

**HERRAMIENTA MULTIMEDIA PARA EL ESTUDIO DEL ÁREA DE
PERFORACIÓN DE POZOS EN EL PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA
DE PETRÓLEOS**

**DANIEL ANDRÉS VANEGAS PÉREZ
CHRISTIAN LEONARDO GONZÁLEZ GONZÁLEZ**

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

2010

**HERRAMIENTA MULTIMEDIA PARA EL ESTUDIO DEL ÁREA DE
PERFORACIÓN DE POZOS EN EL PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA
DE PETRÓLEOS**

DANIEL ANDRÉS VANEGAS PEREZ

CHRISTIAN LEONARDO GONZÁLEZ GONZÁLEZ

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

Director

Cesar Augusto Pineda Gómez

Ingeniero de Petróleos

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

2010

*A mi familia, por el soporte, el apoyo, la
paciencia, y la incondicionalidad en todo
momento.*

*A la mujer con ojos que me matan, por
ofrecerme luz cuando todo estaba oscuro, y
permanecer a mi lado cuando todo estaba
claro.*

*A mis amigos, por lo que hemos vivido,
disfrutado, y hablado.*

*Todos han facilitado de una u otra forma que pueda escribir
estas palabras.*

Gracias

Daniel Vanegas Pérez

Muy especialmente dedico el esfuerzo puesto en este proyecto y mi título de Ingeniero de Petróleos:

A Dios por ser luz y guía en mi camino, por brindarme paz y tranquilidad para afrontar los momentos difíciles y por colmarme de perseverancia y sabiduría para la consecución de este gran logro en mi vida.

A María Lilia, mi madre, por su apoyo incondicional durante este largo camino, su gran amor y consejo, y a quien debo gran parte de todo lo bueno que hace parte de mi ser hoy en día, sin duda, parte esencial en mi proyecto de vida.

A mi Padre, Álvaro de Jesús, a quien agradezco su constante apoyo en este proceso y la oportunidad que me brindó de llegar a donde hoy me encuentro.

A mis Hermanos Consuelo, Javier, César y Andrés, por ser guías durante toda mi vida, y, especialmente, en esta etapa de mi formación profesional.

A mi Novia, Katherine, por su cariño y compañía durante esta larga historia, y por su ayuda, a ella debo gran parte del crédito.

A mis Amigos y demás familiares quienes de una u otra forma aportaron su granito de arena en el éxito de este proyecto.

Christian González González

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	17
1. TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN.	19
1.1 DEFINICIONES PRELIMINARES.	20
1.2 TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN EN LA EDUCACIÓN.	23
1.2.1 Desarrollo de las TIC en la educación.	23
1.2.2 Computación en la educación.	25
1.2.3 Estado del arte en tecnologías de información y comunicación en la educación.	33
1.2.4 Ventajas y desventajas de las TIC en la educación..	36
1.3 TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN INVOLUCRADAS EN EL PROYECTO.	38
2. PERFORACION DE POZOS DE PETROLEO	40
2.1 GENERALIDADES	40
2.1.1 Introducción.	40
2.1.2 Objetivo de la Perforación de Pozos.	40
2.2 RIG DE PERFORACIÓN	41
2.2.1 Tipos de Rigs de Perforación.	42
2.2.2 Equipo de un Rig de Perforación.	47
2.3 DISEÑO DE LA PERFORACIÓN DE UN POZO	66
2.3.1 Generalidades.	66
2.3.2 Columna Geológica Esperada.	68
2.3.3 Programa de toma de información.	69
2.3.4 Recopilación y Análisis de la Información de Pozos de Correlación.	77
2.3.5 Determinación de los gradientes de Presión y de Fractura.	83

