1. Justificación para la solución del problema

La escuela de Ingeniería de Petróleos carece de alternativas metodológicas que permitan optimizar los diferentes procesos o estilos de aprendizaje que se desarrollan en el aula de clase, en los cuales se reafirme el conocimiento con prácticas alternadas, material audiovisual adecuado, entre otras que conlleven a un desarrollo integral de la asignatura.

Ante esta situación, una herramienta multimedia es una alternativa viable, desde la cual se puede suministrar al cuerpo docente y al estudiantado soluciones en cuanto a métodos o estilos de aprendizaje, generando así una mejora sustancial en la calidad de conocimientos adquiridos, brindando una mejor formación profesional a los egresados de la escuela Ingeniería de Petróleos.

Finalmente, una herramienta multimedia centrada en los conocimientos básicos de las facilidades de superficie brinda una buena alternativa en la enseñanza basada en los estilos de aprendizaje, con fin de facilitar al usuario la visualización, observación y descripción de las diferentes baterías de superficie y sus aplicaciones, mediante animaciones, e imágenes que se tratan para cada tema en específico en una navegación flexible y de fácil manejo para el usuario y que contribuya a tener una visión integral de la asignatura facilidades de superficie.

1.1 Objetivos

- **Objetivo General**

Desarrollar una herramienta multimedia de carácter educativo que posibilite una mayor aprehensión del conocimiento en el área de facilidades de superficie en la industria de los hidrocarburos.

- **Objetivos Específicos**

- ✓ Desarrollar el contenido temático que cubra la asignatura “Facilidades de superficie”.
- ✓ Implementar una búsqueda exhaustiva en el tema de facilidades de superficie con el fin de profundizar al máximo y obtener un material valioso en el contexto de la asignatura.
- ✓ Basados en el material teórico, estructurar la herramienta multimedia en orden lógico, de manera que se puedan abarcar los conocimientos básicos en el área de facilidades de superficie, que permitan hacer diseños adecuados dependiendo de las necesidades del campo.
- ✓ Construir la aplicación multimedia que permita al estudiante la posibilidad de examinar el material teórico de una manera flexible y de fácil manejo, donde se pueda navegar por cada uno de los temas planteados para la asignatura. Esta herramienta debe permitir:
 - A.** Acceder al contenido temático seleccionado y organizado de facilidades de superficie en diferentes módulos con el propósito de lograr un temario integral, que satisfaga los objetivos de la materia y facilite al estudiante la navegación y asimilación de los conceptos.
 - B.** Visualizar los diferentes servicios y elementos multimedia como gráficos, animaciones, videos y tutoriales explicativos, que sirvan de

Complemento a los conceptos, logrando una mayor interacción del Estudiante con la aplicación, para facilitar la comprensión de cada uno de los temas expuestos y que el estudiante tenga ideas mas claras de estos al momento de la práctica.

1.2 Aplicación de la informática en la educación

La informática en nuestros días está estrechamente relacionada a la labor educativa, esto se debe al potencial educativo que tiene el uso de los computadores en este sector en todos los niveles de enseñanza. Uno de los aspectos importantes por los cuales los computadores han tenido una gran acogida en el sector educativo está relacionado con la interacción que existe entre usuario- maquina y el control sobre la maquina lo cual le da al usuario la sensación de control, y el poder de hacer que algo que quiera hacer suceda. Es importante tener en cuenta que la posibilidad de interactuar directamente con la maquina y controlarla no corresponde a un comportamiento innato en las personas sino, esto se debe a la superación de muchos obstáculos técnicos.

Uno de los aspectos fundamentales al aplicar la informática en la educación corresponde a conocer que tipo de educación buscamos apoyar y como se puede favorecer el enfoque educativo con el uso de estas herramientas, esto se debe a que el proceso enseñanza-aprendizaje puede ser dirigido de distintas formas, una de las cuales corresponde al aprendizaje dirigido por el profesor conocido como metáfora de transmisión y otro de aprendizaje autodirigido conocido como metáfora de dialogo.

El aprendizaje dirigido por el profesor supone que el aprendiz es un ser dependiente y que el profesor tiene la responsabilidad de decidir qué y cómo enseñarle mientras, que en el aprendizaje autodirigido supone que el ser humano crece en capacidad de autodirigirse, como un componente esencial de madurez y que esta capacidad debe desarrollarse lo más rápido posible. Si se analizan los dos enfoques de aprendizaje se puede observar que más que contraponerse, estos se complementan de tal forma que le permiten al aprendiz desarrollar sus propios modelos de pensamiento y aprovechar los recursos que están a su disposición sin perder autodirección.

A partir de los dos enfoques anteriormente mencionados puede entenderse que coexisten dos formas sistemáticas para la creación y uso de ambientes de

Aprendizaje los cuales son conocidos como algorítmico y heurístico. El enfoque Algorítmico como su nombre lo indica corresponde a un conjunto ordenado y Finito de operaciones que permiten hallar la solución a un problema es decir, que este se orienta hacia la definición y realización de secuencias predeterminadas, de actividades que cuando se acierta en los supuestos niveles de entrada y salida y las expectativas de los destinatarios y se llevan a cabo actividades de la manera esperada se puede llegar a alcanzar metas predeterminadas.

El alumno bajo el enfoque heurístico tiene como misión “asimilar al máximo las enseñanzas de su maestro, convirtiéndose en depositario de sus conocimientos y modelos de pensamientos”¹ los modelos y la forma de pensamiento corresponde al conocimiento que el profesor trata de enseñar usando diferentes medios y materiales de apoyo. Con este enfoque se da una educación controlada en la cual el profesor decide que se enseña, como, hasta donde y que materiales utiliza.

Por otra parte el enfoque heurístico se produce por discernimiento repentino a partir de situaciones experienciales y conjeturas por descubrimiento de aquello que interesa aprender y no por transmisión de conocimientos. Sin embargo, para promover aprendizaje por descubrimiento no es suficiente con dispositivos heurísticos (micromundos, ambientes para explorar) que hagan posible la vivencia de las experiencias físicas o mentales en el aprendiz, es necesario que el profesor favorezca este autoaprendizaje con el direccionamiento del mismo.

Para alcanzar una educación controlada por el estudiante “es necesario que el profesor use una serie de estrategias heurísticas basadas en psicología cognitiva, que promuevan el desarrollo de la capacidad de autogestión del acto de aprendizaje”² estas estrategias incluyen aprender a lidiar con los fracasos, mediante el proceso educativo debe proponerse ayudar a las personas en la

¹ GALVIS P., Álvaro H. Ingeniería de software educativo. Ediciones Uniandes. Bogotá, 1992. p. 9.

² *Ibíd.*, P.10

Forma como enfrenta estas situaciones, intentar diferentes alternativas y conocer cuales son sus limitaciones. Además, se debe distinguir entre transmitir la experiencia acumulada y transmitir los modelos de la misma. Para que esto suceda se debe tener mente abierta para esperar lo inesperado sobre Autogestión educativa, dando la oportunidad al alumno para que por sus propios medios adquiera los conocimientos.

1.2.1 Usos educativos del computador

Los computadores pueden ser usados en distintas formas en educación una seria como medio de enseñanza-aprendizaje (educación apoyada con computador), como herramienta de trabajo (educación complementada con computador), y como objeto de estudio (educación acerca de la computación). A continuación se analizan los distintos usos del computador en la educación.

1.2.1.1 La computación como objeto de estudio. El aprendizaje de computación es una útil herramienta no solo desde la perspectiva económica y social sino, también desde la perspectiva individual, debido a que estos se encuentran actualmente ligados a todo tipo de actividades, ocupaciones y profesiones con base en esto es importante analizar que implicaciones tiene la alfabetización computacional, la programación de computadores y la formación de especialistas en informática.

La alfabetización computacional es aplicable a casi todo lo relacionado con iniciar a alguien en el uso del computador. Bajo esta denominación se pueden encontrar diferentes experiencias educativas que varían desde aprender a programar un lenguaje fácil como Basic, hasta aprender a manejar el computador con propósitos específicos.

Cualquiera que sea el contenido de estos programas lo importante es que el usuario, mediante las experiencias que tenga con el equipo y con la orientación adecuada, conozca las características básicas del computador, su potencial y sus limitaciones. La alfabetización computacional no puede ser un fin en si misma, sino un medio para alcanzar metas mayores por medio del

Aprovechamiento de las oportunidades del desarrollo personal y social que nos brinda la informática.

La programación de computadores por su parte es un nuevo recurso que es fundamental para el desarrollo de destrezas intelectuales como pensamiento estructurado y solución de problemas por medio del descubrimiento a partir de las experiencias propias del aprendiz. La programación de computadores puede ser un buen medio para el desarrollo de las destrezas del pensamiento cuando se realiza dentro de ambientes de aprendizaje que tengan propósitos claros con respecto a enseñar a pensar, estos incluyen ausencia de posiciones dogmáticas por parte del profesor, confianza y estímulo de la capacidad del alumno, reconocimiento y formulación explícita de los conocimientos y reforzamiento del valor que tiene analizar y corregir los errores durante la solución de los problemas. A partir de lo mencionado anteriormente podemos concluir que no basta con que el lenguaje de programación que se estudie favorezca la solución de problemas además de esto, se necesitan profesores entrenados en el aprovechamiento del potencial de estos lenguajes, para favorecer el aprendizaje de solución de problemas.

Por otra parte, la formación especializada en computación incluye lo referente a programación eficiente de computadores pero va más allá en uso y aprovechamiento como una herramienta útil de trabajo en el manejo y la solución de problemas en forma eficaz.

1.2.1.2 Ambientes de enseñanza-aprendizaje enriquecidos con computador. Las expectativas creadas por el computador como medio de enseñanza-aprendizaje se fundamentan tanto en las características técnicas del equipo como en los desarrollos de la tecnología educativa que son los pilares de los ambientes de aprendizaje. Algo inherente al computador es la interactividad usuario-máquina lo cual permite ofrecer algo diferente a los otros medios para promover ciertas enseñanzas. Además de la interactividad, se suma la capacidad de almacenamiento, procesamiento y transmisión de

Información así como la posibilidad de crear ambientes multimediales comandados desde y con apoyo del computador.

Los materiales educativos computarizados (MECs) tratan de complementar lo que con otros medios de enseñanza- aprendizaje es difícil de lograr. Estos permiten crear escenarios en los cuales el usuario puede vivir, analizar, modificar, repetir a voluntad en una perspectiva en la que es posible poner a prueba sus propios patrones de pensamiento.

Existen varios tipos de materiales educativos computarizados, (MECs) que se pueden clasificar según el tipo de enfoque educativo que predomine en ellos (algorítmico o heurístico) ó según las funciones educativas que asumen, como sistemas tutoriales, sistemas de ejercitación y practica, simuladores, juegos educativos, lenguajes sintónicos, micromundos exploratorios, sistemas expertos, sistemas inteligentes de enseñanza. Cada uno de estos tipos de MECs tiene cualidades y limitaciones que vale la pena detallar, para favorecer la selección apropiada del mismo. En el MEC de tipo algorítmico predomina el aprendizaje vía transmisión de conocimiento desde quien sabe hacia quien desea aprender, donde el profesor se encarga de dirigir el conocimiento diseñando actividades secuenciales. Por el contrario en el MEC de tipo heurístico En el cual predomina el aprendizaje experiencial y por descubrimiento en el cual el alumno puede crear sus propios modelos de pensamiento, sus propias experiencias del mundo a partir de este.

- **Sistemas tutoriales.** Un sistema tutorial incluye cuatro fases que deben formar parte de todo proceso de enseñanza-aprendizaje dentro de las cuales tenemos: la fase introductoria, en la cual se genera la motivación, el sistema de motivación y refuerzo que se emplee depende en gran medida del publico al cual se dirige el material, este sistema centra la atención y se favorece la percepción selectiva de lo que se desea enseñar; la fase de orientación inicial, en la cual se da la codificación, almacenamiento y retención de los conceptos aprendidos; la fase de aplicación en la cual hay

Transferencia de lo aprendido; y la fase de retroalimentación en la que se demuestra lo aprendido y se ofrece retroinformación y refuerzo, dependiendo de lo que el alumno demuestre que ha aprendido al resolver los diferentes escenarios que se presenten el sistema deberá valorar el resultado y tomar acciones para los objetivos en los cuales no se alcanzaron los logros .

Los tipos de aprendizaje que favorecen los tutoriales son los reproductivos, o de aprendizaje cognoscitivo hasta el nivel de aplicación. Los niveles altos de aprendizaje que implican síntesis, análisis, solución de problemas o aprendizajes productivos, no son incentivados de forma notoria por este Sistema. Sin embargo, esto no les resta gran utilidad a estos sistemas debido, a Que estos generan gran motivación, información de retorno y se adaptan al ritmo de aprendizaje del usuario.

- **Sistemas de ejercitación y práctica.** Estos sistemas intentan reforzar las fases finales del proceso de instrucción que corresponde a la aplicación y retroinformación. Cuando se pone en práctica este sistema se supone que por algún otro mecanismo de enseñanza, el alumno ha adquirido los conceptos básicos necesarios y que mediante este sistema los va a poner en práctica. En estos sistemas deben conjugarse tres condiciones: cantidad de ejercicios, variedad en los formatos con los que se presentan y retroalimentación directa al estudiante.

Existe una gran cantidad de sistemas de ejercitación y práctica dentro de los cuales encontramos los tutoriales por defecto, en los cuales el desempeño es defectuoso y el usuario recibe información complementaria de las deficiencias detectadas. Otra variedad son los de sobreejercitación por defecto, en los cuales el computador mantiene un perfil-diagnostico de las habilidades que ha logrado el usuario y de las que no alcanzo, proponiendo una mayor cantidad de ejercicios para mejorar las habilidades

En las cuales falló. Estos sistemas tienen la limitación que apoyan aprendizajes esencialmente reproductivos.

- **Simuladores y juegos educativos.** Tanto los simuladores como los juegos educativos poseen la virtud de apoyar los aprendizajes de tipo experiencial y conjetural como base para lograr el aprendizaje por descubrimiento. Con estos tipos de materiales educativos computarizados el alumno aprende procedimientos, resuelve problemas, entiende las características de cada fenómeno y toma decisiones de acuerdo a cada situación.

Ambos pueden ser usados en cualquier momento del proceso enseñanza-aprendizaje, teniendo en cuenta que lo importante para que el proceso sea exitoso es la disposición que tenga el estudiante. Su utilidad en gran medida depende de la necesidad educativa que se va a atender con estos y de la manera como se utilicen. Para que estos favorezcan aprendizaje de tipo Heurístico, deben crear confianza en el alumno que lo va a usar, dando la posibilidad de corregir si este se equivoca.

- **Lenguajes sintónicos y micromundos exploratorios.** Una manera de interactuar con micromundos es llevándolo a cabo con un lenguaje de programación, en particular si es de tipo sintónico. Como dice paper “un lenguaje sintónico es aquel que no hay que aprender, que uno está sintonizado con sus instrucciones y que se puede usar naturalmente para interactuar con un micromundo en el que los comandos sean aplicables”³, el uso de lenguajes de computación que permitan interactuar con micromundos es clave no solo la naturalidad con que se puede usar el lenguaje, también lo es la posibilidad de practicar la estrategia por pasos en la solución de problemas lo cual es la base de la programación. La principal utilidad de los lenguajes sintónicos, es servir para el desarrollo de estrategias de pensamiento, basadas en el uso heurístico de solución de problemas.

³ *Ibíd.*, P.24

- **Sistemas expertos con fines educativos.** Estos sistemas son de tipo heurístico y son capaces de representar y razonar de algún dominio rico en conocimientos, con el ánimo de resolver problemas y dar consejos a quienes no son expertos en el tema. Estos sistemas utilizan conocimientos y procedimientos de inferencia para resolver problemas que son suficientemente difíciles como para requerir experiencia y conocimiento humano para su correcta solución. A diferencia de un simulador en el cual se pueden vivir experiencias, en un sistema experto es posible obtener explicación sobre el procedimiento seguido por el mismo para llegar a un resultado final.

Desde el punto de vista usuario-aprendiz, un sistema experto es un sistema que además de mostrar velocidad, precisión y exactitud, tiene como contenido un dominio de conocimientos que requiere gran experiencia Humana, no solo principios o reglas de alto nivel, y que es capaz de hallar o juzgar la solución a algo, explicando o justificando lo que halla o lo que juzga, de modo que es capaz de convencer al usuario de que su razonamiento es correcto.

- **Sistemas tutoriales inteligentes.** Este sistema debido a que se caracterizan por mostrar un comportamiento adaptativo, es decir, adapta el tratamiento educativo en función de aquello que se desea aprender y del rendimiento del aprendiz, no se pueden clasificar solo en una de las dos grandes categorías de los MECs. La idea fundamental de un sistema tutorial inteligente es ajustar la estrategia de enseñanza-aprendizaje, el contenido y la forma de lo que se aprende, a los intereses, expectativas y características del alumno, dentro de las posibilidades que existan en tal área y nivel de conocimiento y múltiples formas que este se puede presentar y obtener.

Para hacer posible esto, además de los componentes típicos de un sistema experto, posee un modelo del estudiante, en el cual se plasman tanto los

Conocimientos, habilidades y destrezas que el aprendiz demuestra tener, como la información sobre sus actitudes y aptitudes. También hay un módulo de interfaz, capaz de ofrecer distintos tipos de ambientes de aprendizaje de interfases adaptativas a partir de los cuales se puede llegar al conocimiento buscado. Finalmente, a partir del análisis de lo que sabe el alumno frente a lo que debería saber, de la información sobre sus características como aprendiz y su desempeño frente a las distintas formas y tácticas didácticas, que se pueden aplicar para promover el logro del aprendizaje que se desea alcanzar.

1.2.1.3 Incorporación de un mec en el currículo. El aprovechamiento de un MEC depende de su cuidadosa selección frente a las necesidades educativas, de su calidad y del manejo de aprendizaje apoyado con computador que haga el educador. Se deben tener otros cuidados como por ejemplo, asegurar las condiciones necesarias para la utilización del MEC: suficientes equipos con Disponibilidad de uso para que los alumnos puedan aprovechar el material, que el MEC sea compatible con el equipo disponible; alfabetización previa en la utilización del computador para los profesores y alumnos que van a utilizar el material.

Es importante analizar con los profesores del área de contenidos en que forma y momento conviene utilizar un MEC. La necesidad que dio origen al mismo Señala el para que, mientras que el material que se seleccione o prepare circunscribe el cómo, pero no lo limita. La actividad del alumno con el material debe planearse en forma cuidadosa. Hoy en día muchos MEC dan la posibilidad de editar ejercicios, definiendo cada quien el punto de partida, las metas o cantidad de ejercicios correctos que debe alcanzar por módulos; en fin, dan la posibilidad de administrar parte del proceso. Aun, si el material no da las posibilidades descritas, entonces se hace necesario decidir que material impreso va a acompañar el MEC, que actividades conviene desarrollar, con que grupos de alumnos, en fin, como conviene utilizar el material.

Los alumnos por su parte deben superar el impacto que pueda generar utilizar un medio novedoso, mediante la capacitación computacional que le permita utilizar el MEC y entenderlo. De esta manera cuando se adicione el MEC al currículo, podrá centrarse la atención en el desempeño de las actividades propuestas. Para que los MECs puedan producir un efecto significativo es necesario además, que el currículo este abierto a nuevas ideas y cambios en los medios y medidas de desempeño que utiliza que haya personal capacitado para integrar a las experiencias educacionales la práctica del computador como apoyo al proceso enseñanza-aprendizaje y además, se requiere que haya criterio y personal calificado para seleccionar, adecuar y desarrollar MECs que respondan a las principales necesidades educativas. Así, para aprovechar el potencial educativo de un computador se hace necesario el entrenamiento de personal, la apertura curricular y organizacional para preparar la incorporación de computadores al proceso enseñanza-aprendizaje.

1.3 El computador como herramienta de trabajo

En los casos estudiados mencionados anteriormente la computación y la educación han tenido una estrecha relación respecto al fenómeno de aprendizaje. Esta sección es más operativa, ligada a aspectos que apoyan el proceso central en educación, que van de la mano de este pero que no son ni enseñar ni aprender con computador. Existe un tipo de programas conocidos como herramientas de productividad que simplemente son programas dirigidos a facilitar un aumento en la productividad de las personas. Las más usuales son las descritas a continuación.

- **Procesadores de texto.** Estos han permitido un cambio en la elaboración de materiales y trabajos escritos. Bien usado un procesador de texto, permite estructurar aquello que se desea escribir, desarrollar las ideas verbal y gráficamente, producir versiones de prueba, depurar las ideas y su presentación.

- **Procesadores gráficos.** Han ayudado a que nuestra grafica se amplifique, los hay de índole artística, pero también de naturaleza geométrica; ponen a disposición múltiple funciones para elaborar figuras, efectos, letras, destacados con o sin color. Desde la perspectiva educativa los procesadores gráficos están llamados a desarrollar una función expresiva que se ha visto disminuida por falta de práctica y facilidades para hacerla crecer.
- **Procesadores numéricos.** Un procesador numérico puede ser valioso para realizar actividades como realización de cálculos, la graficación de datos o resultados, el contraste entre datos, su ordenamiento entre otras son algunas de las operaciones mas usuales. Dentro de los procesadores numéricos los mas usados son las hojas de cálculo, con ellas es posible simplificar la aplicación de funciones o formulas sobre los datos que nos interesen, también permiten explorar experiencialmente el efecto de variaciones en los datos, o en sus patrones de análisis, sobre los resultados esperados presentados estos en forma numérica o grafica.
- **Procesadores musicales.** Están a disposición ambientes abiertos para crear melodías o efectos sonoros, en los cuales se pueda explorar el efecto de un instrumento de una variación en la nota, de su duración, en el ritmo. Por supuesto que un procesador musical es posible oír aquello que otro compuso, pero también es posible alterarlo para bien o para mal y ver el efecto de la alteración o producir composiciones propias.
- **Manejadores de bases de datos.** Estas son herramientas creadas para almacenar, seleccionar, recuperar y desplegar datos de manera que respondan a nuestras necesidades. Poner a disposición estas herramientas para profesores, estudiantes o empleados hace posible una racionalización grande en el esfuerzo de recolectar, almacenar y transformar datos para la toma de decisiones.

- **Redes de computadores.** Son sistemas integrados de equipos, comunicaciones y programas que permiten la interacción entre computadores distantes, se puede decir que están llamados a jugar un papel importante en el proceso de la educación. El hecho de poner en contacto a las fuentes, con los depósitos y los usuarios de la información de hacer posible el correo electrónico, conferencias electrónicas y otros usos que hace que la comunidad educativa no se limite a las paredes del recinto en el que se encuentre.