2.3.6	Selección de la Geometría del Pozo.	90
2.3.7	Selección y programa de los fluidos de perforación.	90
2.3.8	Diseño de la sarta de perforación.	93
2.3.9	Programa de Hidráulica.	99
2.3.10	Programa de Brocas.	102
2.3.11	Selección de las profundidades de asentamiento de las tuberías de revestimiento	104
2.3.12	Diseño de Cementación.	111
2.4	PERFORACIÓN DEL POZO	116
2.4.1	Selección del sitio de perforación.	116
2.4.2	Preparación del sitio de Perforación.	116
2.4.3	Secuencia para la instalación y desmantelamiento del equipo de perforación	117
2.4.4	Procedimiento de perforación	118
2.4.5	Operaciones y maniobras durante la perforación.	123
3.	METODOLOGÍA DE DESARROLLO	127
3.1	ANÁLISIS DEL ENTORNO	127
3.1.1	Objetivos que se pretenden alcanzar con el uso de la herramienta.	127
3.1.2	Características del público objetivo.	128
3.1.3	Área de contenido.	128
3.1.4	Restricciones.	128
3.1.5	Opciones de desarrollo.	129
3.1.6	Necesidad educativa.	129
3.2	DISEÑO	129
3.2.1	Diseño lógico.	129
3.2.2	Diseño funcional..	130
3.2.3	Diseño físico.	130
4	MANUAL DEL USUARIO	134
4.1	REQUERIMIENTOS PARA LA INSTALACIÓN Y USO DE LA HERRAMIENTA DRILLLEARNING	134
4.1.1	Instalación de la Herramienta Multimedia DrillLearning.	134
4.1.2	Procedimiento de Inicio.	134
4.2	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA	136

4.2.1	Interfaz de Inicio.	136
4.2.2	Sistema de Contenido.	137
4.2.3.	Videos, Gráficos y Animaciones.	140
4.3.	ACCESO A LA INFORMACIÓN	141
4.4.	MAPA INTERACTIVO DEL RIG DE PERFORACIÓN	142
4.5.	SISTEMA DE EVALUACIÓN	146
4.6.	MÓDULO DE AYUDA	147
4.7.	BOTONES COMPLEMENTARIOS	148
5	CONCLUSIONES	151
6	RECOMENDACIONES	153
7	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	155

LISTA DE CUADROS

Pág.

Tabla 1.Tipos de equipos de perforación según su capacidad de perforación. 43

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema del desarrollo de las tecnologías de información y comunicación en el ámbito educativo	24
Figura 2. Ejemplo de un Rig para perforación en tierra.	42
Figura 3. Rig sumergible sobre el lecho marino.	44
Figura 4. Esquema de un Rig Semisumergible anclado al fondo marino.	44
Figura 5 Buque de Perforación.	45
Figura 6. Plataforma de perforación	46
Figura 7. Esquema de un Rig Autoelevadizo con sus pilares descansando en el fondo marino.	47
Figura 8. Elementos de un Equipo de Perforación Convencional.	48
Figura 9. Principales Componentes del Sistema de Rotación.	51
Figura 10. Sistema de Levantamiento y sus principales componentes.	55
Figura 11. Esquema del Sistema de Circulación y sus componentes principales.	58
Figura 12. Diagrama del equipo básico de Prevención de Reventones.	63
Figura 13. Perfil típico de registros tomados en hueco abierto para evaluar la formación	80
Figura 14. Tubería Conductora.	106
Figura 15. Tubería Superficial.	107
Figura 16. Tubería Intermedia.	108
Figura 17. Tubería de Explotación.	109
Figura 18. Tubería corta de perforación (Liner).	110
Figura 19. Visualización de la aplicación <i>DrillLearning.exe</i> .	135
Figura 20. Ventana de visualización de la introducción.	135
Figura 21. Ventana de visualización de la página de inicio.	136
Figura 22. Contenido de la sección Perforación de pozos.	138

Figura 23. Ventana de visualización del contenido.	140
Figura 24. Visualización de videos y animaciones.	141
Figura 25. Visualización del Mapa Interactivo del Rig de Perforación.	143
Figura 26. Iluminación del Sistema de Rotación.	144
Figura 27. Ventana de visualización del Sistema de Rotación.	145
Figura 28. Ventana de visualización del módulo de evaluación.	146
Figura 29. Visualización del módulo de Ayuda.	147
Figura 30. Botón Inicio.	148
Figura 31. Botón Acceso a Menú.	148
Figura 32. Botón Página Anterior.	149
Figura 33. Botón Página Siguiente.	149
Figura 34. Botón de Salida.	150

RESUMEN

TITULO: HERRAMIENTA MULTIMEDIA PARA EL ESTUDIO DEL ÁREA DE PERFORACIÓN DE POZOS EN EL PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS*

AUTORES:

DANIEL ANDRÉS VANEGAS PÉREZ

CHRISTIAN LEONARDO GONZÁLEZ GONZÁLEZ**

PALABRAS CLAVE: Herramienta, multimedia, educativa, perforación, pozos.