1.4 Diseño de la herramienta multimedia

1.4.1 Variables del entorno

1.4.1.1 Población objetivo. La herramienta multimedia para el estudio y diseño de facilidades de superficie ha sido diseñada para estudiantes de ingeniería de petróleos que cursen la asignatura facilidades de superficie, profesores y todas aquellas personas interesadas en el diseño de las facilidades de producción para campos petroleros.

Para que esta herramienta sea de gran utilidad el usuario debe manejar conceptos básicos de asignaturas como métodos de producción, propiedades de los fluidos e ingeniería de yacimientos.

1.4.1.2 Área de contenido. La herramienta multimedia está constituida por 4 capítulos dentro de los cuales se cubre el contenido correspondiente al diseño de los equipos de separación usados en campos petroleros.

1.4.1.3 Necesidad educativa. Con esta herramienta se pretende poner a disposición de los estudiantes la información necesaria para el desarrollo de la asignatura facilidades de superficie en una forma clara, sencilla e interactiva para apoyar el proceso de enseñanza-aprendizaje de la asignatura facilidades de superficie.

1.4.2 Variables educativas

1.4.2.1 Objetivos que se pretende alcanzar con el uso de la herramienta.

- Entender los conceptos básicos relacionados al diseño de las facilidades de superficie.
- Facilitar los procesos de enseñanza-aprendizaje en facilidades de superficie para los estudiantes de esta asignatura.

- Facilitar al estudiante la posibilidad de aprender a su propio ritmo, mediante el estudio y la interacción con el contenido en la herramienta.
- Determinar el nivel de aprendizaje adquirido por medio de la solución de ejercicios.

1.4.2.2 Contenido. El contenido que abarca la herramienta es el siguiente:

- Generalidades de recolección y tratamiento de aceite y gas
 - Conocimiento, operación, variables de diseño y estrategias de manejo de los elementos de una estación de recolección y tratamiento.
- Proceso de separación.
 - Clasificación, operación, variables de diseño e identificación de criterios de selección de separadores bifásicos y trifásicos.
 - Evaluación de los problemas operacionales más frecuentes en los separadores.
- Tratamiento de sistemas hidrocarburos.
 - Clasificación, características y causas de la formación de emulsiones
 - Tipos de tratamiento para romperla
 - Tratamiento térmico
 - Tipos de tratadores, diseño y selección de equipos.
 - Tratamiento termoelectroestático diseño y selección del equipo.
- Tanques.
 - Clasificación de los tanques de almacenamiento de crudo.
 - Diseño y selección del equipo.
- Tratamiento del agua producida.
 - Conocer los equipos tratadores de agua, donde se trata el agua producida con el crudo, el agua lluvia y el agua de lavado.

1.4.3 Variables de computación

1.4.3.1 Funciones de apoyo al alumno. La herramienta presenta varias funciones de apoyo para el proceso enseñanza-aprendizaje del alumno, dentro de las cuales se encuentran los gráficos, el hipertexto, la facilidad para acceder el contenido que el alumno requiera, el manejo sencillo de los iconos y la claridad con la cual se exponen los contenidos, son aspectos que permiten mantener la motivación del alumno en el tema seleccionado. Además, existen otras funciones de apoyo para el proceso enseñanza-aprendizaje como son la posibilidad del alumno de controlar el aprendizaje llevándolo a su propio ritmo y la posibilidad de que la función del educador se convierta más en una de acompañamiento y apoyo a la gestión propia del estudiante.

2. Contenido de la herramienta multimedia para el estudio y diseño de facilidades de superficie en la industria de los Hidrocarburos

2.1 Generalidades

2.1.1 Introducción

Como función importante del Ingeniero de petróleos, es de gran relevancia el conocimiento de lo relativo al diseño y especificaciones de todos los elementos involucrados en una facilidad de producción, así como lo relacionado con la parte técnica y operacional de los mismos.

A continuación se muestran los conceptos básicos que involucran cada uno de los procesos u operaciones realizadas en una facilidad de producción, hasta obtener un completo procesamiento de la producción de un campo de petróleo o de gas, además de la metodología requerida para el diseño de los principales equipos de una facilidad de producción.

2.1.2 Definición de una facilidad de producción

- **Facilidad:** Conjunto de sistemas o equipos a través de los cuales se efectúa un proceso. De acuerdo al proceso a llevar a cabo podemos definir: facilidades de producción, de transporte, de perforación, de petroquímica, etc.
- **Facilidad de Producción:** Conjunto de equipos mediante los cuales se lleva a cabo la separación de las tres o de dos fases de un fluido producido en un campo petrolero o de gas, además de implementar el tratamiento de cada una de las fases para poderlas comercializar o disponerlas sin alterar el equilibrio del medio ambiente.

Otras denominaciones:

- Modulo de producción.
- Bateria de producción.
- Estación de producción.
- Central de procesamiento.

2.1.3 Importancia de un diseño eficiente

Es necesario planear la transferencia de un caudal óptimo de producción desde la formación productora hasta los tanques de almacenamiento en superficie. Con el fin de lograr este propósito se debe disponer de diseños eficientes, integrales e integrados, empezando desde el diseño del hueco a perforar, la sarta de revestimiento, el completamiento, la sarta de producción, la línea de flujo y los elementos o equipos mediante los cuales se realiza el procesamiento de la producción que proviene del yacimiento. Si uno de estos diseños falla o es deficiente, la producción obtenida y procesada en superficie se vería seriamente afectada.

A continuación se muestra como ejemplo un esquema de pérdidas o caídas de presión, las cuales generan un efecto negativo sobre la producción de pozo.

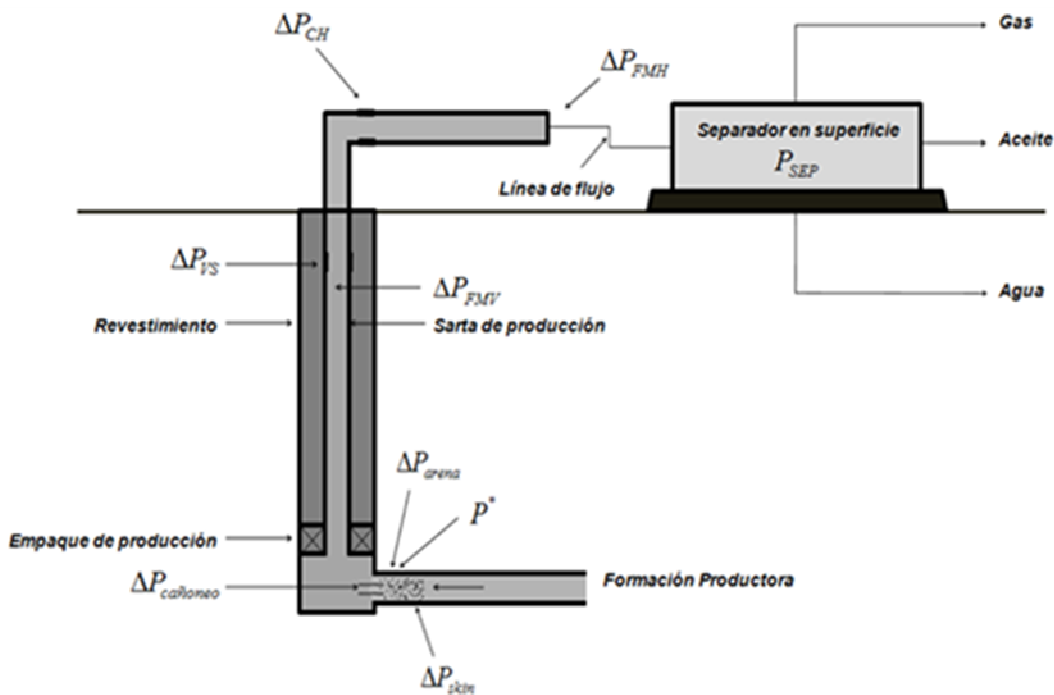


Figura 1. Esquema de pérdidas de presión

El parámetro de diseño más importante a definir se relaciona con las caídas de presión que sufre el sistema a través de los diferentes elementos de transferencia, desde la formación hasta el separador. Cada una de estas caídas de presión constituye una contrapresión a la presión de la formación o del Yacimiento. A mayor nivel de caídas de presión se tenga en el sistema, menos será la producción obtenida en superficie.

Luego, se tiene que tener en cuenta las siguientes caídas de presión en el sistema **formación- separador**:

ΔP_{arena} = Caída de presión a través de la zona de interés.

$\Delta P_{cañoneo}$ = Caída de presión debida al proceso de cañoneo en el pozo.

ΔP_{skin} = Caída de presión debida al daño presente en la formación (si lo hay).

ΔP_{FMV} = Caída de presión a través de la sarta de producción en flujo multifásico vertical

ΔP_{VS} = Caída de presión a través de la válvula de seguridad en subsuelo.

ΔP_{CH} = Caída de presión a través del choque.

ΔP_{FMH} = Caída de presión a través de la línea de flujo en flujo multifásico horizontal.

P_{SEP} = Presión de operación del separador.

Si se dan como ejemplo algunos valores de pérdidas de presión para el esquema presentado con anterioridad, la tabla a continuación algunos valores característicos.

Caidas de Presión		
Caidas de presión [psi]	Caso I	Caso II (problemas en el pozo)
$\Delta P_{arena} + \Delta P_{cañoneo}$	100	300
ΔP_{skin}	100	100
ΔP_{FMV}	1500	1800
ΔP_{VS}	5	5
ΔP_{CH}	500	500
ΔP_{FMH}	100	300
P_{SEP}	100	300
ΔP_{total}	2505	3305

Tabla 1. Caidas de presión

Producción en el pozo = 1500 BFPD (condiciones normales).

Presión del Yacimiento = 4000 psi.

Si se desea conocer cuál es el caudal de producción bajo las condiciones de varios diseños deficientes es necesario emplear la ecuación del índice de productividad:

$$IP = \frac{Q}{P^* - P_{WF}}$$

Donde:

IP = Índice de productividad. $[bbls/psi]$

Q = Caudal del fluido. $(Agua + Aceite)$

P^* = Presión del Yacimiento. $[psi]$

P_{WF} = Presión de flujo. Equivalente a todas las caídas de presión del sistema. $[psi]$

Caso I (normal):

$$IP = \frac{1500}{4000 - 2505} = 1.0 \text{ BFPD} / \text{psi}$$

Caso II (con altos delta P):

El índice de productividad no varía, ya que las condiciones del Yacimiento no cambian; entonces el caudal de producción para el segundo caso será:

$$Q_2 = IP * (P^* - P_{WF}) \rightarrow Q_2 = (1.0)(4000 - 3305) = 695 [BFPD]$$

Conclusión: A causa del diseño deficiente en varios elementos del sistema pierden 805 $[BFPD]$ (1500-695), lo cual equivale a perder el 54% de la producción del pozo.

Las anteriores caídas de presión son características de un pozo con flujo natural, si para el pozo es necesaria la estimulación con bombeo artificial las condiciones de caídas de presión son completamente diferentes.

2.1.4 Diagrama de una facilidad de producción

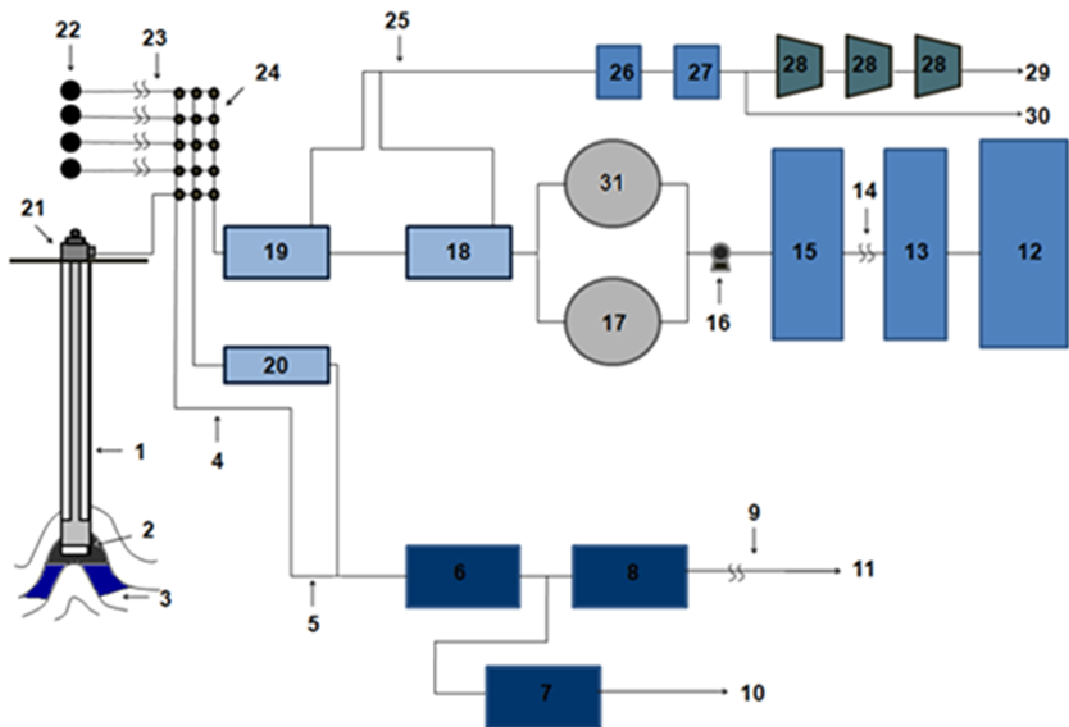


Figura 2. esquema de una facilidad de producción

✓ Elementos de una facilidad de producción

1. Pozo productor de hidrocarburos.
2. Zona productora de aceite.
3. Agua presente en la zona de interés.
4. Línea de transferencia.
5. Línea de agua.
6. Tratamiento primario de agua residual.
7. Tratamiento de agua para inyección.
8. Tratamiento secundario de agua residual.
9. Línea de agua tratada.
10. Agua para reinyección.
11. Ríos para disponer el agua tratada.
12. Refinería.
13. Terminal del oleoducto.
14. Oleoducto.
15. Estación principal del oleoducto.
16. Bomba de transferencia

17. *Tanque de almacenamiento de crudo.*
18. *Tratador térmico.*
19. *Separador de producción general.*
20. *Separador de prueba.*
21. *Árbol de navidad.*
22. *Pozos productores de aceite.*
23. *Líneas de flujo.*
24. *Múltiple de producción.*
25. *Línea de gas.*
26. *Deshidratador.*
27. *Tratador de gas ácido.*
28. *Compresor.*
29. *Gas de alta presión.*
30. *Gas de baja presión.*
31. *Gun Barrel (tanque de lavado)*

✓ **Operaciones y procesos realizados en una facilidad de producción**

1. *Centralizar la producción de los pozos.*
2. *Separación Gas/Líquido.*
3. *Tratamiento del crudo: químico, térmico y químico/térmico.*
4. *Lavado del crudo.*
5. *Prueba de pozos.*
6. *Inyección de rompedor de emulsión.*
7. *Inyección del antiespumante.*
8. *Inyección del inhibidor de corrosión.*
9. *Almacenamiento del crudo.*
10. *Fiscalización de la producción.*
11. *Transferencia de la producción al oleoducto.*
12. *Tratamiento del agua de producción: primario, secundario; o para reinyección.*
13. *Deshidratación del gas húmedo.*
14. *Tratamiento del gas ácido.*
15. *Compresión del gas.*
16. *Control sistema de instrumentación.*
17. *Control de operación de todos los equipos referente a caudales, presiones, temperaturas y niveles.*
18. *Análisis de crudo y de agua.*
19. *Operación de sistemas de seguridad.*
20. *Operación de sistemas contra incendio.*
21. *Control del sistema ambiental.*
22. *Desalinización del crudo.*
23. *Control del sistema de telecomunicaciones.*

2.1.5 Tipos de facilidades de producción

Es posible clasificar las facilidades de producción de la siguiente manera:

- **Según su localización:**

- **En tierra (On - shore):** Se necesita disponer de espacio suficiente para instalar equipos convencionales y de construir elementos de tratamientos amplios, ventajas que al final se reflejan en beneficios económicos.
- **Plataforma (Off – Shore):** Los espacios a disposición son muy reducidos, factor que limita la instalación de equipos convencionales, por lo cual se hace necesario adquirir equipos especiales, de alta tecnología, además de la necesidad de construir la plataforma. Estos factores hacen que los costos de inversión sean altos.

- **Según su sistema de operación:**

- **Automatizado:** Casi todos los sistemas están provistos con sistemas automáticos de medición, operación y control.
- **Manual:** En este tipo de facilidad, los parámetros operacionales de medición y control son de carácter manual, para lo cual se dispone de operadores quienes realizan estas actividades.
- **Semiautomático:** Es una combinación de los dos anteriores.

- **Según las características del fluido:**

- **Crudo pesado:** Requiere de equipos y tecnología especializada, comparando con lo requerido en un sistema para crudo liviano. Generalmente dispone de tratadores térmicos electrostáticos, además de generadores de vapor para la estimulación de la producción. En algunos casos es necesario adaptar a los separadores gas- líquido un sistema de calentamiento con el fin de poder efectuar el tratamiento adecuado.
- **Crudo liviano:** El tratamiento delo crudo liviano es mucho más fácil que el requerido para el crudo pesado, por lo que el requerimiento tecnológico es menor. En la mayoría de los casos no se requiere unidad de tratamiento térmico. De lamisca manera, el tratamiento desagua residual se facilita y se puede obtener un buen tratamiento con el mínimos de tecnología aplicada a ala facilidad.

- **Crudo intermedio:** Es una combinación de los dos casos anteriores; es necesario realizar pruebas de laboratorio, como las efectuadas para el crudo pesado para determinar los equipos y tecnología requeridos.

- **Según las características de presión:**

Si la presión de los pozos en superficie es alta, la mayor parte de los elementos de tratamiento, de control, y de medición de la producción, se caracterizan por trabajar con alta presión. En caso contrario, si la presión en superficie es baja, todos los elementos requeridos serán de baja presión.

- **Según el método de producción:**

- **Flujo Natural:** Utiliza el sistema de procesamiento convencional, ya que los pozos que fluyen generalmente son de crudo liviano.
- **Bombeo Mecánico:** Requiere el sistema de procesamiento convencional o también puede requerir de equipos y tecnología especializada, ya que este sistema de bombeo artificial se aplica para crudos livianos y pesados.
- **Bombeo Neumático:** Requiere de un sistema de compresión de gas, adicional al sistema convencional de tratamiento. También puede manejar crudos livianos o crudos pesados.
- **Bombeo Hidráulico:** Requiere de tanques artificiales para limpieza y almacenamiento del flujo motriz, además de bombas de alta presión y de un múltiple de distribución al los pozos, también de alta presión.
- **Bombeo Electrosumergible:** Requiere de un sistema de suministro de energía eléctrica de alta capacidad (planta eléctrica), que por requerimientos de seguridad se puede instalar en la misma facilidad de producción.

2.1.6 Control del proceso y sus variables

Para todas las operaciones llevadas a cabo en un campo petrolero, es necesario realizar el control del proceso correspondiente a cada una de sus etapas.

El control del proceso involucra cuatro parámetros o variables importantes que están pendientes en casi todos los equipos y elementos de una facilidad de producción, los cuales son:

- **Presión.**
- **Temperatura.**
- **Nivel de fluido.**
- **Caudal.**

Generalmente, el control de las diferentes operaciones realizadas en los equipos del proceso se efectúa mediante un elemento controlador, un elemento trasmisor de señal y una válvula de control.

- **Control de Presión:**

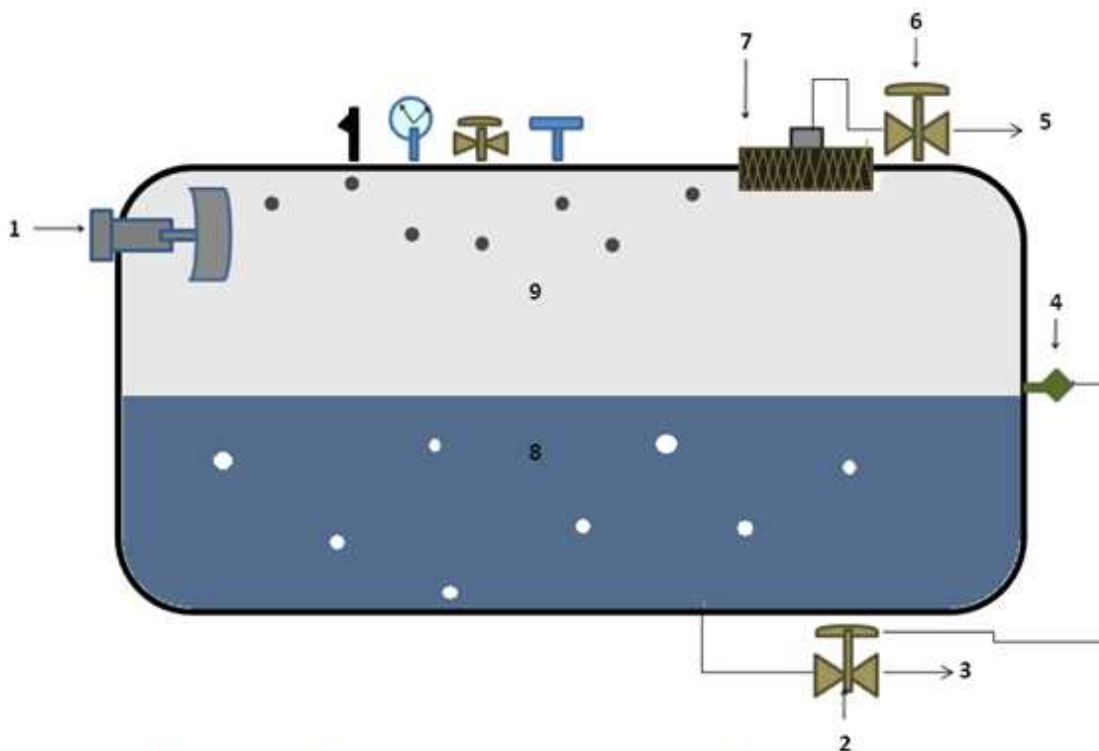


Figura 3. Control de presión en un sistema de separación

Donde:

1. *Entrada del caudal.*
2. *Válvula de control de nivel.*
3. *Descarga de líquido.*
4. *Controlador de nivel.*
5. *Descarga de gas.*
6. *Válvula de control de presión.*
7. *Extractor de niebla.*

8. *Líquido separado.*
9. *Gas separado.*

Debido a que la producción de un pozo petrolero o de gas es una mezcla de multicomponentes (C1, C2, C3....) de hidrocarburos, a medida que se sucede una caída de presión en el recipiente, el gas es liberado y separado del líquido. Este gas se va acumulando en la zona o volumen de equipo que está destinado para la acumulación de gas. Debido a la presencia de más y más cantidad de gas, la presión dentro del recipiente se aumentaría hasta niveles muy altos si no se efectúa una descarga controlada del gas, para mantener una presión controlada en recipiente.