DESCRIPCIÓN:

La herramienta educativa se ha desarrollado con el fin de ofrecer un soporte académico a los estudiantes de la asignatura perforación de pozos en Ingeniería de Petróleos. Este soporte está enfocado a ser parte de un plan mayor de actualización en la forma del proceso de enseñanza en busca de mejorar el bajo nivel de aprendizaje.

Ha sido diseñada basándose en criterios de Materiales Educativos Computarizados (MEC) de tal forma que posea una interfaz interactiva que facilite la comprensión de conceptos de forma independiente a la temática específica que se está revisando. El contenido ha sido incorporado en diferentes formas como texto, imágenes, animaciones, y videos estableciendo el componente multimedia que permita profundizar la comprensión de los principales procesos durante la perforación de un pozo petrolero.

Adicionalmente, se desarrolló a base de criterios pedagógicos que permitan al estudiante alcanzar su aprendizaje por medio de la interacción con la herramienta, el refuerzo de sus conceptos, y la retroalimentación que obtendrá al discutir sus inquietudes con el docente de la asignatura, o sus compañeros de clase.

Mediante el desarrollo de esta herramienta se ha seguido un proceso que busca incentivar a los estudiantes en proceso de formación al desarrollo de este tipo de tecnologías en información y comunicación (TIC) aplicado a otras asignaturas del plan de estudios, para su tesis de grado.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Químicas, Escuela de Ingeniería de Petróleos, Director del proyecto Ing. Cesar Augusto Pineda Gómez.

SUMMARY

TITLE: MULTIMEDIA TOOL FOR STUDYING OIL DRILLING AREA IN PETROLEUM ENGINEERING ACADEMIC PROGRAM

AUTHORS:

DANIEL ANDRÉS VANEGAS PÉREZ

CHRISTIAN LEONARDO GONZÁLEZ GONZÁLEZ**

KEYWORDS: Tool, multimedia, educational, well, drilling.

DESCRIPTION:

This educational tool has been developed with the purpose of giving an academic support to well drilling subject students in petroleum engineering. This support is intended to be a part of major plan of teaching methodologies updating in order to enhance the actual low level learning.

It has been designed having as main stream Computational Education Materials (CEM) criteria, in such way that there is an interactive interface easing concepts comprehension in an independent manner according to a specific theme being reviewed. Content has been incorporated in several different ways such as text information, pictures, animations and videos establishing per se the multimedia component that allows to any student going further in well drilling main processes understanding.

Additionally Its design has been developed based in pedagogical criteria that allows the students to achieve learning through the interaction with the tool, concepts reinforcement, and feedback obtained by discussion of questions and answers with the subject teacher, or classmates.

Through the development of this tool the authors have followed a process that pretends to stimulate the students in formation process to develop this kind of Information and Communication Technologies (ICT) applying it to other subjects from the main curriculum, as a thesis.

* Work degree.

** Physical and Chemical Engineering Faculty, Petroleum Engineering School, Project Director Ing. Cesar Augusto Pineda Gómez.

INTRODUCCIÓN

Es innegable el gran desarrollo que las tecnologías de la información y la comunicación (TIC's) han ejercido en todas las áreas del conocimiento humano, a tal punto que en este momento no solo son vistas como un implemento importante sino necesario en el desarrollo del conocimiento y en los procesos de aprendizaje de cualquier persona en el mundo. Además, el incremento del uso y las tecnologías de Internet han podido llegar a una gran mayoría de usuarios favoreciendo el acceso a contenidos y la comunicación con las personas estableciendo un nuevo sistema de comunicación que cruza las barreras habituales del espacio y del tiempo: es posible comunicarnos desde cualquier lugar, sin estar con nuestro interlocutor en el mismo espacio o en el mismo momento.