El controlador de presión capta o recibe la presión y mediante un sensor envía una señal a la válvula de control, encargada de regular la descarga de gas y así mantener la presión constante dentro del recipiente, llamada presión de operación de un equipo determinado.

Cuando la cantidad de gas producida en un campo petrolero es muy pequeña, en el caso de pozos de muy bajo GOR, es necesario adicionar gas al sistema o equipo respectivo para mantener la presión de operación de este equipo (“Make- up”, “blanket gas”) y así poder descargar el líquido que se está manejando.

- ***Control de nivel:***

La mayor parte de los equipos involucrados en las operaciones de separación gas/líquido, tratamiento de crudo, almacenamiento, tratamiento de aguas residuales, tratamiento de gas, etc. Opera a un determinado nivel, el cual debe ser controlado para que permanezca constante. Este control se realiza mediante un controlador de nivel, un sensor o transmisor de señal y una válvula de descarga.

En el momento en el que el nivel empieza a sobrepasar el ajuste correspondiente (alto), el sensor envía una señal a la válvula de descarga esta abre un poco más y permite la salida del líquido del recipiente hasta llegar al nivel de ajuste. En la misma forma, si el nivel está por debajo de límite inferior, el sensor envía una señal a la válvula de descarga, la cual, automáticamente activa su cierre parcial hasta alcanzar el nivel deseado. Este ciclo se repite constantemente a medida que suceden variaciones en el caudal de entrada.

- ***Control de la temperatura:***

El control de la temperatura en los equipos es de gran importancia, especialmente en aquellos que requieren adición de calor para el respectivo tratamiento u operación, tal como sucede con los tratadores térmicos, generadores de vapor, intercambiadores de calor, etc. En este caso, la

Temperatura se controla mediante el control regulado del combustible que genera el calentamiento. Existe o se dispone de un elemento sensor de temperatura el cual envía la señal correspondiente a la válvula de suministro de combustible para su regulación, de tal forma que solamente suministre el caudal de combustible para combustión que es requerido para mantener un determinado nivel de temperatura de tratamiento.

- **Control del caudal:**

El control del caudal producido por un determinado pozo o grupo de pozos de un campo generalmente se efectúa en cabeza de pozo, o a veces en el múltiple de producción, a la entrada de la batería.

Algunas veces es necesario distribuir el caudal total producido en dos o más recipientes, para lo cual se utilizan válvulas reguladoras de caudal, las cuales se calibran y ajustan para permitir y mantener el paso de un determinado caudal de producción. Se instalan en la entrada de los equipos correspondientes.

Como ejemplo el caso de la producción de crudo emulsionado obtenido en un separador y que se requiere distribuirla en dos tratadores térmicos mostrado a continuación:

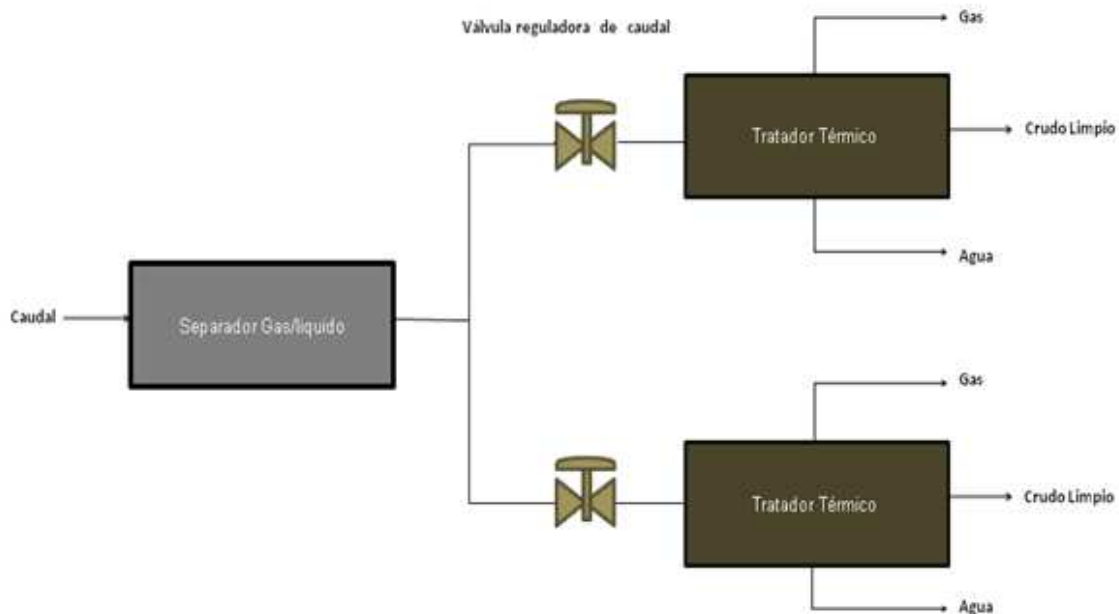


Figura 4. Distribución del caudal en dos sistemas de tratamiento

Si se desea profundizar más acerca de los siguientes temas:

- **Localización y número de baterías de producción.**
- **Líneas de flujo de los pozos productores.**
- **Múltiple de producción.**
- **Dimensionamiento de múltiples de producción.**

Visitar la “herramienta multimedia para el estudio y diseño de facilidades de superficie en la industria de los Hidrocarburos”.

2.2 Secciones de un separador

2.2.1 Partes internas de un separador

- **Desviador de flujo:**

Consiste en un dispositivo que se instala a la entrada del separador, de esta manera se convierte en el elemento principal de la sección de separación primaria.

Existen varios tipos de desviador de flujo pero los que se emplean más comúnmente son los siguientes:

- **Platina desviadora de flujo:**

La forma de esta platina puede ser de forma de disco esférico, plana (*tangencial baffle*), cónica (*diverter baffle*), de ángulo o de cualquier otro tipo que genere un cambio rápido en la velocidad y dirección de los fluidos

El desviador de flujo de disco esférico o cónico al usar media circunferencia es más ventajoso ya que genera menos turbulencia que las platinas planas o el tipo ángulo, disminuyendo las posibilidades de problemas de emulsificación o reincorporación de agua en la fase gaseosa.

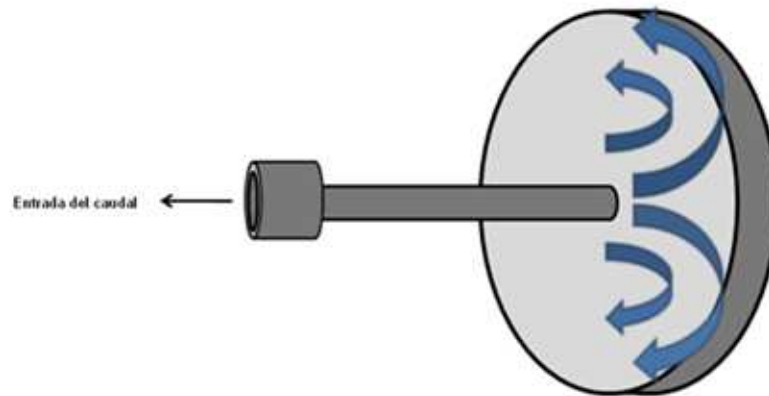


Figura 5. Platina desviadora de flujo

- **Desviador tipo ciclón o centrifugo**

Este tipo de desviador emplea la fuerza centrífuga para la separación del gas/líquido. El diámetro de la boquilla de entrada debe ser diseñado para crear una velocidad de entrada de aproximadamente $20[\text{ft}/\text{s}]$ alrededor de un disco interior cuyo diámetro no debe ser mayor de $2/3$ del diámetro del recipiente. Los desviadores centrífugos son de buen comportamiento en la separación inicial de gas y ayudan a prevenir que en el crudo se originen pequeñas espumas.

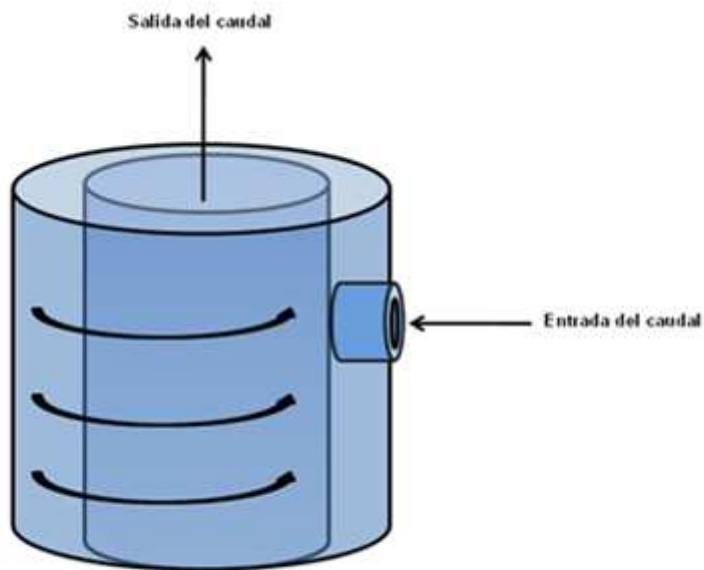


Figura 6. Esquema de un desviador tipo ciclón o centrífugo

- **Platinas antiespumantes:**

La espuma en la interface puede ocurrir cuando las burbujas de gas son liberadas del líquido. Generalmente la espuma presente en un caudal de producción de crudo es tratada mediante la adición de un producto químico en la línea de entrada; muchas veces una solución efectiva se logra mediante la instalación de una serie de platinas paralelas inclinadas, con las cuales se ayuda al rompimiento de las burbujas de espuma. Se instalan en la interface gas/líquido del separador correspondiente. Estas platinas no son recomendables cuando se presentan problemas de parafina o de producción de arena, ya que estos elementos tienden a taponar este sistema instalado en el separador.

- **Extractor de niebla:**

Estos dispositivos se instalan en la descarga de gas del correspondiente separador y se constituyen en el elemento principal de la sección de coalescencia.

La efectividad del extractor de niebla depende de la velocidad de la corriente de gas: si es muy alta, se genera turbulencia y se origina reincorporación de gotas de líquido a la fase gaseosa. Si la velocidad es muy baja, las pequeñas gotas de líquido se agrupan en las platinas y coalescen con facilidad. Los más usados y conocidos son:

- **Paquetes de malla.**

La altura o espesor del extractor tipo malla esta generalmente entre 3 y 7 pulgadas y su densidad entre 10 y 12 [Lb/ft].

Una unidad tipo malla adecuadamente diseñada logra remover el 99% de gotas de liquido con tamaño de 10 [micrones] y mayores. Una limitación del extractor de niebla tipo malla está en que puede llegar al taponamiento más fácil que otros tipos de extractores.

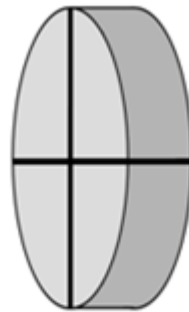


Figura 7. Paquetes de malla.

- **Paquetes de platinas en paralelo.**

En el extractor de niebla de platinas paralelas, el gas es forzado a través de ellas, las cuales tienen cambio direccionales para promover la coalescencia de las gotas de líquido. Estas son diseñadas para asegurar flujo natural y una cierta caída de presión.

2.3 Separadores de prueba.

En un campo petrolero es de suma importancia determinar el potencial de los pozos productores con finalidades económicas principalmente, por otro lado, el conocimiento de este factor es fundamental para el diseño de las facilidades de producción a implementar. Los separadores de prueba se emplean principalmente con la finalidad de evaluar el potencial individual de producción de uno de los pozos pertenecientes al campo petrolero.

El número de separadores de prueba necesario a implementar en una facilidad de producción depende de los siguientes factores:

- Número de pozos en producción.
- Número de pruebas asignadas a cada pozo por mes.
- Número de horas fijadas para cada prueba (tiempo de prueba).

El sistema de separación de prueba para una facilidad de superficie típica, se encuentra interconectado de la siguiente manera:

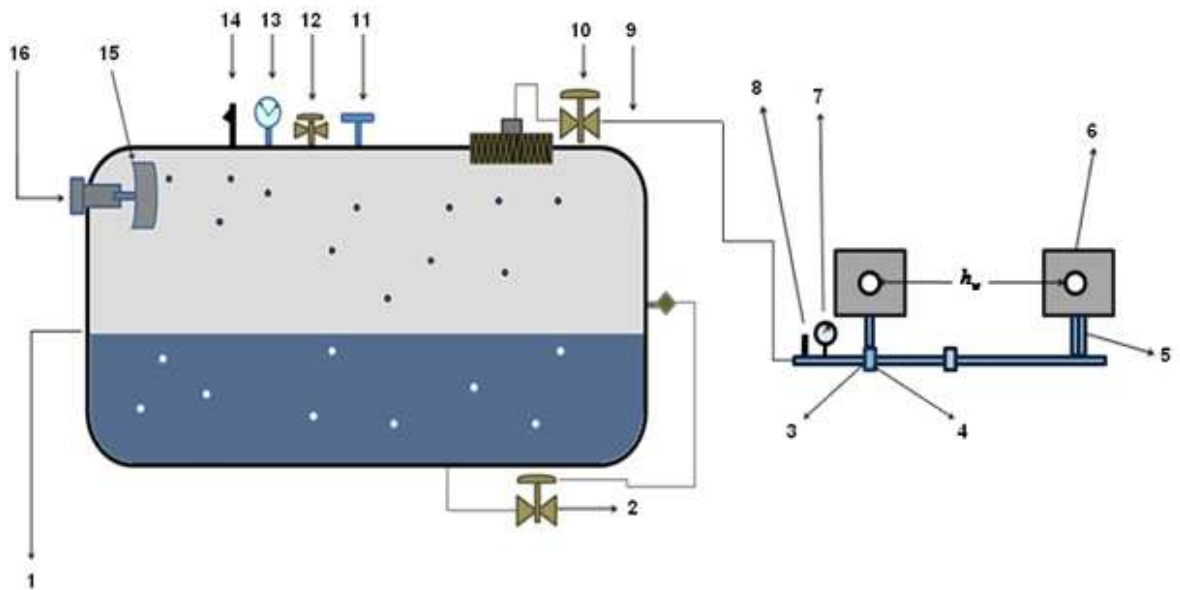


Figura 8. Esquema de un sistema típico de separación de prueba

Donde:

1. Interfase gas/líquido.
2. Descarga de líquido del separador.
3. Platina de orificio.
4. Conexión Flange – Taps.
5. Conexión pipe – Taps.
6. Registrador de presiones.
7. Manómetro.
8. Termómetro.
9. Descarga de gas.
10. Válvula de control de presión.
11. Disco de ruptura.
12. Válvula de alivio.
13. Manómetro.
14. Termómetro.
15. Desviador de flujo.
16. Entrada del caudal.

- **Características de los separadores de prueba**

- Los separadores de prueba pueden ser bifásicos o trifásicos, de acuerdo a las necesidades y características de la producción a tratar.
- Pueden ser de tipo vertical u horizontal, aunque son usados con mayor preferencia los de tipo horizontal debido a su facilidad de transporte, medición y control.
- Es necesario que el separador diseñado responda al máximo potencial individual de los pozos productores, incluyendo un factor de seguridad, el cual puede estar por encima de 3.0.
- Pueden ser de resolución o medición automática, electrónica o manual de los fluidos producidos.

- **Proceso de determinación del líquido producido en un pozo**

Es posible llevar a cabo esta determinación mediante el uso de medidores especiales, tales como: medidor de desplazamiento positivo, medidor de Orificio, medidor de turbina, electrónicos, digitales, etc. De igual manera se puede determinar el potencial de manera manual efectuando la medida por medio de una Cinta metálica, la cual medirá el fluido traído desde el pozo y almacenado dentro de tanques de prueba previamente aforados; para efectuar esta medición de tipo manual se toman medidas del nivel de líquido antes y después de la prueba. Esta prueba se efectúa en un tiempo entre (4-6-8-12 o 24) [horas], con la finalidad de determinar los barriles de fluido por día [BFPD].

La producción de agua es determinada mediante un análisis de BSW, el cual se efectúa en cabeza de pozo; el cálculo de la producción de agua diaria de un pozo se calcula multiplicando la producción del fluido total [BFPD] por el porcentaje o fracción de agua obtenida al evaluar el BSW. Luego:

Calculo de la producción de aceite:

$$BOPD = BFPD(1 - BSW)$$

De igual manera es posible efectuar este cálculo por diferencia de fluidos líquidos:

$$BOPD = BFPD - BWPD$$

- **Proceso de determinación del gas producido por un pozo**

Es posible determinar el caudal de gas que es producido por un pozo de gas o petróleo mediante el uso de medidores de orificio instalados en la línea de gas producido en la descarga del separador. En el registrador de presión del separador se instala una carta que registra la presión estática $[psi]$ y la presión diferencial, en pulgadas de agua $[h_w]$. Además se instala en la línea un manómetro y un termómetro con la finalidad de verificar la presión estática P_s y para registrar la temperatura a la cual se encuentra el caudal de gas que se va a calcular.

- **Parámetros a tener en cuenta para la determinación del gas**

- Diámetro de la línea de gas a la salida del separador.
- Diámetro del orificio instalado en la línea de gas.
- Temperatura del gas en el sitio de medición (preferiblemente en la línea) $[^{\circ}F]$.
- Gravedad específica del gas.
- "Schedule" de la tubería: presión alta, media o baja (Schedule 160,120,80,40,30,20).
- Presión de operación en el separador $[psi]$.
- Información proveniente de la carta registradora:
 - ✓ Presión estática P_s . Esta presión debe ser aproximadamente igual a la registrada en el manómetro presente en la línea de prueba o en el sistema de separación.
 - ✓ Presión diferencial h_w , en pulgadas de agua. Esta presión debe ser equivalente a la lectura promedio ponderado calculado de la carta para el periodo de prueba.
- Es de suma importancia conocer la relación del diámetro de orificio entre el diámetro de la línea de gas, de la siguiente manera:

$$\beta = \frac{d}{D}$$

Donde:

d = Diámetro interno del orificio. [inches]

D = Diámetro interno de la línea. [inches]

Existe un rango de valores para β , para el cual se debe tener en cuenta el tipo de conexión, dado por:

- ✓ Para conexión Flange taps $\rightarrow [0.15 - 0.70]$
- ✓ Para conexión Pipe taps $\rightarrow [0.20 - 0.67]$

o Instalación del orificio:

Este procedimiento requiere de una distancia mínima entre cualquier tipo de interferencia ocasionada por dispositivos tales como: válvulas, codos, tees, reducciones, etc. Las cuales puedan afectar la exactitud de la medición del gas.

Si se desea profundizar más acerca de los siguientes temas:

- **Numero de separadores de producción general requeridos en un sistema de facilidades de superficie.**
- **Problemas más frecuentes de operación en separadores bifásicos y trifásicos.**

Visitar la "herramienta multimedia para el estudio y diseño de facilidades de superficie en la industria de los Hidrocarburos".

2.4 Separadores de dos fases

Los fluidos producidos en cabeza de pozo están constituidos por una mezcla de compleja de compuestos de hidrogeno y carbono, todos con diferentes densidades, presiones de vapor y otras características físicas, A medida que el caudal de pozo fluye desde el yacimiento, donde se encuentran a grandes presiones y temperaturas, este caudal experimenta reducciones liberando y separando. En estas condiciones, la velocidad del gas arrastra las gotas de líquido y éste por su parte arrastra las burbujas de gas.

Cuando el caudal de producción llega al separador primario, es sometido a una caída de presión y allí es donde se completa la separación de las dos fases en consideración Líquido y gas. La separación física de estas dos fases es una de

Las operaciones básicas en la producción, procesamiento y tratamiento de petróleo y gas.

Una de las fases importantes en el tratamiento de hidrocarburos provenientes del yacimiento el diseño apropiado del separador, ya que es la primera unidad de procesamiento en la facilidad de producción y un diseño inadecuado de este componente del proceso conllevaría a tener un “bottleneck” o cuello de botella lo cual puede reducir la capacidad de toda la facilidad. Algunas veces son utilizados un tipo de separadores llamados “Scrubbers” que tienen la capacidad de manejar caudales con alto GOR.

Es necesario tener en cuenta algunos parámetros relacionados con la presión presente en el diseño de un sistema de separación de dos fases, tales como:

- **Presión de llegada del caudal al separador:**

Es igual a la presión de la formación menos la sumatoria de todas las caídas de presión que experimenta el sistema desde el yacimiento hasta el separador (valido para un pozo con flujo natural)

$$P_{LL} = (P^*) - [\Delta P_{Arenas} + \Delta P_{Skin} + \Delta P_{cañoneo} + \Delta P_{FMV} + \Delta P_{VS} + \Delta P_{ch} + \Delta P_{LF}]$$

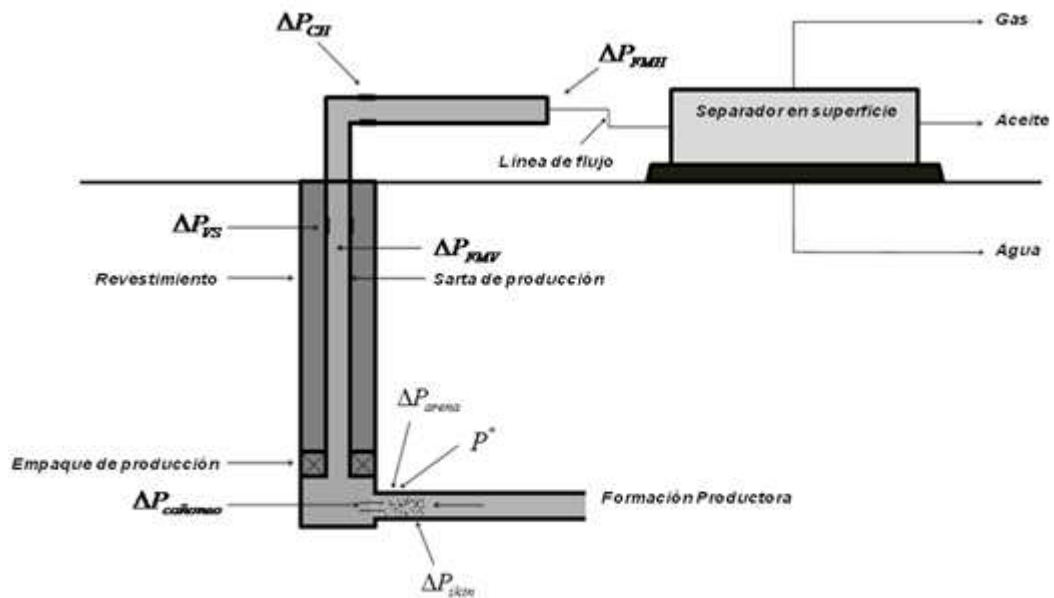


Figura 9. Presión de llegada del caudal al separador

- **Presión inicial de separación:**

Corresponde a la presión inicial de operación del separador, que es igual a la presión de llegada al separador menos una caída de presión en el separador, mediante la cual se efectúa la separación gas/liquido en su primera etapa.

$$P_{isep} = P_{LL} - \Delta P_{sep}$$

$$P_{isep} = (P^*) - [\Delta P_{Arena} + \Delta P_{Skin} + \Delta P_{cañoneo} + \Delta P_{FMV} + \Delta P_{VS} + \Delta P_{ch} + \Delta P_{LF} + \Delta P_{sep}]$$

Donde:

P_{isep} = Presión inicial de separación. [psi]

P^* = Presión del yacimiento. [psi]

ΔP_{Arena} = Caída de presión a través de la arena productora. [psi]

ΔP_{Skin} = Caída de presión por daño en la formación. [psi]

ΔP_{FMV} = Caída de la presión al fluir por tubería de producción en flujo vertical. [psi]

ΔP_{SSV} = Caída de presión en la válvula de subsuelo. [psi]

ΔP_{ch} = Caída de presión en el choque de cabeza de pozo. [psi]

$\Delta P_{LF} = \Delta P_{FMH}$ = Caída de presión en la línea de flujo. [psi]

ΔP_{sep} = Caída de presión en el separador. [psi]

Si tenemos un solo separador y alta presión en el sistema se debe considerar o siguiente:

- Por razones de la composición del fluido, que involucra varios componentes que van desde C_1 hasta C_8 y mas; a mas alta sea la presión inicial de separación, mayor será la cantidad de hidrocarburo liquido obtenido en el separador.
- Si la presión inicial de separación es muy alta, muchos componentes livianos permanecerán en equilibrio con la fase liquida en el separador y luego pasaran a la fase gaseosa cuando lleguen al tanque de almacenamiento, donde existe un rango de presión atmosférica.

- Si la presión de separación es muy baja (alta caída de presión en el separador), un gran porcentaje de livianos pasara directamente a la fase gaseosa en el separador.

Al tener en cuenta dichas consideraciones es de resaltar que conllevan a problemas de separación, ya que teniendo un solo separador, y operándolo ya sea a una presión muy baja o muy alta, se va a obtener perdidas de componentes livianos como fase gaseosa, los cuales pudieran hacer parte de la fase liquida y venderse al precio de la fase liquida (crudo).

Una posible solución al problema anterior puede ser la disminución progresiva de la presión inicial de separación, en el caso en que esta se encuentre en niveles altos. Este hecho se logra mediante el establecimiento De varias etapas de separación, durante las cuales el alto rango de presión inicial se va distribuyendo en cada una de las etapas, hasta llegar a una presión baja de separación.

- **Separación instantánea gas/liquido:**

La cantidad o caudal de hidrocarburo que exista en la fase gaseosa o liquida en cualquier punto del proceso de separación gas – liquido se determina mediante cálculos de separación instantánea o también llamado calculo de fases. Para la presión y temperatura dadas, cada componente de la mezcla de hidrocarburos estará en equilibrio. La fracción molar del componente en la fase gaseosa, dependerá no solamente de la presión y de la temperatura, sino también de la presión parcial de este componente.

2.4.1 Etapas de separación gas líquido

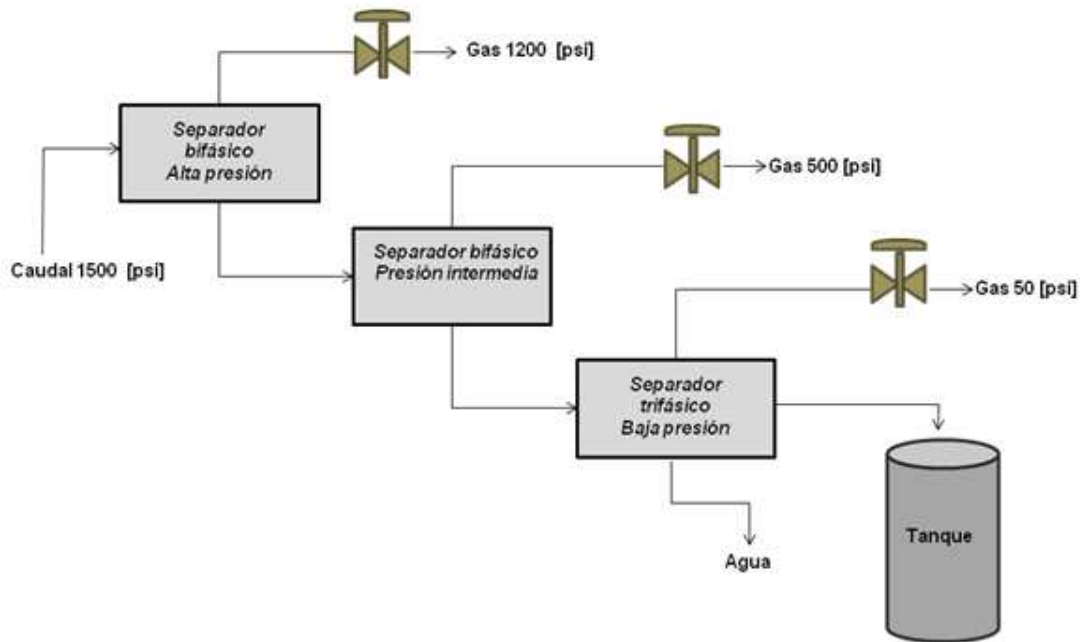


Figura 10. Etapas de separación gas líquido

Teniendo en cuenta la naturaleza de los múltiples componentes del fluido producido, se puede demostrar que a mayor número de etapas de separación, mayor será la cantidad de componentes livianos que permanecen en equilibrio en la fase líquida. El caudal de líquido y el caudal de gas separado en cada una de las etapas pueden ser calculados a partir de la composición de los hidrocarburos en procesamiento, a la temperatura y presión de operación determinadas para cada una de las etapas. Este cálculo puede ser realizado mediante los "cálculos de separación instantánea" o "flash calculations" o cálculo de fases.

- **Limitación del número de etapas de separación**

El proceso de selección del número de etapas requeridas en un proceso de separación gas/líquido, partiendo de alta presión de llegada al separador, se obtiene teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

A más etapas agregadas al proceso, se obtiene menor incremento de producción en cada etapa adicional. Este factor trae como consecuencia una limitación en el número de etapas de separación, ya que entra en juego el factor económico debido al costo del separador adicional, así como de su instalación, operación y mantenimiento el mismo, frente a la disminución

Progresiva de las ganancias de producción líquida por la instalación de un separador adicional.

- **Determinación del número óptimo de etapas:**

De acuerdo a lo descrito con anterioridad se hace necesario determinar un número óptimo de etapas que corresponda a los requerimientos técnicos, operacionales y económicos. Algunos de los parámetros que deben ser tenidos para esta determinación son los siguientes:

- Cálculos de “separación instantánea” para determinar el caudal de líquido y de gas separados en cada una de las etapas.
- Balance económico, basado en la ganancia obtenida por la adición de un nuevo separador versus el valor del equipo a instalar; su debida instalación y costos adicionales de operación y mantenimiento.
- Potencial del Yacimiento.
- Declinación de la presión inicial del Yacimiento.
- Análisis de la contrapresión a la formación, el cual puede generar pérdidas de producción mayores a las ganancias obtenidas por la implementación de etapas de separación adicionales.

<i>Caso</i>	<i>Presión de separación[psi]</i>	<i>Líquido producido</i>	<i>Ganancia[BOPD]</i>
I	1215	8400	No registra
II	1515, 515, 65	8496	96
III	1215, 515, 190, 65	8530	34

Tabla 2. Efecto de las etapas de separación para un caudal rico en condensados

<i>Presión inicial del separador [psi]</i>	<i>Número de etapas</i>
25-125	1
125-300	1-2
300-500	2
500-700	3

Tabla 3. Guía para etapas de separación.

- ***Presión de separación en el separador***

En un sistema de múltiples etapas, la presión de operación es igual a la presión de separación de cada uno de los separadores. En la última etapa, el separador se deberá operar a la mínima presión posible, que seguramente será la mínima presión requerida para transferir la producción del recipiente a otro siguiente para continuar el tratamiento al caudal que se esté procesando. Esta presión mínima de operación puede variar entre [25-50-100] psi, dependiendo de las condiciones tanto del Yacimiento como de la operación del sistema.

2.4.2 Factores que afectan la separación

Las características del crudo y las diversas condiciones iniciales afectan de gran manera el diseño y la operación del separador.

A continuación se indican factores que se deben ser determinados antes de diseñar un separador:

- Razones de flujo de gas y líquido (mínimo, promedio y máximo).
- Presiones y temperaturas de operación.
- Propiedades físicas de los fluidos como la densidad y la compresibilidad.
- Grado de separación que se desee (ejemplo; remover el 100 % de las partículas mayores de 10 micrones).
- Presencia de impurezas como parafinas o arenas.
- Tendencial del crudo a formar espumas.
- Tendencia del líquido o gas a corroer.

Para el proceso de separación bifásica es necesario tener en cuenta algunos aspectos teóricos de gran relevancia para el diseño, tales como:

Si se desea profundizar más acerca de los siguientes temas:

- ***Factores que afectan la separación.***
- ***Tiempo de retención o residencia.***

Visitar la “herramienta multimedia para el estudio y diseño de facilidades de superficie en la industria de los Hidrocarburos”.

2.5 Tipos de separadores de dos fases y sus componentes

Para clasificar los tipos de separadores se tiene en cuenta dos criterios fundamentalmente:

- **Por su operación.**
 - Bifásicos.
 - Trifásicos.
- **Por su configuración.**
 - Horizontales.
 - Verticales.
 - Esféricos.
 - De doble barril.
 - De filtro.

2.5.1 Separadores bifásicos horizontales

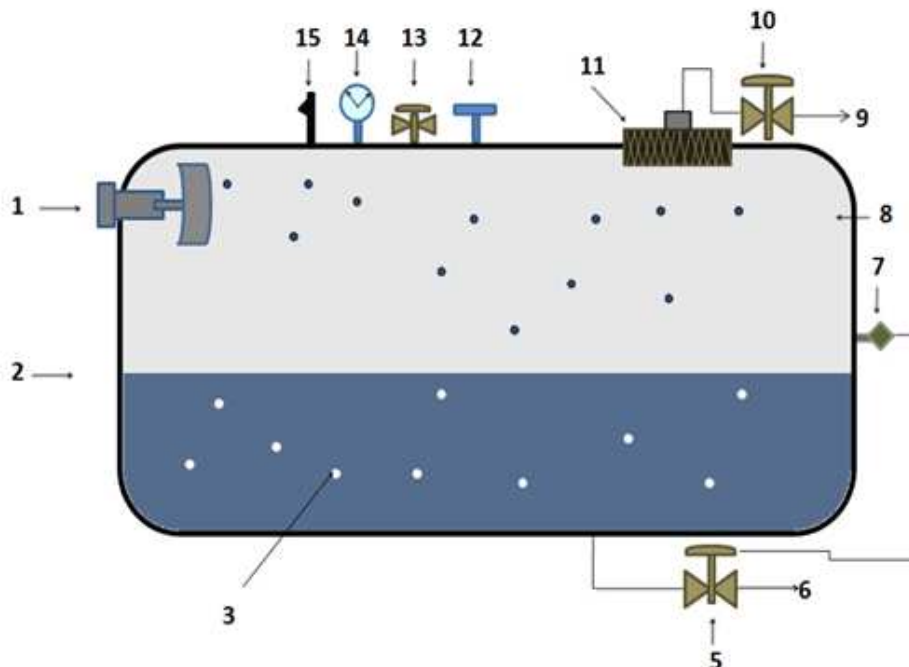


Figura 11. Sistema de separación bifásica horizontal.

1. *Desviador de flujo.*
2. *Interfase gas/líquido.*

3. *Burbujas de gas dentro del líquido.*
 4. *Líquido separado.*
 5. *Válvula de control de nivel.*
 6. *Descarga de líquido.*
 7. *Controlador de nivel.*
 8. *Gas en la sección de separación por asentamiento gravitacional.*
 9. *Descarga de gas.*
 10. *Válvula de control de presión.*
 11. *Extractor de niebla*
 12. *Disco de ruptura.*
 13. *Válvula de alivio.*
 14. *Manómetro.*
 15. *Termómetro.*
- **Secciones del separador bifásico horizontal**
 - I. *Sección de separación primaria.*
 - II. *Sección de separación por asentamiento gravitacional.*
 - III. *Sección de acumulación de líquido.*
 - IV. *Sección de coalescencia.*
 - **Secuencia del proceso de un separador bifásico horizontal**

El caudal que proviene de los pozos entra al separador, choca con el desviador de flujo; cambiando la velocidad y la dirección de flujo llevándose a cabo la separación primaria y casi el total de las dos fases (Gas/Líquido) se separan. Las gotas pequeñas de líquido son arrastradas por el flujo horizontal del gas que llega al extractor de niebla. Durante este recorrido las gotas de líquido pueden vencer la velocidad del gas, precipitándose debido a la fuerza gravitacional o peso de las mismas.

El líquido que es separado tanto en el desviador de flujo como el que es separado en la sección de asentamiento gravitacional se almacena en la sección de acumulación de líquido. Esta sección debe tener la suficiente capacidad para suministrar un tiempo de residencia necesario para que las burbujas de gas que han sido arrastradas por el líquido, puedan liberarse del líquido y formar parte de la fase gaseosa. La sección de acumulación de líquido también debe tener la suficiente capacidad para absorber la turbulencia generada por los baches intermitentes que pueden llegar al separador.

El líquido es descargado a través de la válvula de control de nivel, la cual es regulada mediante el control de nivel. El nivel de líquido en el separador debe ser constante y comúnmente opera al 50% de la capacidad del separador.

Las gotas pequeñas de líquido que no alcanzan a separarse por segregación gravitacional entran al extractor de niebla o sección de coalescencia, donde coalescen, es decir, mediante un mecanismo especial las gotas pequeñas se juntan para formar gotas más grandes y así poder precipitarse y realizar la etapa final de separación Gas/Líquido, para lograr una descarga de gas completamente seco. La presión del separador es mantenida constante mediante la válvula de control de presión.

Si se desea profundizar más acerca de los siguientes temas:

- **Separadores bifásicos verticales.**
- **Separadores esféricos.**
- **Separadores de dos barriles.**
- **Separadores de filtro.**
- **Dispositivos de seguridad en los separadores.**

Visitar la “herramienta multimedia para el estudio y diseño de facilidades de superficie en la industria de los Hidrocarburos”.

2.6 Separadores de tres fases

Conceptualmente, para diseñar un separador de tres fases es necesario tener en cuenta la secuencia básica de diseño empleada en separadores de dos fases.

Es posible observar el comportamiento de una mezcla de cierta concentración de agua – aceite:

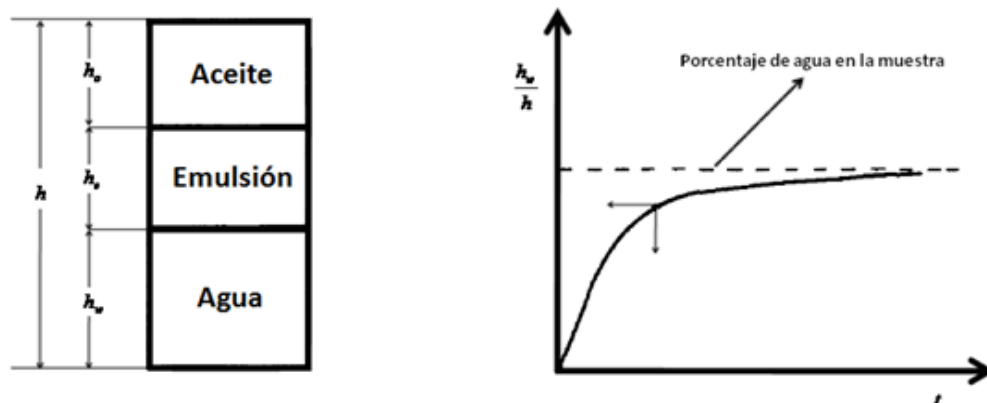


Figura 12. Comportamiento de una mezcla de cierta concentración de agua-aceite

Una vez que la mezcla se deja en reposo, el agua libre comienza un proceso de precipitación hacia el fondo del recipiente, luego el crecimiento inicial de la columna de agua es rápido, tal como lo muestra la curva presentada anteriormente; este crecimiento disminuye después de cierto tiempo, hasta que se hace casi despreciable. Este periodo de tiempo oscila entre 3 y 20 minutos dependiendo de la calidad del crudo, es decir, cuanto más pesado sea el crudo, el tiempo de separación agua – aceite se hace mucho mayor, por el contrario si el crudo es más liviano el tiempo de separación agua – aceite es menor. Es recomendable llevar a cabo un proceso de separación agua - aceite previo al proceso de tratamiento térmico, con esto se prevendría la formación de emulsiones y por el contrario se romperían antes que llegase el crudo a tratamiento, haciendo de esta manera el proceso menos costoso.

Los separadores de tres fases, llamados comúnmente **FWKO** (separadores de agua libre). Se emplean para remover cualquier cantidad de agua libre que esté presente en la producción de uno o más pozos petrolíferos.

2.6.1 Parámetros generales de diseño

Los parámetros de diseño son básicamente los mismos empleados en para el diseño de separadores bifásicos y se adicionan algunos conceptos relacionados con:

- Tasa de asentamiento líquido – líquido.
- Remoción de agua libre presente en la producción. Esta es función de los métodos de control que se empleen para mantener su separación y remoción.
- El recipiente deberá estar diseñado para separar el gas presente en el caudal, así como para separar el agua del aceite.

2.6.2 Separador trifásico convencional horizontal

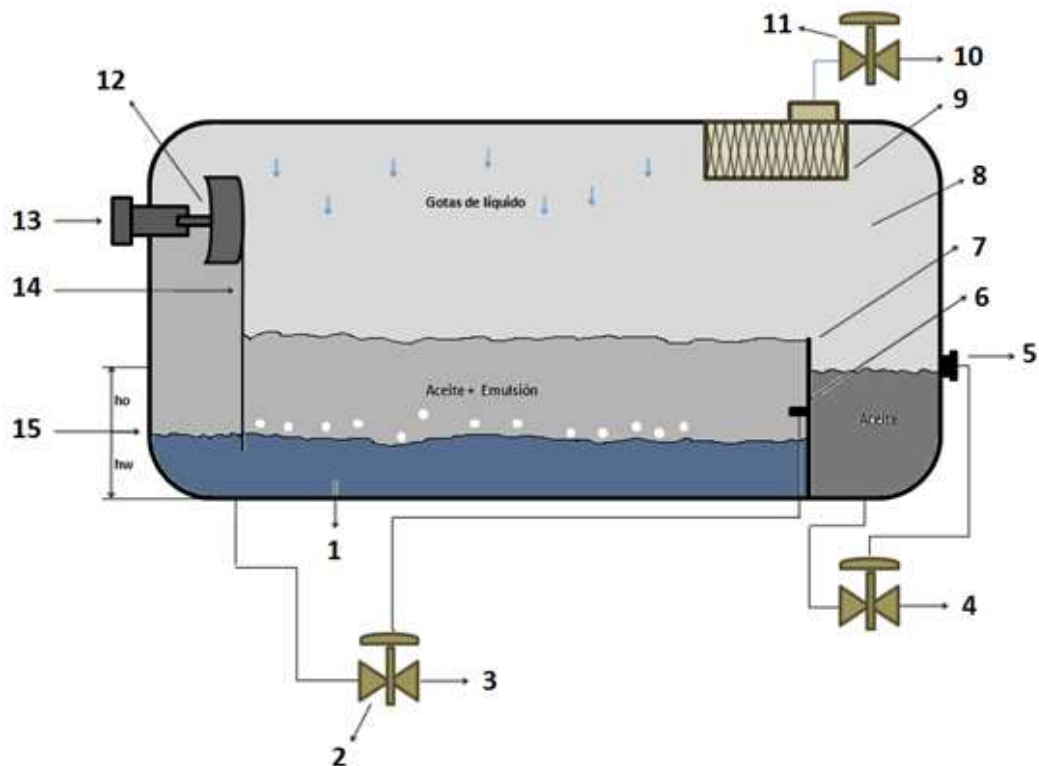


Figura 13. Sistema de separación trifásica horizontal convencional

1. Agua separada.
2. Válvula de control de nivel.
3. Salida de agua del separador.
4. Descarga de aceite del separador.
5. Controlador mecánico de nivel.
6. Control de nivel tipo interfase.
7. Compuerta o vertedero.
8. Gas separado en el sistema.
9. Extractor de niebla.
10. Descarga de gas del sistema.
11. Válvula de control de presión.
12. Desviador de flujo.
13. Entrada de caudal.
14. Bajante.
15. Interfase agua/aceite.