El desarrollo de estas tecnologías ofrece la posibilidad del mejoramiento de la calidad de la educación y el acceso masivo a la misma. El desarrollo de entornos interactivos con objetos multimedia fue implementado en algunas universidades europeas como primer paso hacia ese ideal. En el área de ingeniería de petróleos existen herramientas desarrolladas para uso a nivel interno de las grandes compañías. A nivel universitario son escasos los proyectos generados para el desarrollo de entornos de aprendizaje a nivel computacional.

Esta herramienta multimedia se ha desarrollado buscando satisfacer esa posibilidad en el mejoramiento del proceso enseñanza-aprendizaje, y el acceso de forma masiva al contenido del área de perforación de pozos en ingeniería de petróleos en la Universidad Industrial de Santander. Está basada principalmente en la asimilación de conceptos aislados por parte del usuario que le permitan establecer una relación de los mismos en temáticas diferentes dentro de la herramienta.

El presente documento expone la información que refiere al desarrollo del proyecto, está dispuesto en cuatro elementos a saber: Tecnologías de Información y Comunicación; su definición a base de aquellas exhibidas por parte de la UNESCO y la Comisión de las comunidades europeas, la relación con la educación especialmente a través del computador destacando algunos de los

principales usos de los Medios Educativos Computacionales (MECs), el estado del arte basado en relación a las tecnologías de vanguardia y su aceptación en el campo de la educación, y las restricciones encontradas en materia de capacitación del personal docente para el uso y la implementación de tales tecnologías. Por otra parte se destacan las generalidades y el equipo utilizado en la perforación de pozos en ingeniería de petróleos, el diseño de la perforación y el proceso convencional destacando los eventos comunes a tener en cuenta. Se presenta la metodología de desarrollo de la herramienta multimedia en la cual se establece la razón de la selección tanto de ordenamiento como de componentes principales junto con las restricciones, la interfaz, el diseño lógico y físico, contenido de la herramienta, y el funcionamiento general de la misma. Finalmente se presenta el manual del usuario de la misma.

La herramienta multimedia, llamada DrillLearning por sus autores proporcionará al estudiante de ingeniería de petróleos un medio de estudio disponible en cualquier momento y lugar, lo cual con la guía inherente del docente, facilitará que en el proceso de enseñanza-aprendizaje sea más eficiente.

1. TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN.

Las tecnologías de información y comunicación (TIC's) han sido definidas por varios autores durante el transcurso de los años, tal definición varía de acuerdo al entorno tecnológico que predomina entre las personas en el mundo. A continuación se presentan algunas de las definiciones mayormente aceptadas en la actualidad:

“Las tecnologías de la información y de las comunicaciones (TIC) son un término que se utiliza actualmente para hacer referencia a una gama amplia de servicios, aplicaciones, y tecnologías, que utilizan diversos tipos de equipos y de programas informáticos, y que a menudo se transmiten a través de las redes de telecomunicaciones”¹.

[TIC es el acrónimo usado para tecnologías de la información y comunicación.

Es un término que recoge cualquier clase de dispositivo de comunicación. Generalmente hace referencia al uso de computadores personales, aunque también incluye elementos como teléfonos móviles y cámaras digitales.

También abarca la radio, televisión, computador y hardware de red y software y sistemas satelitales por ejemplo, como también diversas aplicaciones y servicios asociados a ellos, tales como la video conferencia y educación a distancia.

El significado de las TIC está mayormente enfocado a su habilidad para

¹COMISIÓN DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS, Comunicación de la comisión al consejo y al parlamento europeo. Tecnologías de la información y de la comunicación en el ámbito del desarrollo. El papel de las Tic en la política comunitaria de desarrollo. Bruselas, 14.12.2001

crear un acceso masivo a la información y el conocimiento, que aquello que atañe a la tecnología en sí.

La UNESCO trabaja para enfocar el poder de las TIC en el avance del desarrollo de la educación, ciencia, cultura e información y comunicación.]²

De esta forma se puede definir como tecnologías de información y comunicación al conjunto de tecnologías, aplicaciones, y servicios, que por medio de herramientas de comunicación facilitan el acceso a la información. Su objetivo es el desarrollo de la transmisión eficiente de la información, y su finalidad es la masificación de la misma de tal manera que se pueda favorecer la impersonalidad y la intemporalidad, del individuo y la información respectivamente. Indirectamente transforman la forma en que se comunican las personas entre sí, como también la forma en que reciben y transmiten información.