- ***Secuencia del proceso de un separador trifásico convencional horizontal***

- ✓ El caudal de líquido entra al recipiente y choca con el desviador de flujo, donde es producida la separación primaria gas/líquido. El desviador de flujo tiene una configuración especial (bajante) para dirigir aisladamente el líquido separado hasta un poco más debajo de la interfase gas – aceite.
- ✓ La sección de acumulación de líquido del recipiente debe tener suficiente tiempo de residencia para que el aceite y la emulsión formen una capa o colchón de aceite (h_o). El aceite limpio se localiza en la parte superior, mientras que el agua libre se precipita al fondo del recipiente.
- ✓ La compuerta se encarga de mantener el líquido en el recipiente, mientras que el nivel de agua es mantenido por el control de nivel tipo interfase y por la válvula de descarga de agua.
- ✓ El aceite limpio se recolecta en la cámara de aceite, donde es controlado el nivel mediante una válvula convencional mecánica y una válvula de descarga de aceite.
- ✓ El control tipo interfase es el encargado de controlar la interfase aceite/agua, así como el espesor del colchón de aceite (h_o). La válvula de descarga de agua actúa de acuerdo con a señal de control de nivel tipo interfase, permitiendo la salida adecuada de agua, de tal manera que la interfase agua/aceite o colchón de aceite (h_o), se mantenga a la altura de diseño.
- ✓ El flujo de gas es horizontal y dirigido hacia el extractor de niebla, teniendo en cuenta que la válvula de control de presión se activara en el momento que la presión del sistema se acerque a la presión de diseño.
- ✓ Las gotas de líquido que han sido arrastradas por el gas se precipitan en forma perpendicular a al caudal de gas.
- ✓ El nivel de la interfase gas/aceite puede variar desde la mitad del diámetro (50%), hasta el 75% del diámetro del recipiente, dependiendo de la importancia de la separación gas/líquido. La configuración que más

Se emplea para el diseño de separadores trifásicos horizontales es del 50%.

Los separadores trifásicos convencionales tienen instalado controles de interfase los cuales permiten de manera ventajosa ajustar fácilmente las variaciones inesperadas de gravedades específicas o las tasas de flujo. Este tipo de separadores son empleados generalmente para crudos livianos o semilivianos, donde no se presentan problemas de emulsión o parafinas, ya que dichos problemas interfieren en la formación de la interfase agua- aceite.

Si se desea profundizar más acerca de los siguientes temas:

- ***Separador trifásico horizontal de configuración alterna.***
- ***Aplicaciones del separador trifásico horizontal.***
- ***Separación trifásica vertical.***
- ***Secuencia del proceso de separación trifásica***
- ***Sistemas de control en separadores trifásicos verticales***

Visitar la “herramienta multimedia para el estudio y diseño de facilidades de superficie en la industria de los Hidrocarburos”.

2.7 Dimensionamiento de separadores de tres fases

A continuación se mostraran los aspectos teóricos a tener en cuenta para dimensionar separadores trifásicos. Algunos de estos conceptos tienen una alta similitud con los empleados en el diseño de separadores bifásicos. Las ecuaciones y procedimientos de diseño que se mostraran son una guía para el diseño eficiente de sistemas de separación trifásicos; es importante tener en cuenta que el diseño definitivo deberá considerar la experiencia de campo y el comportamiento de cada campo en particular, el cual varía individualmente, de igual manera se recomienda hacer una buena evaluación que involucre las características de los fluidos producidos, así como las del yacimiento a desarrollar.

- **Separación de gas**

Para un sistema de separación de tres fases se emplean conceptos similares a los empleados en la separación de dos fases, los cuales son igualmente válidos.

- **Asentamiento aceite/agua**

El proceso de asentamiento o separación del agua del aceite o separación del aceite del agua, es de carácter laminar; por esta razón es posible aplicar la ley de **Stokes**. Luego la ecuación para la velocidad de asentamiento estará dada por:

$$V_t = \frac{1.78 * 10^{-6} (\Delta GS)_{w/o} (dm)^2}{\mu}$$

Donde:

V_t = Velocidad de asentamiento [ft/s]

$(\Delta GS)_{w/o}$ = Diferencia de gravedades específicas entre la fase agua y aceite.

(dm) = Diámetro de la gota de agua. [micrones]

μ = Viscosidad de la fase continua. [cp]

- **Tamaño de la gota de agua en el aceite**

Para obtener este tipo de información es necesario recurrir a pruebas de laboratorio, en las cuales se determinara el diámetro más representativo de la fase dispersa "agua" en la fase continua "aceite". Si no se dispone de esta información es posible asumir un diámetro de partícula de agua presente en el colchón de aceite igual a 500 micrones, la cual se precipitara al fondo. Si se asume dicho tamaño de gota de agua es posible que el fluido tratado en el sistema Salga con una baja concentración de agua (menor del 5-10%); dicha emulsión puede ser tratada a menores temperaturas de calentamiento, además de emplear una menor cantidad de desemulsificante. Esto conlleva a obtener una optimización mayor del proceso.

- **Contenido de aceite en el agua.**

La separación de las gotas de aceite de la fase agua es mucho más fácil que la separación de las gotas de agua de la fase aceite, esto debido a que el valor de la viscosidad de la fase continua es diferente en cada caso.

La experiencia de campo demuestra que el contenido de aceite en el agua obtenido de un separador trifásico diseñado para remover agua del aceite, es aproximadamente de unos pocos cientos y $3000\text{mg}/L$. Esta agua residual requiere un tratamiento posterior con la finalidad de remover el contenido de aceite aun presente en ella.

- **Tiempo de retención o residencia**

Siempre es necesario de un cierto tiempo de almacenamiento dentro de un sistema de separación, con el cual se asegura que el aceite logre un equilibrio y el gas que aun se encuentre asociado al aceite pueda liberarse; además, este tiempo de reposo es necesario para que las gotas de agua que se encuentran en el aceite puedan coalescer y precipitarse de acuerdo a la ley de **Stokes**. Es muy común que este tiempo de retención este por el orden de los (3-30)[min], dependiendo de la gravedad *API* del crudo.

De manera similar se requiere de un cierto tiempo de almacenamiento del agua removida y precipitada al fondo del recipiente, lo cual asegura que la mayor parte de las gotas de aceite presentes en el agua residual coalescan y emerjan a la fase aceite. Estos tiempo de residencia deberán ser determinador teniendo en cuenta los máximos caudales de agua y de aceite a ser Manejados en el separador, de igual manera teniendo en cuenta las características del crudo, el cual ese el parámetro más importante.

2.7.1 Dimensionamiento de un separador trifásico horizontal

Es necesario tener en cuenta que se emplearan los conceptos enunciados anteriormente para el diseño de separadores de dos fases.

- **Capacidad del gas**

Ecuación general:

$$dxl_{eff} = \frac{420 * T * Z * Q_g}{P} \left[\frac{\rho_g}{\rho_L - \rho_g} \frac{C_D}{(dm)_w} \right]^{1/2}$$

Donde:

l_{eff} = Longitud efectiva donde ocurre la separación. [ft]

d = Diámetro del recipiente. [pulg]

- Q_g = Caudal de gas. (Millones de pies cúbicos por día) [MMSCFD]
- P = Presión de operación del separador. [psia]
- Z = Factor de compresibilidad del gas.
- ρ_L = Densidad de líquido. [lb/ft³]
- ρ_g = Densidad del gas. [lb/ft³]
- C_D = Coeficiente de arrastre.
- dm = Diámetro de la gota de agua. [micrones]
- T = Temperatura de operación. [°R]

Esta ecuación aplica para un recipiente lleno de líquido al 50%, y separación de gotas de líquido arrastrada por el gas de 100 micrones de tamaño.

- **Ecuación para el tiempo de residencia**

$$d^2 * L_{eff} = 1.42 [(Q_o)(TR_o) + (Q_w)(TR_w)]$$

Donde:

- Q_w = Caudal máximo de agua. [BWPD]
- Q_o = Caudal máximo de aceite. [BOPD]
- TR_w = Tiempo de residencia para el agua. [min]
- TR_o = Tiempo de residencia del aceite. [min]
- d = Diámetro del recipiente. [inches]
- L_{eff} = Longitud efectiva donde ocurre la coalescencia. [ft]

- **Ecuación de asentamiento**

Se establece un máximo espesor del colchón de aceite h_o , debido a que se requiere que las gotas de agua sean capaces de precipitarse y liberarse del colchón; este espesor esta dado por.

$$(h_o)_{max} = \frac{0.00128(TR_o)(\Delta SG)_{w/o}(dm)_w^2}{\mu_o}$$

Donde:

h_o = Espesor del colchón de aceite. [inches]

TR_o = Tiempo de residencia para el colchón de aceite. [min]

$(\Delta SG)_{w/o}$ = Diferencia de gravedades específicas entre el agua y el aceite.

dm_w = Diámetro de la gota de agua presente en el colchón de aceite. [micrones]

μ_o = Viscosidad de la fase continua (aceite). [cp]

- Ecuación particular para $dm_w = 500$ [micrones]

$$(h_o)_{\max} = 320 \frac{(TR_o)(\Delta SG)_{w/o}}{\mu_o}$$

- **Cálculo del diámetro máximo del recipiente**

De acuerdo al tiempo de residencia dado para el agua y el aceite, se establece un diámetro del recipiente máximo de acuerdo a lo siguiente:

1. Calcular $(h_o)_{\max}$ de acuerdo a la ecuación de asentamiento pertinente, según sea el caso.
2. Empleando la información de producción, calcular la fracción de la sección transversal del recipiente ocupado por la fase agua, determinada por la siguiente ecuación:

$$\frac{A_w}{A} = \frac{0.5 * (Q_w)(TR_w)}{(Q_w)(TR_w) + (Q_o)(TR_o)}$$

3. Determinar al coeficiente β de la grafica.
4. Calcular el diámetro máximo

$$d_{\max} = \frac{(h_o)_{\max}}{\beta}$$

5. Para seleccionar las dimensiones adecuadas de nuestro sistema se emplea cualquier combinación de d y $Leff$ que satisfaga los requerimientos de capacidad de gas, tiempo de residencia y de asentamiento, para posteriormente seleccionar el diámetro y longitud del recipiente adecuados.

Si se desea profundizar más acerca de los siguientes temas:

- **Dimensionamiento de un separador trifásico vertical.**
- **Parámetros de diseño de un sistema de separación trifásica.**

Visitar la “herramienta multimedia para el estudio y diseño de facilidades de superficie en la industria de los Hidrocarburos”.

2.8 Emulsiones, clasificación y tratamiento

Claramente se ha explicado el proceso de separación bifásica y trifásica mediante sistemas de separación de superficie, en los cuales la fase gaseosa se separa de la fase líquida para sistemas de separación bifásica y las tres fases se separan en sistemas de tratamiento trifásico, pero frecuentemente se presentan mezclas líquido – líquido (agua + aceite) o emulsiones, aun después del proceso de separación primaria, las cuales se deben tratar de manera especial.

Este tipo de tratamiento se hace con mayor frecuencia cuando se producen crudos pesados y cuando se realiza la producción de cualquier tipo de crudo donde existe la presencia de agentes formadores de emulsiones, ya sean naturales o propios de la formación, sólidos finalmente divididos, o químicos añadidos en el proceso de producción, los cuales generan la aparición de emulsiones.

• **Formación de emulsiones**

Como se había notado anteriormente, una emulsión es una mezcla de dos fluidos inmiscibles, en nuestro caso (agua + aceite), la cual se forma siempre y cuando existan ciertas condiciones:

- ✓ Debe existir dos fluidos mutuamente inmiscibles.
- ✓ Presencia de un agente emulsificante o formador de emulsiones.
- ✓ Es necesario que exista suficiente agitación para dispersar la fase discontinua.

En un campo de producción petrolera es frecuente encontrar estas condiciones para formación de emulsiones debido a:

- ✓ Presencia de agua y aceite provenientes del yacimiento en producción.

- ✓ Agentes emulsificantes naturales provenientes de la formación, tales como: Asfaltenos, resinas, ácidos carboxílicos, fenoles, cresoles. Algunos sólidos finamente divididos provenientes de igual manera de la formación productora: Arena, arcilla, finos de formación, fluidos de perforación y Work-over. Es necesario hacer una previa caracterización del crudo para determinar el tipo de emulsificante presente.
- ✓ La agitación del caudal originada desde la formación productora y luego a través de la tubería de producción, línea de flujo y múltiple de producción.

- **Clasificación de las emulsiones:**

Es posible clasificar las emulsiones de acuerdo a: su grado de estabilidad, según las fases de la emulsión y de acuerdo a la facilidad para romperlas.

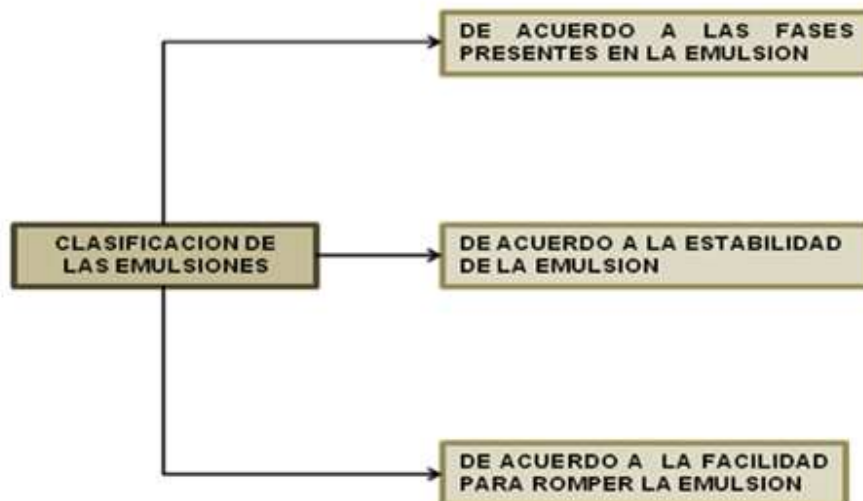


Figura 14. Clasificación general de las emulsiones

- Según las fases de la emulsión o naturaleza de la emulsión



Figura 15. Clasificación según la fase de la emulsión

- Según el grado de estabilidad de la emulsión:

La estabilidad de la emulsión depende de ciertos factores:

- ✓ Agitación, tipo y cantidad de emulsificante presente.
- ✓ Temperatura. Dependiendo de este factor se puede o no disolver la parafina y los asfaltenos.
- ✓ Si la emulsión es tratada inmediatamente después de la agitación, es posible que se presente mayor facilidad para romperla.
- ✓ Se obtendrá una más rápida formación de la emulsión si la velocidad de migración del agente emulsificante hacia la interfase agua/aceite es igualmente rápida.
- ✓ La estabilidad de la emulsión es directamente proporcional al tiempo de formación de la misma, es decir, a mayor tiempo de haber sido formada, será más estable y por consiguiente más difícil de romper.
- ✓ La calidad del crudo es de suma relevancia en la estabilidad de la emulsión; en crudos altamente viscosos es más probable encontrar emulsiones más estables que en crudos con baja viscosidad.

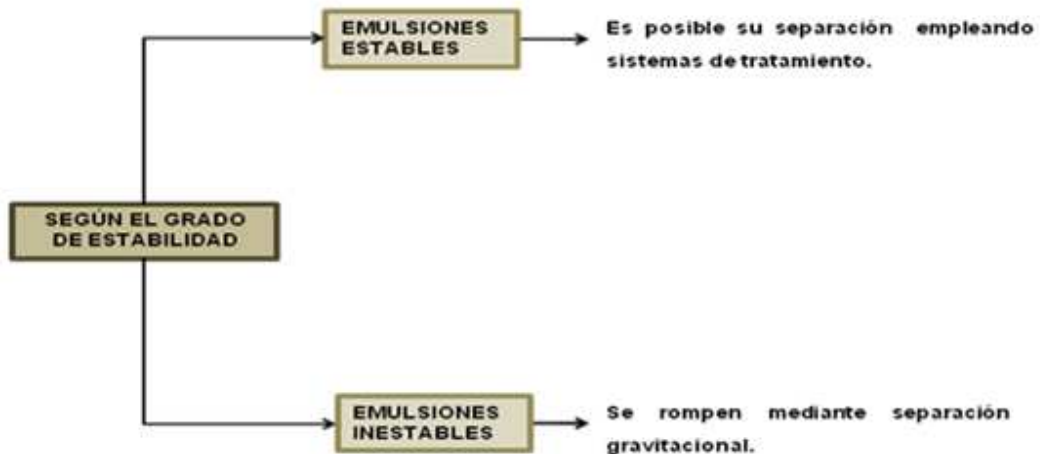


Figura 16. Clasificación de las emulsiones según el grado de estabilidad

- De acuerdo a la facilidad para romper la emulsión

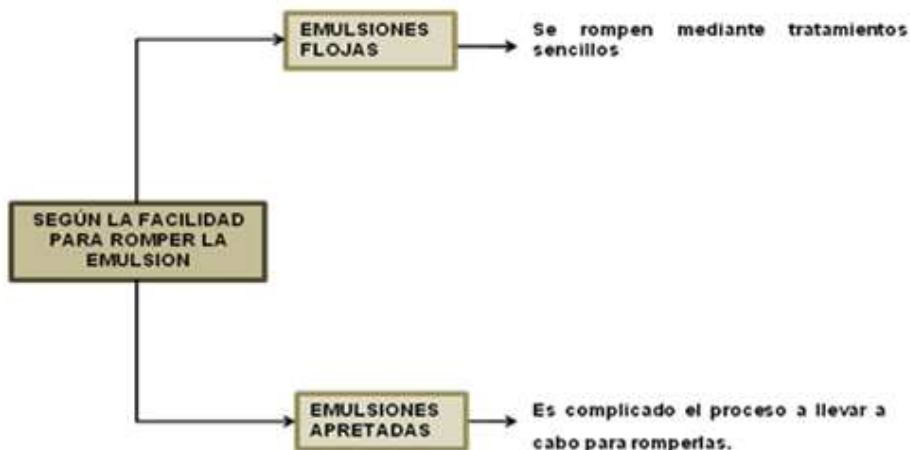


Figura 17. Clasificación de las emulsiones según la facilidad para romperlas

La formación de emulsiones puede atribuirse a diferentes factores, agentes emulsificantes, que generalmente son de tipo natural y tienen un comportamiento de superficie activa, los cuales pueden tener preferencia al agua o al aceite. Un agente emulsificante tiende a ser insoluble a una de las dos fases líquidas presentes y se localizan en la interfase agua/aceite.

Algunas de las propiedades más relevantes de estos agentes emulsificantes son:

- ✓ Reducen la tensión interfacial de la gota de agua, de esta manera la tendencia a formar mas gotas pequeñas es mucho mayor, fenómeno contrario al ocurrido en la coalescencia.
- ✓ Generan una capa viscosa alrededor de la gota de agua impidiendo la coalescencia.
- ✓ Pueden ser moléculas polares alineadas entre sí sobre la gota de agua generando cargas eléctricas, estas se repelen teniendo en cuenta que son cargas eléctricas iguales, impidiendo igualmente la coalescencia.

Si se desea profundizar más acerca de los siguientes temas:

- ***Tratamiento de emulsiones.***

Visitar la “herramienta multimedia para el estudio y diseño de facilidades de superficie en la industria de los Hidrocarburos”.

2.9 Generalidades del tratamiento del crudo

Algunos conceptos previos son necesarios para poder comprender los fenómenos ocurrentes en un proceso de tratamiento de crudo, puesto que a continuación de un proceso de separación primario no necesariamente se implementa un tratamiento adicional, esto depende de algunos factores de calidad y del tipo de crudo a manejar. A continuación se enunciaran y explicaran los aspectos teóricos más relevantes.

- ***Aplicación de la segregación gravitacional en el tratamiento de crudo***

La fuerza gravitacional es un factor involucrado en la mayoría de los dispositivos para tratamiento de crudo, actuando a manera de separar las gotas de agua de la fase continua. Si la fuerza debido al peso de la gota de agua se iguala a la fuerza de arrastre generada por el movimiento de la gota de agua hacia el fondo, la velocidad se torna constante y es posible aplica la ley de **Stokes**:

$$V_t = 1.78 * 10^{-6} \frac{(\Delta SG)_{w/o} (dm)_w^2}{\mu_o}$$

Donde:

V_t = Velocidad de asentamiento de la gota de agua. [fs/s]

dm = Diámetro de la gota de agua. [$micrones$]

μ_o = Viscosidad dinámica de la fase continua (aceite). [cp]

$(\Delta SG)_{\%}$ = Diferencia de gravedades específicas entre el agua y el aceite.

Es posible concluir mediante la ley de **Stokes**:

1. A mayor tamaño de la gota de agua se tiene una mayor velocidad de asentamiento y un menor tiempo de asentamiento, lo que concluye un tratamiento más fácil.
2. Si la diferencia de gravedades específicas es mayor, así será también la velocidad de asentamiento. Como conclusión se podría entender que en crudos Más livianos El tratamiento será más fácil. En caso de tener un crudo de 10 [$^{\circ}API$], no tendríamos una diferencia entre gravedades específicas y como consecuencia la velocidad de asentamiento será cero, luego la separación agua aceite será nula.
3. A medida que aumenta la temperatura, la viscosidad será mayor, así como la velocidad de asentamiento. Lo que traduce una mayor facilidad para el tratamiento del crudo sometido a calentamiento que a bajas temperaturas.

- **Dispersiones de agua en aceite**

Si se asume que el tamaño de la gota de agua es muy pequeño, comparado con el tamaño de la gota coalescida a precipitarse, el tiempo requerido para que se lleve a cabo la coalescencia estará dado por la siguiente ecuación:

$$t = \frac{d^4}{2\phi K_s}$$

Donde:

d = Diámetro de la gota coalescida. [*micrones*]

ϕ = Fracción de volumen de la fase dispersa.

K_s = Constante empírica, depende del sistema.

Analizando la ecuación anterior, es posible concluir que a mayor concentración de la fase dispersa, menor será el tiempo de residencia requerido para el tratamiento, lo que equivale a decir que la coalescencia ocurre de forma más rápida en dispersiones concentradas. Esta es la razón del tratamiento del lavado de aceite efectuado en los Gun – Barrels.

- ***Efecto de la variación de la viscosidad de acuerdo a la gravedad API del crudo***

En caso de tener crudos de (11-30) [$^{\circ}API$] la variación de la viscosidad se hace cada vez más relevante en cuanto a la separación agua/aceite, tanto que en algunos casos se hace necesario la adición de diluyentes (como la nafta) con el fin de disminuir la viscosidad; esto ocurre frecuentemente cuando se tratan crudos pesados y con altos niveles de viscosidad. Caso contrario al ocurrido si se tratan crudos con gravedades [$^{\circ}API$] altas. El uso de diluyentes se restringe a crudos con calidades menores a los 14 [$^{\circ}API$].

- ***Efecto de la temperatura en la viscosidad del crudo***

El efecto de la temperatura en la separación de dos fases presentes en un caudal de producción, es de gran importancia y se emplea con bastante frecuencia causando ciertos efectos:

1. Se alcanza una mayor velocidad de asentamiento al reducir la velocidad, de acuerdo a la ley de **Stokes**.
2. Permite disolver pequeños cristales de parafina y asfalteno, neutralizando de esta forma el efecto del agente emulsificante.

3. Es posible que ocurra liberación de componentes hidrocarburos livianos como consecuencia de suministrar calor, como consecuencia el volumen de aceite se vería disminuido.
4. Al aumentar la temperatura se afectan directamente las gravedades específicas tanto del agua como del aceite.
5. Debido al aumento de temperatura se obtendrá finalmente un crudo más liviano, como consecuencia de la liberación de componentes volátiles; esto genera una disminución gradual en el valor unitario del crudo.
6. Los costos operacionales para el suministro de calor tienden a aumentar gracias al empleo de combustible para generar calor.
7. De manera adicional, es necesario una inversión extra para la adquisición de equipos tratadores y costos de mantenimiento.

- **Tamaño de la gota de agua en el tratamiento térmico**

Siendo el tamaño de la gota uno de los parámetros más importantes para el control y ayuda en el asentamiento de agua, es necesario notar que este término es cuadrático en la ecuación de **Stokes**, lo que significa que un pequeño aumento en el tamaño de la gota de agua refleja un significativo aumento en la velocidad de Asentamiento. De manera empírica es posible determinar el tamaño de la goa de agua, empleando la siguiente ecuación:

$$(dm)_w = 500(\mu_o)^{-0.675}$$

Donde:

$(dm)_w$ = Diámetro de la gota de agua coalescida. A la temperatura del tratamiento.

μ_o = Viscosidad de la fase continua (aceite). [cp]

Si se desea profundizar más acerca de los siguientes temas:

- **Coalescencia electrostática en el tratamiento de crudo.**
- **Suministro de calor en el tratamiento de crudo.**

Visitar la “herramienta multimedia para el estudio y diseño de facilidades de superficie en la industria de los Hidrocarburos”.

2.10 Equipos de tratamiento de crudo

2.10.1 Tratador térmico vertical

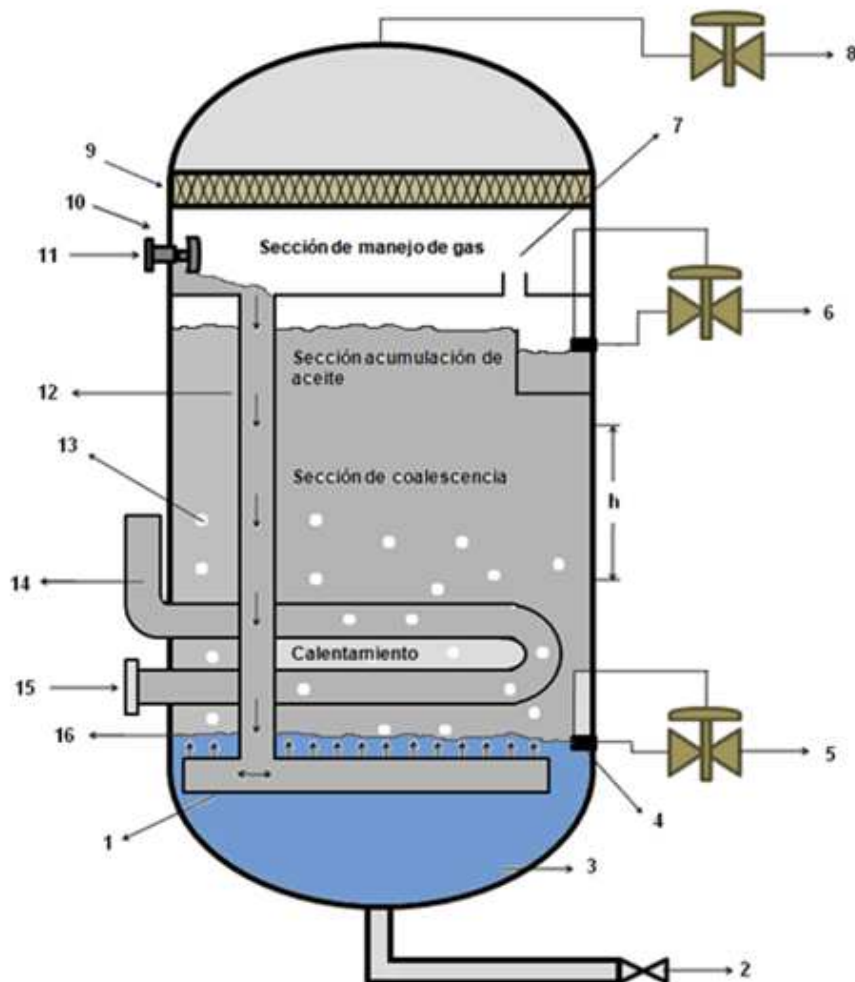


Figura 18. Tratador térmico vertical

Donde:

1. Distribuidor de flujo
2. Drenaje de sólidos.
3. Sección de acumulación de agua dentro del sistema.
4. Controlador de nivel tipo interfase.
5. Descarga de gas.
6. Descarga de aceite.
7. Dispositivo igualador de presiones.
8. Descarga de gas del separador.
9. Extractor de niebla.
10. Desviador de flujo.
11. Entrada de la emulsión al sistema de tratamiento.
12. Bajante.
13. Gotas de agua suspendidas en el aceite.
14. Tubo de fuego.
15. Entrada de combustible, aire, blower.
16. Interfase agua/aceite.

De los equipos empleados para tratamiento de crudo, el tratador térmico vertical es uno de los más sencillos. La secuencia del proceso dentro del sistema de tratamiento es la siguiente:

- I. Inicialmente, el caudal entra por la sección superior lateral a la sección de separación primaria, en la cual mediante el desviador de flujo es separada la mayor parte del gas del líquido. Es de gran importancia tener en cuenta que el tratador tenga la capacidad de operación necesaria para manejar todo el gas asociado al caudal de entrada. Si la producción es proveniente de un separador gas/líquido, lo más seguro es que esta sección será relativamente pequeña, de lo contrario, se espera una sección más grande debido a la alta presencia de gas en el caudal
- II. A continuación, el transporte interno del fluido se efectúa mediante un bajante hacia el distribuidor de flujo, localizado en el fondo del sistema, ubicado por lo general debajo de la interfase agua/aceite. Si la producción recibida por el tratador proviene de un separador de agua libre (FWKO), seguramente esta sección deberá ser pequeña, de lo contrario, se espera tener una sección un poco más grande debido a la alta presencia de agua en el caudal. Esta sección deberá ser diseñada con una capacidad o tiempo de residencia lo suficientemente alto con la finalidad de permitir la recolección y asentamiento de toda el agua, tanto el agua libre como la separada de la emulsión.

- III. El aceite junto con la emulsión ascienden alrededor del tubo de fuego, donde son calentados debidamente hasta romper la emulsión. El caudal continua Avanzando y pasa por la sección de coalescencia, donde el agua proveniente de la emulsión coalesce y se precipita al fondo del recipiente.
- IV. El aceite continua ascendiendo y llega a la cámara de aceite, donde a continuación es descargado por medio de la válvula, la cual se encarga de mantener el nivel de aceite constante. Cuando el aceite se encuentra en este punto del tratamiento, se espera tener un aceite lo suficientemente limpio y libre de agua y sólidos para luego ser enviado a refinería.
- V. Si se obtiene alguna cantidad de gas debido al calentamiento o por liberación de gas asociado al crudo, este gas pasa a través del igualador de presiones y después al extractor de niebla donde es descargado por medio de la válvula controladora de presión
- VI. El nivel de aceite es controlado a través de un mecanismo de control de nivel convencional y una válvula de descarga de aceite o de control de nivel.
- VII. Para controlar la interfase agua/aceite, se dispone de un sistema de control de nivel tipo interfase o mediante una bota de agua externa.

- **Dimensionamiento de tratadores térmicos verticales**

La diferencia de gravedades específicas entre el agua dispersa y el aceite, es de gran relevancia en el proceso de tratamiento térmico de emulsiones. De igual manera, la viscosidad del crudo, la cual es función de la temperatura y la calidad del crudo. $[^{\circ}API]$. Tanto en los tratadores térmicos horizontales como verticales, el flujo es vertical, teniendo en cuenta que la velocidad de las gotas de agua es hacia abajo y debe ser lo suficientemente grande para contrarrestar la velocidad ascendente del aceite. $(V_i = V_o)$.

- **Diámetro del recipiente**

Si se espera construir un tratador térmico vertical con un diámetro bastante grande, se deberá considerar en las ecuaciones un factor de corto circuito. El diámetro del recipiente esta dado por:

$$d = 81.8 \left[\frac{(Q_l)(\mu_o)}{(\Delta SG_{w/o})(dm_w^2)} \right]^{1/2}$$

Donde:

d = Diámetro del recipiente. [*inches*]

Q_l = Caudal de líquido tratado. [*BFPD*] ó [*BOPD + BWPD*]

μ_o = Viscosidad del aceite. [*cp*]

$\Delta SG_{w/o}$ = Diferencia de gravedades entre el agua y el aceite.

dm_w = Diámetro de la gota de agua. [*micrones*]

o Tiempo de residencia

Factor determinante para lograr el rompimiento de la emulsión, puesto que ésta deberá estar sometida a una temperatura determinada durante un tiempo específico. Es posible lograr una estimación del tiempo de retención necesario para romper la emulsión, éste se encuentra en un rango de 20–30[*min*], dependiendo de las características de la emulsión y la calidad del crudo [*° API*]

La ecuación que permite determinar el tiempo de residencia en un tratador térmico vertical es la siguiente:

$$d^2 * h = \frac{(Q_l)(TR_o)}{0.12}$$

Donde:

d = Diámetro del recipiente. [*inches*]

TR_o = Tiempo de retención o residencia. [*min*]

Q_l = Caudal de líquido tratado. [*BFPD*] ó [*BOPD + BWPD*]

h = Altura de la sección de coalescencia.

Si se desea profundizar más acerca de los siguientes temas:

- **Gun Barrel ó tanque de lavado.**
- **Tratador térmico horizontal convencional.**
- **Tratador térmico electrostático horizontal.**
- **Procedimiento para el diseño de tratadores térmicos.**

Visitar la “herramienta multimedia para el estudio y diseño de facilidades de superficie en la industria de los Hidrocarburos”.

2.11 Tanques de almacenamiento de petróleo

Son sistemas empleados para el almacenamiento de petróleo. Se debe contar con la existencia de tanques de almacenamiento en las siguientes partes:

- Batería o facilidad de producción.
- Estación principal del oleoducto.
- Estaciones auxiliares del oleoducto.
- Estación terminal de un oleoducto.
- Refinerías.
- Plantas procesadoras (petroquímicas).

- **Capacidad de almacenamiento de tanques**

Necesariamente un tanque de almacenamiento debe tener la suficiente capacidad para afrontar una eventual emergencia por rotura del oleoducto o daños en las estaciones de bombeo del mismo. Dicha capacidad debe estar por el orden de 3-5 veces la producción diaria del campo, con lo cual se dará un margen de 5-7 días para la pertinente reparación del daño. Es posible distribuir esta capacidad de almacenamiento de la siguiente manera: 20% en la batería y 80% en la estación principal de bombeo.

En las facilidades de producción se emplean tanques con alrededor de 1000, 2000, 5000, 10000, 20000, 50000 [bbls] o mayores dependiendo de la producción del campo. Se debe contar además con la disponibilidad de diferentes tanques: tanque de recibo, tanque de reposo y entrega, además de disponerse de uno o dos tanques para la prueba de pozos.

En una estación principal o inicial y terminales de oleoducto, se emplean siempre tanques de gran capacidad, alrededor de: 50000, 80000, 10000, 250000 [bbls], de acuerdo con la producción del campo y de la capacidad de almacenamiento que se plantee.

- ***Tipos de tanques de almacenamiento***

- ***Tanque cilíndrico de techo cónico.***

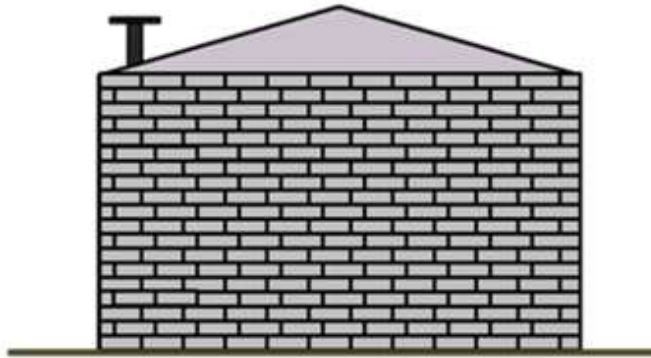


Figura 19. Esquema de un tanque cilíndrico de techo cónico

- ***Tanque cilíndrico con fondo y tapas cóncavas.***

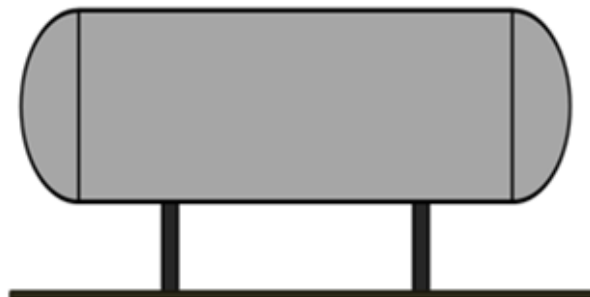


Figura 20. Diagrama de un tanque cilíndrico con fondo y tapas cóncavas

- *Tanque cilíndrico con membrana flotante.*

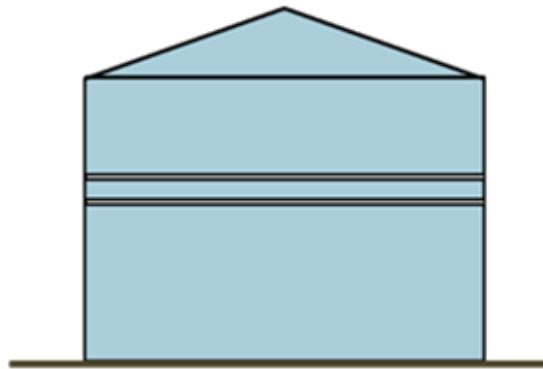


Figura 21. Tanque cilíndrico con membrana flotante

- *Tanque esférico.*

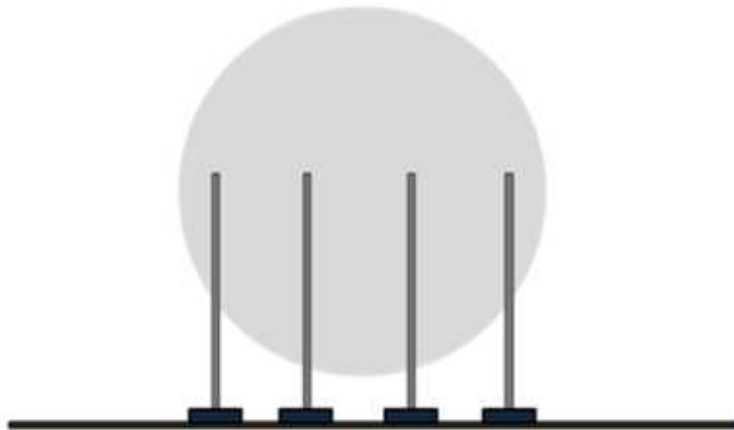


Figura 22. Esquema de un tanque de almacenamiento esférico

- *Tanque soldado*



Figura 23. tanque soldado

- **Tanque soldado**

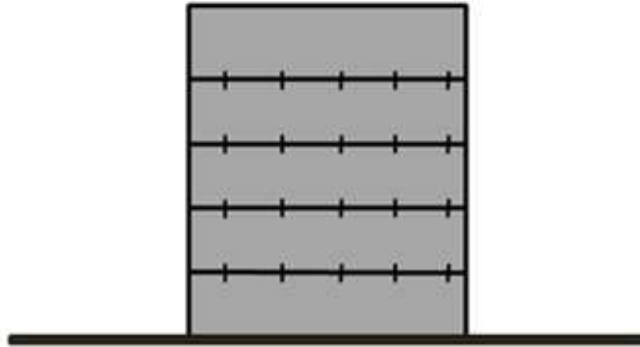


Figura 24. Esquema de un tanque soldado

Si se desea profundizar más acerca de los siguientes temas:

- **Aforo de tanques de almacenamiento.**
- **Medición manual de fluidos en tanques de almacenamiento.**

Visitar la “herramienta multimedia para el estudio y diseño de facilidades de superficie en la industria de los Hidrocarburos”.

2.12 Tratamiento de agua

Por lo general, en una facilidad de producción, se manejan aguas provenientes de las operaciones de producción llevadas a cabo en estas instalaciones. Las aguas reunidas u obtenidas en la batería por lo general están contaminadas con agua de alta concentración de hidrocarburos, sólidos suspendidos, sólidos disueltos y otros contaminantes.

El tratamiento a llevar a cabo para estas aguas, requiere una remoción total de los contaminantes que están afectando su calidad, especialmente lo relacionado con el contenido de hidrocarburos, salinidad, con la intención de disponer de ellas de manera que se respete la legislación y criterios ambientales. Si por algún motivo estas aguas no pueden ser tratadas con rigurosidad para ser dispuestas en superficie, se deberán reinyectar a una formación o yacimiento previamente seleccionado. Es posible llevar a cabo la disposición de aguas residuales ya sea en superficie (ríos, lagos, mar), en el subsuelo (Reinyección en pozos) o por evaporación (medio ambiente y calentamiento).

En el caso Colombiano, se tienen ciertas normas que regulan el vertimiento de aguas en superficie:

- El Artículo 72 del Decreto 1594 de 1984 establece que:

El vertimiento de aguas residuales en cuerpos de agua debe estar regido por:

Condiciones para vertimiento en cuerpos de agua	
Criterio	Cantidad
PH	[5-9]
Temperatura	$\leq 40^{\circ}\text{C}$
Material flotante	Ausente
Grasas y aceites	Remoción $\geq 80\%$; Sólidos secos: 0.01%
Sólidos suspendidos	Remoción $\geq 80\%$
Demanda bioquímica de O_2	Remoción $\geq 80\%$
Demanda química de O_2	Remoción $\geq 80\%$
Cloruros	250 [ppm] ,máximo apto para consumo humano

Tabla 4. Condiciones necesarias para vertimiento en cuerpos de agua

Si se desea tratar el agua para su posterior disposición en superficie, podemos hacerlo de dos maneras: tratamiento químico y tratamiento mecánico.

2.12.1 Tratamiento mecánico

Es posible entender el procedimiento mecánico que se lleva a cabo en el tratamiento de aguas residuales, dependiendo de la presión del sistema, la fase a remover y la prioridad del tratamiento; mediante el siguiente esquema:

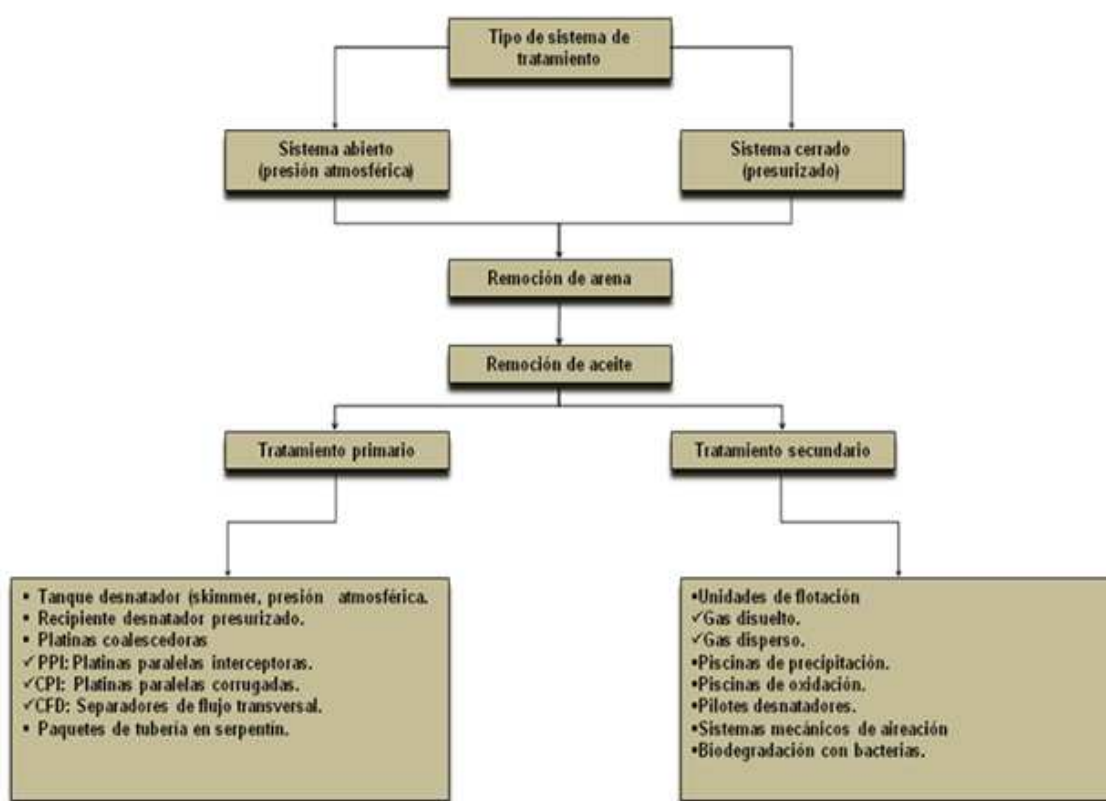


Figura 25. Procedimiento mecánico en el tratamiento de aguas residuales

Si se desea profundizar más acerca de los siguientes temas:

- **Tratamiento químico.**
- **Aspectos teóricos del tratamiento de aguas residuales.**

Visitar la “herramienta multimedia para el estudio y diseño de facilidades de superficie en la industria de los Hidrocarburos”.

2.13 Equipos de tratamiento de aguas residuales

En cuanto a los mecanismos de tratamiento de aguas residuales, los más empleados como sistemas de tratamiento primario son los **Skimmers** o tanques desnatadores, los cuales son diseñados con la finalidad de suministrar tiempos de retención lo suficientemente grandes, en los cuales ocurre la separación gravitacional, la coalescencia y el ascenso de las gotas de aceite. Este tipo de sistema puede ser presurizados (sistemas cerrados) o a presión atmosférica (sistema abierto), además, pueden ser horizontales o verticales.

El skimmer presurizado se emplea cuando se desea transferir el caudal tratado a un recipiente o equipo con diferencia de nivel (más alto), para de manera posterior ejercer tratamiento; también se emplean cuando existen problemas de arrastre de gas en el líquido o cuando se planea la reinyección de aguas residuales.

Los skimmers verticales se emplean cuando existe manejo de arena o sólidos provenientes de la formación productora, además, se emplean cuando hay problemas de turbulencia en la producción. Los desnatadores de orientación vertical son menos eficientes que los horizontales.

2.13.1 Aspectos teóricos acerca de los desnatadores

- ***Tiempo de retención o residencia***

En un sistema desnatador o skimmer, es necesario dar un tiempo de retención entre 10–30[*min*], con la finalidad de asegurar que no existan problemas de turbulencia y alcanzar la coalescencia de las gotas de aceite, asegurando un ascenso a la superficie del líquido.

Los skimmers horizontales con altos tiempos de retención, requieren la instalación de tabiques divisorios para distribuir el caudal y eliminar el fenómeno de corto circuito.

- ***Tamaño de la gota de aceite para el skimmer (desnatador primario)***

El tamaño de la gota de aceite es función de la caída de presión a través del sistema antes de entrar al tanque desnatador y de la concentración de aceite presente en el agua residual, de acuerdo a la ecuación de ***Hinze***.

Para todos los desnatadores (skimmers), la longitud efectiva del recipiente se puede asumir como un 75% de la longitud costura-costura o longitud total. Es necesario tener en cuenta siempre, para el diseño de sistemas desnatadores, que se debe considerar un caudal máximo de agua que se producirá en el campo durante su vida activa, es decir, tener en cuenta que la producción de aceite en un campo siempre estará en declive, mientras que la producción de agua tiende a aumentar, de esta manera si en algún momento de la vida útil del campo, se aplican sistemas de levantamiento y posteriormente métodos de recobro, es de vital importancia notar los aspectos relevantes de dichos procesos y diseñar los sistemas desnatadores de acuerdo a los requerimientos del campo.

Para propósitos de diseño, es posible asumir el tamaño de las gotas de aceite máximo entre 250–500[*micrones*].

2.13.2 Recipiente desnatador cilíndrico vertical presurizado

Algunas de las características más importantes de este sistema se mencionan a continuación:

- Siempre el caudal de agua ingresa al sistema por debajo de la interfase agua/aceite.
- Las gotas de aceite fluyen en dirección contraria al flujo de agua.
- Existe pequeñas cantidades de gas que pueden quedar en el agua por arrastre, estas ayudan a hacer flotar las gotas de aceite.
- El espesor de la nata o capa de aceite depende estrictamente de las diferencias de nivel entre la compuerta de aceite y la altura de la bota externa de agua.
- Es empleado con frecuencia un sistema de control tipo interfase como remplazo de la bota de agua.

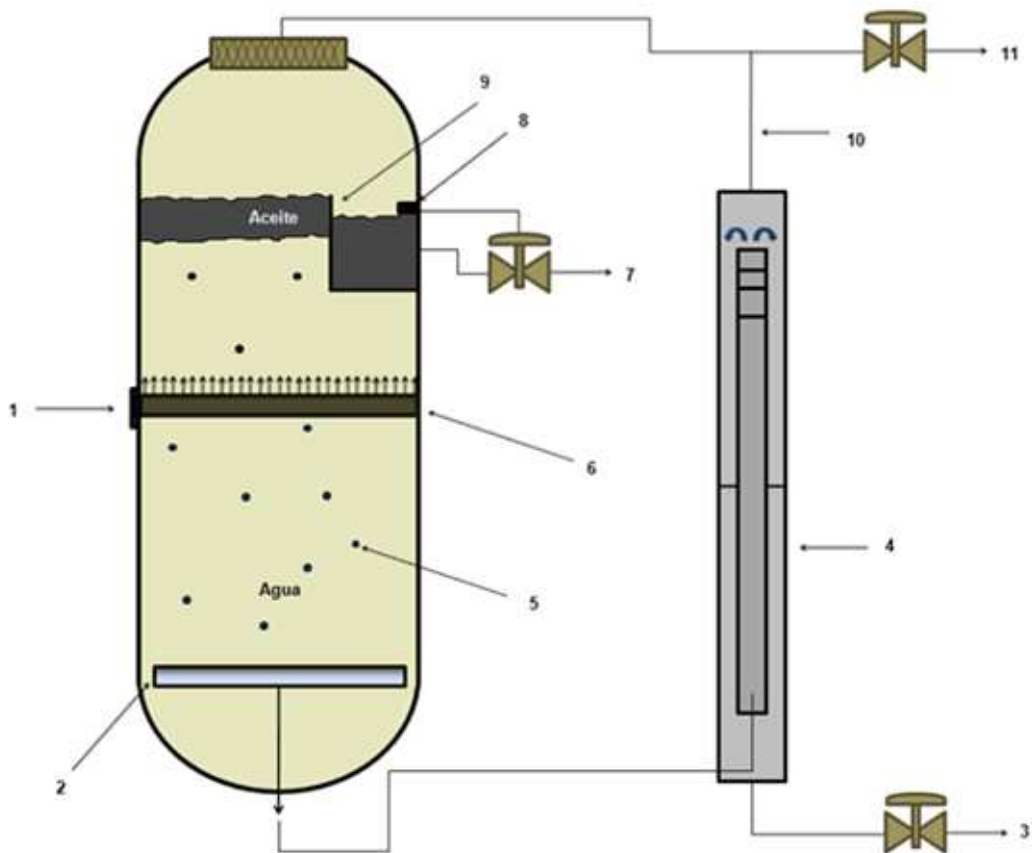


Figura 26. Desnatador cilíndrico vertical presurizado

Donde:

1. Entrada del agua residual al sistema.
2. Sistema colector.
3. Descarga de agua del desnatador.
4. Bota de agua externa.
5. Gotas de aceite (fase dispersa).
6. Distribuidor de flujo.
7. Descarga de aceite tratado.
8. Controlador de nivel.
9. Compuerta del aceite.
10. Igualador de presiones.
11. Descarga de gas del sistema.

- **Dimensionamiento de Skimmers de orientación vertical (sistemas cerrados y abiertos)**

- **Ecuación de asentamiento**

$$d^2 = \frac{(6691)(F)(Q_w)(\mu_w)}{(\Delta SG_{w/o})(dm_o^2)}$$

Donde:

F = Factor de corto circuito.

Q_w = Caudal de agua a tratar. [BWPD]

d = Diámetro del recipiente. [inches]

μ_w = Viscosidad del agua. [cp]

dm_o = Diámetro de partícula de aceite. [micrones]

Es posible relacionar el factor de turbulencia y corto circuito con el diámetro del recipiente; la siguiente tabla muestra dicha relación.

Relación entre el diámetro y factor de corto circuito	
Rango del diámetro	Factor de turbulencia y corto circuito
$d \leq 48$	1.0
$48 \leq d \leq 120$	2.0
$d > 120$	Descartado por efecto mayor de corto circuito

Tabla 5. Relación entre el diámetro y el factor de corto circuito

Si se desea profundizar más acerca de los siguientes temas:

- ***Recipiente desnatador cilíndrico horizontal presurizado.***
- ***Tanque desnatador horizontal rectangular (presión atmosférica).***
- ***Platinas coalescedoras.***
- ***Paquetes de tubería en serpentín (S.P.Packs).***
- ***Unidades de flotación (sistema cerrado).***
- ***Piscinas de oxidación***
- ***Información requerida para el diseño de un sistema de tratamiento de agua residual.***
- ***Calidad del agua al entrar al sistema de tratamiento de agua residual.***
- ***Selección de equipos en el tratamiento de aguas residuales.***

Visitar la “herramienta multimedia para el estudio y diseño de facilidades de superficie en la industria de los Hidrocarburos”.

2.14 Válvulas

En la industria de los hidrocarburos se emplean dispositivos denominados válvulas Industriales, las cuales, se consideran como un mecanismo manual o automático que permite detener (cerrar), comunicar (abrir), regular, y distribuir el flujo de fluidos a través de un sistema de tuberías dentro de una facilidad de producción.

2.14.1 Partes generales de una válvula.

Existen ciertos mecanismos internos similares dispuestos de manera común en las válvulas en general, que son estrictamente necesarios para el desarrollo de su función, estos dispositivos son:

- *Obturador:*

También es denominado *disco*, esta pieza es la encargada de efectuar la interrupción física del paso del fluido.

- *Eje:*

Es conocido también como *husillo*, esta parte del sistema es la encargada de fijar y conducir el obturador.

- *Asiento:*

Parte de la válvula donde se lleva a cabo el cierre del paso del fluido, por medio del contacto con el obturador.

- *Empaquetadura del eje*

Es la parte que montada alrededor del eje metálico asegura la estanqueidad a la atmósfera del fluido.

- *Juntas de cierre:*

Es la parte que montada alrededor del órgano de cierre (en algunos caso) asegura una estanqueidad más perfecta del obturador.

- *Cuerpo y Tapa:*

Partes retenedoras y controladoras de la presión dentro del sistema, funcionan como envolvente de los mecanismos internos de las Válvulas.

- *Extremos*

Parte de la válvula que permite la conexión a la tubería, pueden ser bridados, soldados, roscados, ranurados o incluso no disponer de ellos, es decir, permitir que la válvula se acople a la tubería tan solo por las uniones externas (Wafer).

- *Pernos de unión*

Son los elementos que unen el cuerpo y tapa de la válvula entre sí. Para asegurar la estanqueidad atmosférica hay que colocar juntas entre estas dos superficies metálicas.

- *Mecanismo de accionamiento*

Encargado básicamente de accionar la válvula.

2.14.2 Tipos de válvulas

Es posible llevar a cabo una clasificación general de este tipo de mecanismos; algunos aspectos a tener en cuenta por el diseñador para la selección adecuada de la válvula, varían de acuerdo a la función que se espera sea desempeñada por el sistema: cierre o bloqueo, estrangulación o desvío, evitar el flujo inverso e incluso una combinación de las funciones anteriores. Teniendo en cuenta estos aspectos es necesario clasificar las válvulas de acuerdo a su función en cuatro categorías diferentes:

- ***Función de corte y paso del flujo de un fluido:***

- *Válvulas de compuerta.*

Se emplea con preferencia si se desea generar el cierre o paso de un fluido.

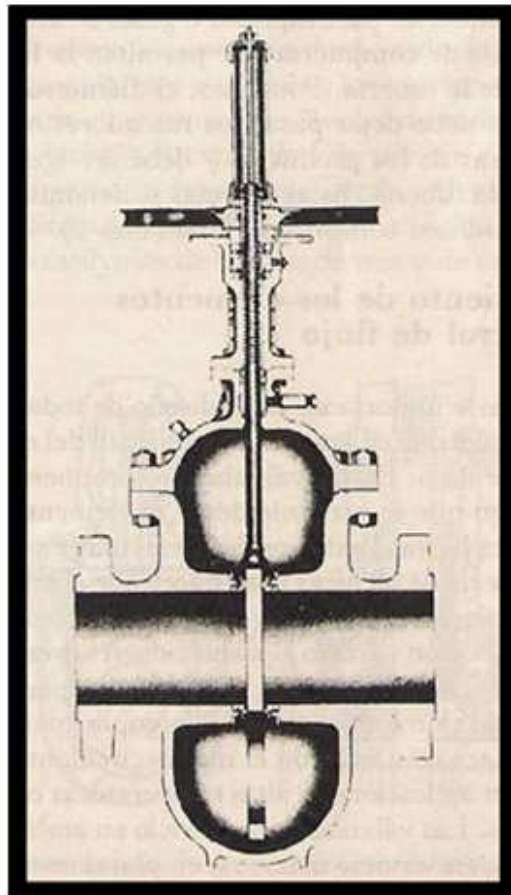


Figura 27. Válvula de compuerta para tuberías de petróleo

- o Mecanismos de control de flujo en válvulas de compuerta:

Existen múltiples razones por medio de las cuales las válvulas de compuerta superan en número a las demás válvulas empleadas, pero quizá la razón más relevante tiene que ver con que este tipo de Válvula produce una menor caída de presión en el sistema que cualquier otro tipo de válvula. La válvula de compuerta empleada con mayor frecuencia es la de cuña maciza, lisa con asiento inclinado, teniendo en cuenta ciertos arreglos y soluciones para Prever algunos inconvenientes que se presentan debido a los requerimientos de presión y temperatura en los sistemas actuales.

La válvula de compuerta de tipo cuña dividida (disco doble) de bola y cuenca, cuenta con dos discos que se encuentran en contacto entre sí mediante una unión de bola y cuenca, permitiendo el giro de los discos de manera independiente, de esta manera adaptándose a los cambios en los ángulos de los asientos y obteniendo un buen sellamiento y mayor duración.

En las tuberías para transporte de líquidos y gases se emplea un tipo de válvulas de compuerta que permiten la limpieza del interior de la tubería, por tanto, el diámetro interior de la tubería debe dejar pasar los raspadores o esferas separadoras de los productos y debe ser igual o mayor que el de la tubería. Estas válvulas se denominan de conducto rectilíneo con orificio total.

Si se desea profundizar más acerca de los siguientes temas:

- **Servicio de estrangulación.**
- **Prevención del flujo de un fluido.**

Visitar la “herramienta multimedia para el estudio y diseño de facilidades de superficie en la industria de los Hidrocarburos”.

2.15 Bombas

Las bombas son usadas en facilidades de producción para mover líquido de una baja presión o baja posición de elevación a una de más alta presión o elevación. Donde sea posible es usualmente ventajoso localizar equipo y seleccionar presiones de operación de tal manera que se pueda minimizar la necesidad de bombear o minimizar el volumen por bombear.

A continuación se mostrara los diferentes tipos de bombas, principios básicos para seleccionar bombas y conceptos para la selección de tipos de bombas.

2.15.1 Clasificación de bombas

Las bombas son clasificadas como cinéticas y de desplazamiento positivo. En una bomba cinética, la energía es agregada continuamente para aumentar la velocidad del fluido dentro de la bomba a valores superiores a los que existen en la tubería de descarga. Los pasillos en la bomba reducen la velocidad hasta que esta se ajusta a la tubería de descarga. De la ley de Bernoulli, como la velocidad del fluido en frente se reduce, la presión en frente debe incrementarse. Por lo tanto, en una bomba cinética la cinética o energía de velocidad del fluido es primero incrementada y después convertida en potencial o energía de presión.

Casi todas las bombas cinéticas usadas en facilidades de producción son bombas centrífugas en las cuales la energía cinética es impartida al fluido por un impeller rotando generando fuerza centrífuga.

En una bomba de desplazamiento positivo el volumen que contiene el líquido es disminuido hasta que la resultante presión del líquido es igual a la presión en el sistema de descarga. Esto es, el líquido es comprimido mecánicamente, causando un aumento directo en la energía potencial.

La mayoría de las bombas de desplazamiento positivo son bombas reciprocantes donde el desplazamiento es realizado por movimiento lineal de un pistón en un cilindro. Las bombas rotarias son otro tipo común de bombas de desplazamiento positivo donde el desplazamiento es causado por movimiento circular.

- ***Bombas centrífugas***

Las bombas centrífugas son clasificados como de flujo radial o de flujo axial. La figura 1 muestra una bomba de flujo radial. El flujo entra en el centro de la rueda rotatoria y es propulsado radialmente afuera por fuerza centrífuga. Dentro del impulsor la velocidad del líquido es aumentada y es convertida a presión para el caso.



Figura 28. Bomba de flujo radial

Una típica bomba de flujo axial es mostrada en la figura 27. El flujo es paralelo al eje de las abscisas. Una velocidad es impartida por las paletas del impeller las cuales tienen forma de perfiles. La mayoría de las bombas no son de flujo radial completamente, pero tienen un camino de flujo en algún lado entre los dos extremos. Las bombas de flujo radial una más alta cabeza por etapa y operan a más bajas velocidades que las bombas de flujo axial. Por lo tanto, diseños de flujo axial son usados en muy altas tasas de flujo, muy bajas aplicaciones en cabeza.



Figura 29. Bomba de flujo axial

Si se desea profundizar más acerca de los siguientes temas:

- ***Bombas reciprocantes.***
- ***Bombas de diafragma.***
- ***Bombas rotarias.***
- ***Bombas multifase.***
- ***Principios básicos para diseño de bombas.***
- ***Criterios básicos de selección de una bomba.***

Visitar la “herramienta multimedia para el estudio y diseño de facilidades de superficie en la industria de los Hidrocarburos”.

2.16 Tuberías

2.16.1 Selección de un tamaño de línea y espesor de pared

La primera parte de este capítulo introduce el concepto de flujo erosional y discute los criterios de caída de presión y velocidad usados para determinar el diámetro interno requerido para líquido, gas y flujo bifásico en tuberías. La segunda parte discute los criterios para seleccionar el espesor de pared para que una tubería de un diámetro dado sea capaz de contener una presión específica. La última parte de este capítulo incluye algunos ejemplos de cálculos para elegir un tamaño de línea y espesor de pared.

- ***Criterio de tamaño de línea.***

Cuando se elige un tamaño de línea es necesario considerar caída de presión y velocidad de flujo. La línea debe ser lo suficientemente grande para que la presión disponible conduzca el fluido a través de la línea. Normalmente, la caída de presión no es un criterio gobernante en sistema de tubería en facilidades de producción, donde la mayoría de caídas de presión ocurren cruzando las válvulas de control y hay relativamente poca caída de presión en la línea comparada a la disponible en el proceso.

La caída de presión es un criterio particularmente importante para líneas largas o estos fluyendo entre partes de equipos operando a la misma o cercana a la misma presión. Al calcular caídas de presión, especialmente para flujos entre bajas presiones y contenedores atmosféricos, longitudes equivalentes y cambios de elevación deben ser consideradas.

El diámetro de la línea debe también ser clasificado según el tamaño para un mínimo y un máximo de velocidad. El fluido debe ser mantenido debajo de alguna velocidad máxima para prevenir problemas tales como erosión, ruido y cambio de tasa repentino del fluido en la tubería. El fluido debe también ser mantenido por encima de una velocidad mínima para minimizar oleadas y transportar arenas y otros sólidos.

- **Flujo erosional**

La erosión de fluido ocurre cuando gotas de líquido impactan la pared con suficiente fuerza para erosionar los productos de corrosión, exponiendo el metal al fluido y permitiendo que ocurra más corrosión. A incluso las más altas fuerzas de impactos es posible para el mismo acero ser erosionado. Entre más alta sea la velocidad de flujo, mayor es la tendencia para que la erosión de fluido ocurra. Experimentos en sistemas de flujo bifásico indican que la erosión

De los productos de corrosión ocurre cuando la velocidad de flujo excede el valor dado por:

$$V_e = \frac{C}{(\rho m)^{1/2}}$$

Donde:

V_e = Velocidad de flujo erosional. [ft/s]

ρm = Densidad del fluido. [lb/ft³]

C = Constante empírica.

Antes de 1990, API recomendaba 14E, "Diseño e instalación de sistemas de tuberías en plataforma de producción offshore" sugería un valor de C= 100 para servicio continuo y 125 para servicio no continuo. Análisis de datos de campo indican que constantes más altas que 100 pueden ser usadas si la corrosión es controlada. En 1990, API RP 14E fue reescrita, la más nueva edición sugirió que valores de C de 150 a 200 pueden ser usados para continuo, no corrosivo o servicios de corrosión controlados, si no hay sólidos presentes.

Para servicios intermitentes libres de sólidos, API RP 14E expresa que la experiencia en la industria muestra que valores de C por encima de 250 han sido usados exitosamente. Donde la producción de arena es anticipada, las velocidades de los fluidos deben ser reducidas e inspecciones periódicas del espesor de pared de la tubería deben ser consideradas.

Aunque no es universalmente aceptado el sistema de velocidad erosional que existe a la fecha, conclusiones pueden ser traídas de una reciente investigación del southwest research institute (SwRI) Project para API RP 14E. SwRI sugiere que la ecuación de velocidad erosional descrita anteriormente, no es apropiada para todos los regímenes de flujo posible. SwRI recomienda dividir el criterio de velocidad erosional en cuatro grupos diferentes:

- Servicio despejado, sin sólidos o corrosión presente.
- Servicio erosivo, sólidos presentes en la corriente de fluido sin corrosión.
- Servicio corrosivo, corrosión presente sin sólidos.
- Servicio erosivo y corrosivo, velocidades para esta condición de flujo debe ser limitado a 60 ft/s para prevenir ruido excesivo.

Para servicio erosivo, la velocidad erosional puede ser determinada de la siguiente ecuación:

$$V_e = K_s \frac{d}{\sqrt{Q_s}}$$

Donde:

V_e = Velocidad de flujo erosional. [ft/s]

K_s = Factor de forma. [ft/s]

d = Diámetro interno de la tubería. [inches]

Q_s = Sólidos (arena) tasa de flujo. [ft³/dia]

Si se desea profundizar más acerca de los siguientes temas:

- **Flujo bifásico.**
- **Criterio de espesor de pared.**
- **Categorías de evaluación de presión.**
- **Ejemplos de diseño de líneas de flujo.**

Visitar la “herramienta multimedia para el estudio y diseño de facilidades de superficie en la industria de los Hidrocarburos”.

3. Manual de usuario

El presente manual se desarrollo como guía de navegación para el uso de la “herramienta multimedia para el estudio y diseño de facilidades de superficie en la industria de los hidrocarburos”, de esta manera, explicando la forma adecuada para navegar, emplear y dar un correcto uso de las funciones y procesos mostrados en el software diseñado.

3.1 Requerimientos para el uso de la herramienta

Para llevar a cabo un proceso de consulta exitoso, es necesario tener en cuenta ciertas recomendaciones y seguir algunos pasos:

3.1.1 Instalación de la herramienta multimedia

Como en todo proceso de instalación de un software, es necesario contar con el espacio de almacenamiento de información suficiente dentro del disco duro del equipo donde va a ser instalado. En este caso particular, la “herramienta multimedia para el estudio y diseño de facilidades de superficie en la industria de los hidrocarburos”, no requiere un proceso de instalación, por tanto, para su correcto funcionamiento solo necesita contar con el espacio necesario (20 MB) para ejecutar la aplicación.

3.1.2 Ejecutar la aplicación

Una vez se adquiera el software, se procede a copiar el archivo llamado “Herramienta Facilidades de Superficie.exe”, el cual es una aplicación elaborada en Flash que permite tener acceso visual a la herramienta multimedia.

El Software desarrollado no requiere la previa instalación de programas accesorios dentro del equipo y se ejecuta dando doble clic al archivo que contiene la Herramienta, como ejemplo la figura 30 muestra el archivo ejecutable que contiene la multimedia.

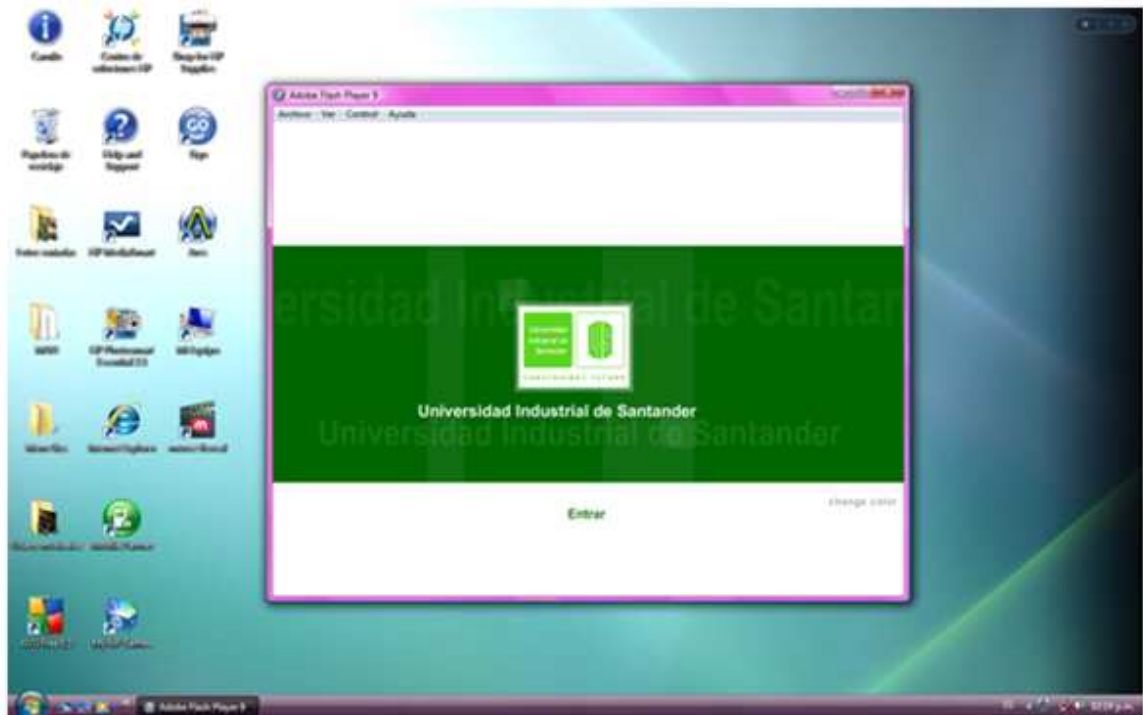


Figura 31. Introducción Herramienta multimedia

La introducción a la herramienta multimedia muestra el logo de la Universidad Industrial de Santander, como prenda de calidad del producto diseñado, además del nombre de la herramienta multimedia, los autores y el director del proyecto realizado.

Cuenta con un botón llamado “change color”, el cual permite al usuario cambiar el fondo de la introducción a su gusto. Es posible salir de la herramienta dándole clic al botón “salir”.

Para tener acceso al diagrama de la facilidad de superficie, el cual contiene la información de la herramienta, es necesario seleccionar el botón “entrar”.

3.2.2 Esquema de una facilidad como medio de acceso a la información

Después dar clic en el botón “entrar”, de forma inmediata se mostrara un esquema similar al que se ve a continuación.

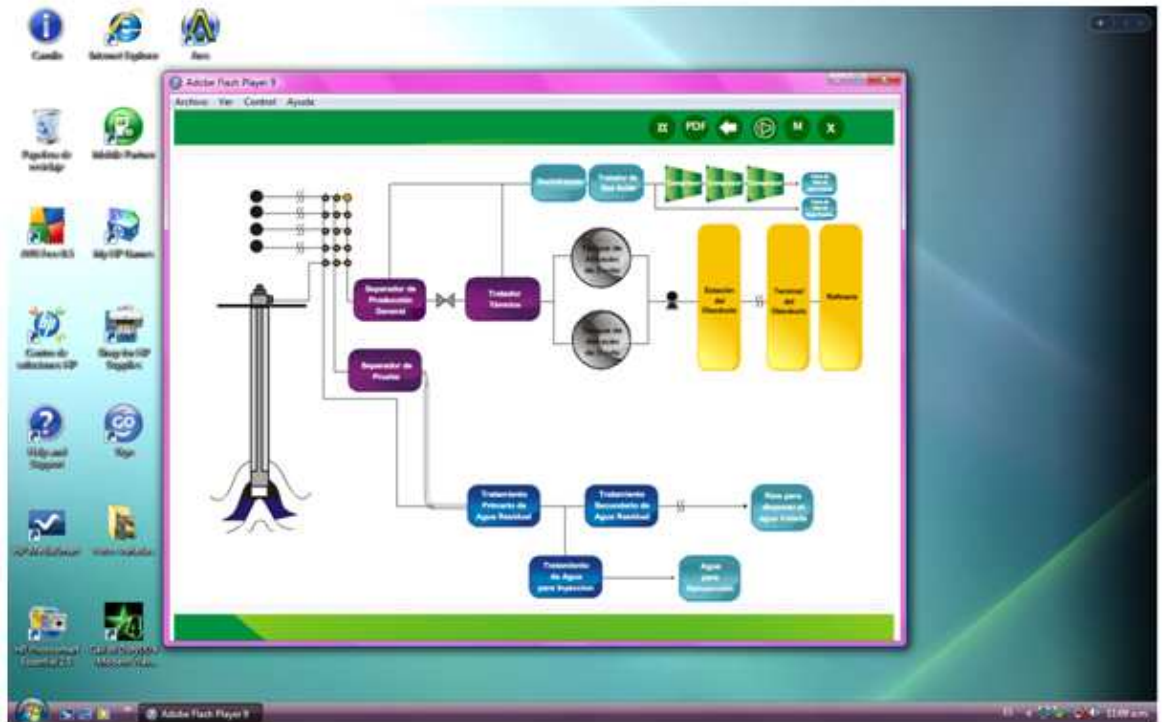


Figura 32. Acceso a la información

La figura 32 muestra el diagrama típico de una facilidad de superficie, el cual posibilita al usuario acceder a información detallada acerca de los mecanismos más relevantes empleados en una facilidad de superficie, tales como: separadores de producción general, sistemas de tratamiento térmico, separadores de prueba, tuberías, bombas, generalidades de una facilidad de superficie, tanques de almacenamiento de crudo, válvulas y sistemas de tratamiento primario de agua residual, entre otros.

El usuario podrá obtener información detallada de los sistemas nombrados anteriormente con tan solo dar clic en el esquema que representa dicho sistema, es decir, si el usuario desea obtener información acerca de tanques de almacenamiento de crudo, deberá poner el cursor encima del esquema circular llamado “Tanque de almacenamiento de crudo” y dar clic.

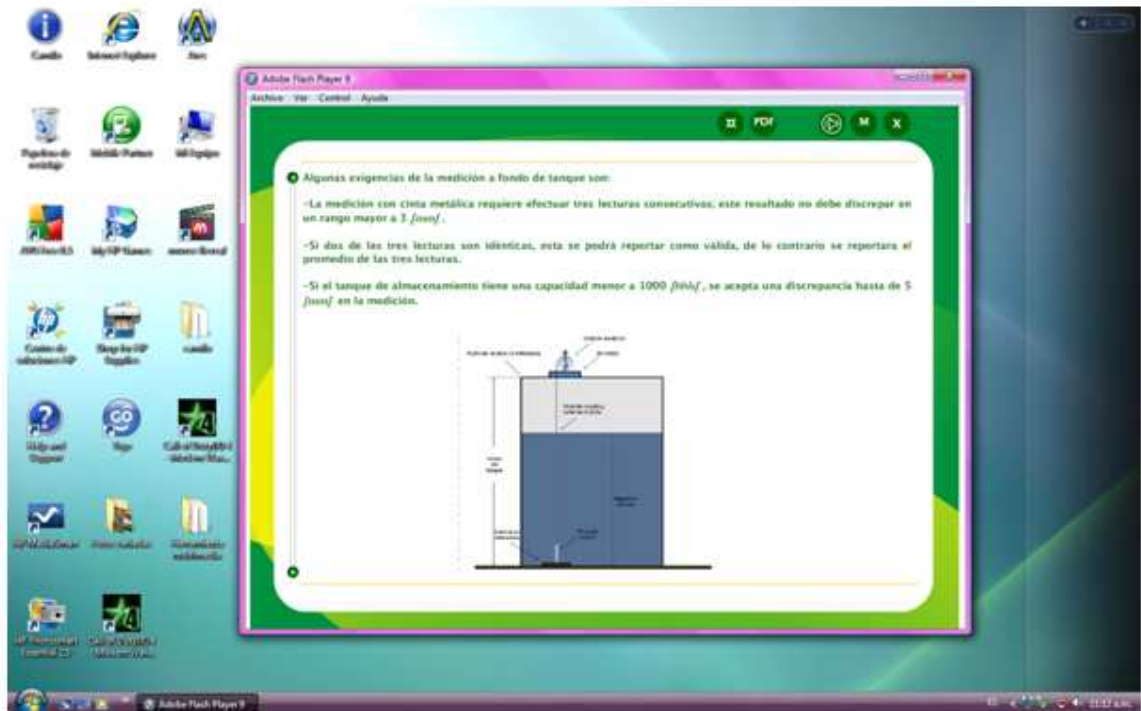


Figura 33. Información contenida dentro de un botón

De igual manera, es posible acceder a la información referente a cualquier sistema de los mencionados anteriormente. En la figura 33 se observa también algunos otros elementos pertenecientes a una facilidad de superficie típica, tales como: deshidratador, tratador de gas ácido, sistemas de compresión, tratamiento secundario de agua residual, tratamiento de agua para reinyección, para los cuales no se permite al usuario tener acceso a información detallada. Esto debido a que la herramienta se diseñó enfocada a ofrecer información acerca de los mecanismos de separación y tratamiento de crudo básicos mencionados con anterioridad.

3.2.3 Procedimiento para acceder a la información deseada

Como se mencionó con anterioridad, es posible tener acceso a información en forma de texto, gráfica y animada, relativa a los sistemas típicos empleados en una facilidad de superficie. La forma correcta para acceder a dicha información consiste en seleccionar el sistema del cual se desee encontrar información más detallada, conceptos, ecuaciones, gráficos, animaciones. A continuación se mostrará la adecuada de visualizar la información contenida en la MEC.

Como ejemplo se mostrara la forma precisa acerca de los equipos de tratamiento de crudo.

- Acceder a la herramienta multimedia
Ejecutar el archivo llamado "Herramienta Facilidades de Superficie". Este esquema se muestra en la figura 30.

- Ingresar a la herramienta.
Seleccionar la opción "entrar" que se encuentra en la parte central inferior de la introducción. Este esquema se muestra en la figura 31.

- Elegir la el sistema del cual se desee obtener mayor información.
El usuario tendrá acceso al contenido inserto dentro de la opción seleccionada, visualizando de manera textual, grafica y en algunos casos animada, el funcionamiento, conceptos, generalidades, recomendaciones y especificaciones de diseño, entre otros parámetros, lo que permitirá al usuario conocer a fondo el mecanismo que selecciono. (Figura 32).



Figura 34. Subtemas dentro del botón "separador de producción general"

En algunos casos dicha selección lleva a subdivisiones del tema elegido, lo que permitirá al usuario una vez más elegir la opción temática de la cual desee conocer con más profundidad.

- Contenido mostrado por la MEC.

La “herramienta multimedia para el estudio y diseño de facilidades de superficie en la industria de los hidrocarburos”, consta de diferentes opciones temáticas relativas a algunos sistemas de separación y tratamiento primario de crudo, dichas opciones pueden ser seleccionadas y vistas por el usuario; es posible apreciar algunos ejemplos de la visualización del contenido de la herramienta en las figuras 35 y 36.

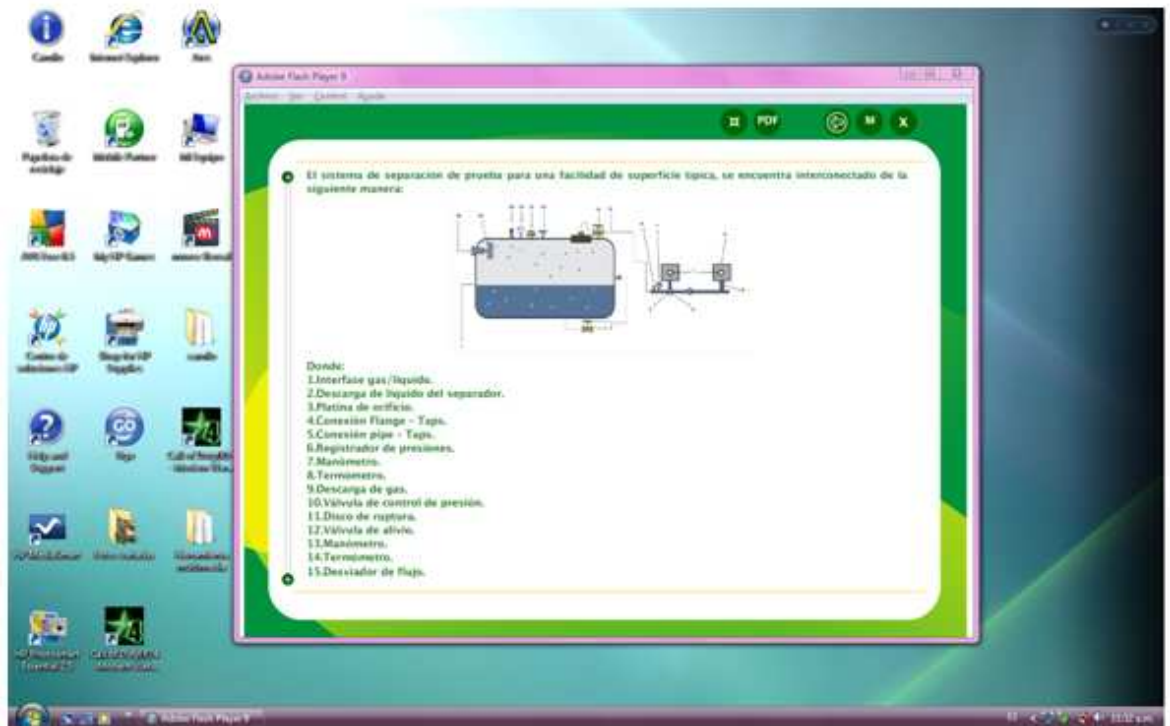


Figura 35. Contenido de la MEC - Separador de prueba.

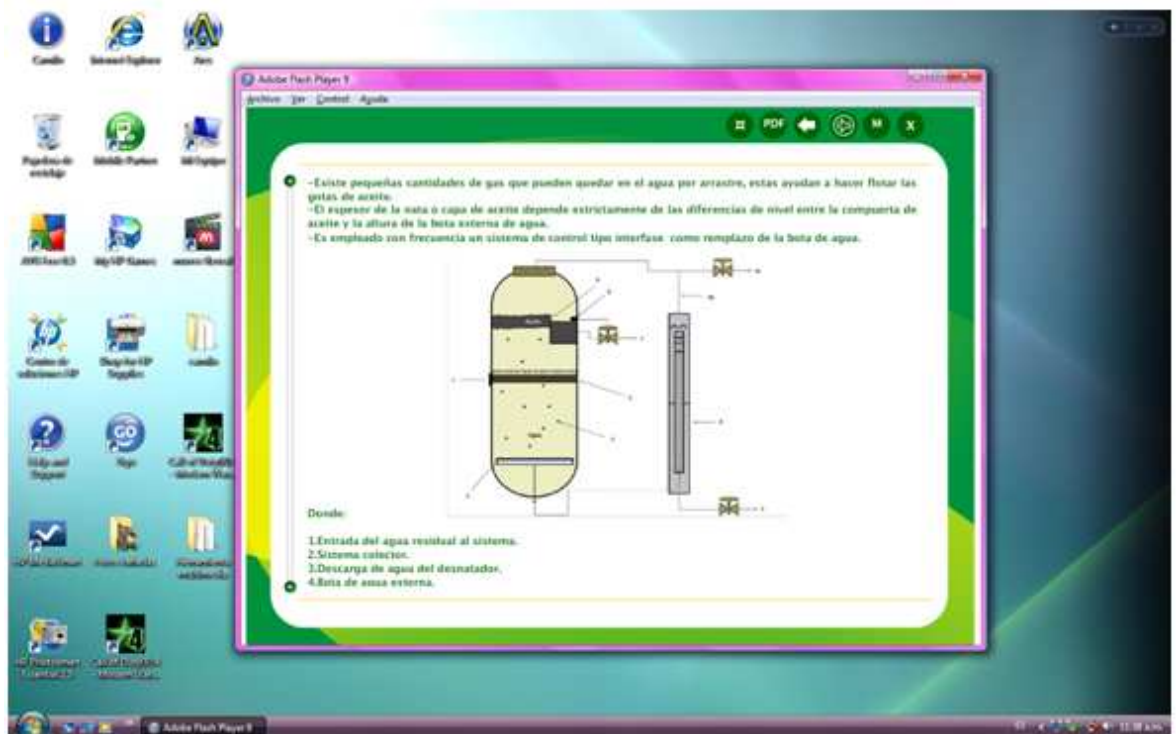


Figura 36. Contenido de la MEC - Tratamiento de agua

3.2.4 Botones complementarios.

La “herramienta multimedia para el estudio y diseño de facilidades de superficie en la industria de los hidrocarburos”, contiene además algunos botones adicionales, los cuales permitirán al usuario acceder a distintas funciones tales como: Acceso a página principal, Imprimir página actual, botón de salida, archivo de texto compilado y menú. La figura 34 muestra los botones, ubicados en la parte superior derecha, a excepción de botón menú, el cual se encuentra ubicado en la parte inferior derecha.



Figura 37. Botones complementarios

La función de cada uno de los botones complementarios se explica con detenimiento a continuación:

- Acceso a página principal (menú).



Figura 38. Botón de acceso al menú

Este botón permite al usuario volver a la página principal (esquema de la facilidad de superficie) desde cualquier sitio donde se encuentre dentro de la MEC, de forma inmediata.

- Botón de salida.



Figura 39. Botón de salida

Permite al usuario salir de manera inmediata de la MEC, sin generar ningún tipo de inconveniente asociado al hecho de salir bruscamente de un software, es decir, de esta forma el puede usuario salir de la herramienta en el momento que el desee hacerlo.

- Archivo de texto compilado.



Figura 40. Acceso al archivo PDF compilado

Existe un documento que contiene la información compilada de toda la herramienta; el usuario puede acceder a dicho documento al seleccionar esta opción. Es necesario contar con un documento de este tipo debido a que en algunas ocasiones, por preferencia del usuario, se facilita la interpretación del

Contenido visto en otro programa diferente al programa en que se diseñó la herramienta.

- Página anterior



Figura 41. Página inmediatamente anterior

Permite al usuario acceder a la página inmediatamente anterior, de esta forma se mantiene una relación entre el tema y el subtema seleccionado, de esta manera ubicando al usuario con mayor claridad dentro de la herramienta.

- Activar/desactivar sonido



Figura 42. Botón activar/desactivar sonido

Durante la ejecución de la MEC se encuentra constantemente el acompañamiento de un ritmo, el cual ameniza aun más la estancia del usuario en la consulta. Este botón permite activar o desactivar el sonido de la herramienta multimedia.

- Esquema general de la MEC



Figura 43. Acceso al esquema general de la MEC

El uso de este botón permite al usuario acceder a un esquema diseñado en forma de mapa conceptual, en el cual es posible apreciar un diagrama de términos y clasificaciones de los temas y subtemas contenidos en la MEC; de esta forma el usuario podrá ubicarse con mayor facilidad y encontrar la ubicación de los temas en los cuales desee profundizar.

CONCLUSIONES

- “La herramienta multimedia para estudio y diseño de facilidades de superficie” presenta información completa, organizada y detallada de la asignatura facilidades de superficie la cual se encuentra totalmente consignada en la herramienta.
- Se desarrollo un material educativo dentro de un ambiente agradable e interactivo, el cual propicia el proceso enseñanza-aprendizaje de los principales parámetros de diseño correspondientes a los equipos en una batería de producción.
- Esta herramienta informática le permite al estudiante aprovechar al máximo su tiempo ya que lo puede manejar en forma autónoma y a su vez profundizar en los temas que crea que necesita reforzar conceptos básicos.
- Este material también fue diseñado con el fin de servir como apoyo al docente puesto que facilita la exposición de los temas, permitiendo dedicar más tiempo al análisis y manejo de otras situaciones de interés.
- La MEC desarrollada facilita la aprehensión de nuevos conocimientos debido a que no solo presenta información teórica, también presenta animaciones las cuales favorecen a la apropiación de conceptos en forma rápida por parte del estudiante.
- Con este trabajo se contribuyo al mejoramiento de los procesos de enseñanza dentro de la escuela de Ingeniería de Petróleos incentivando a otras personas a desarrollar herramientas que permitan complementar la labor de los docentes.

RECOMENDACIONES

- La intención al desarrollar este tipo de herramientas es abrir el camino para que este tipo de material educativo pueda ser desarrollado en otras asignaturas, así como también se busca que este trabajo sea seguido y complementado ya que la información presentada aquí corresponde a los tópicos básicos de la asignatura facilidades de superficie.
- Este material educativo se crea como una herramienta de apoyo para el proceso de aprendizaje y no busca desplazar los medios existentes.
- La finalidad de este trabajo consiste en que el usuario interesado pueda tener acceso a la información consignada en la herramienta, razón por la cual debería ser publicada en un sitio Web con la intención de facilitarle a todos los interesados el acceso a la información.

BIBLIOGRAFÍA

GALVIS PANQUEVA, Álvaro H. Ingeniería de Software Educativo. Santafé de Bogotá: Ediciones Uniandes, 1992.

ARNOLD, Ken; STEWART, Maurice. Surface production Operations. Design of Oil-Handling System and Facilities. Third Edition. Houston: Gulf Publishing Company, 2008.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION. Documentación: Presentación de tesis, trabajos de Grado y otros trabajos de investigación. Colombia. ICONTEC. 2000.

PRESSMAN, Roger. Ingeniería del Software. Un Enfoque Práctico. Cuarta Edición. España: McGraw-Hill, 1998.

MC DOUGLAS, Anne. Como Elegir y Utilizar El Software Educativo. Madrid, España: Marata, 1990.

VELANDIA GALEANO, Daniel. Facilidades de producción de campos petrolíferos. Santafé de Bogotá: Febrero de 2002.

GREENE W. Richard. Válvulas selección, uso y mantenimiento. McGraw-Hill. México. Mayo de 1989.