Es necesario especificar el campo en el que se trabajan las tecnologías de información y comunicación ya que el enfoque que se le puede dar a su definición variará de acuerdo al mismo. Las TIC no se pueden implementar de la misma forma en el campo de las telecomunicaciones por ejemplo, a como se trabajaría en un entorno educativo, pues a pesar de que existan similitudes tanto en las herramientas implementadas, como en las aplicaciones y servicios, existirán diferentes metodologías de implementación y adaptación de las tecnologías hacia el fin que se desea buscar. En este caso cabe aclarar que una de las diferencias más importantes yace en que en la educación las tecnologías de información y comunicación no hacen referencia a la tecnología como un instrumento, sino a la aplicación que se da a esta para obtener mejores resultados en el estudio de una asignatura determinada.

1.1 DEFINICIONES PRELIMINARES.³

Para comprender un poco más a fondo a las tecnologías de información de

²Que son exactamente las TIC?. Publicación en Línea, Idioma Original: Inglés. Palabras Clave, [What exactly is ICT] (<http://www.unesco-ci.org/knowledgebase/questions/23/What+exactly+is+ICT%3F>) [revisado en Octubre 20 de 2009]

³Cueva Carrión, Samanta Patricia. Pacheco Montoya, Emma Patricia. Rodríguez Morales, Germania del Rocío. Santos Delgado, Ana Alexandra. Tecnologías de información y comunicación (TIC's) en la educación superior. Universidad Técnica Particular de Loja. Enero 2009

comunicación, la forma en que han sido implementadas en la educación, y la metodología de desarrollo de la Herramienta multimedia (software educativo) es necesario comprender algunos de los siguientes conceptos:

- **E-learning:** Este término se refiere comúnmente al uso de las tecnologías de información y comunicación en la red para la enseñanza y el aprendizaje. También es conocido como Aprendizaje en Línea, Aprendizaje Virtual, Aprendizaje basado en Web y Redes. Consiste de plataformas diseñadas para almacenar y distribuir la información y el conocimiento mediante Internet, de tal forma que se facilite el acceso masivo a la misma. El e-learning incorpora todas las actividades educativas que se realicen ya sea individualmente, en un computador personal, o cualquier dispositivo electrónico individual, como también por cualquier grupo que pueda acceder a la información, en ambos casos el acceso puede darse permanentemente en línea o mediante contenidos de uso sin Internet tales como DVD, o paquetes descargables.
- **Objetos de aprendizaje:** Los objetos de aprendizaje, se definen como un ente, digital o no, el cual puede ser usado, re usado, o referenciado, durante el aprendizaje por medio de la tecnología⁴. Cualquier tipo de Animación, Simulación, Mapa Interactivo, Juego, Aplicación, entre otros, implementado en un proceso de aprendizaje puede ser entendido como un objeto de aprendizaje. Estos objetos de aprendizaje comúnmente se enlazan, o se establecen en repositorios.
- **Assets:** Contenidos gráficos digitales que son usados de forma externa por otros recursos, por ejemplo, una animación en una plantilla, o un archivo de audio en una presentación, de esta forma encontramos Assets de tipo Mp3, Swf, Jpg, Gif, Xml, entre otros.
- **Repositorios:** Conocidos como tal, o mejor aún, como “Repositorios Digitales”; su nombre proviene de la traducción directa de “Digital Repositories”. A pesar de ser ampliamente conocidos como repositorios digitales, hacen las veces de reubicadores digitales, pues es en estos donde se almacenan todos los contenidos digitales y Assets, para que puedan ser buscados y utilizados posteriormente. En pocas palabras, Un

⁴Wiley, David A. Connecting learning objects to instructional design theory: A definition, a metaphor, and a taxonomy. Utah State University. 2001.

repositorio facilita la importación, exportación, almacenamiento, e identificación, de cualquier tipo de Assets.

Aquello que diferencia un Repositorio digital de un Sistema de manejo de contenidos es que éste último se diseña para un uso particular en un entorno establecido, mientras que el Repositorio digital permite la utilización de sus recursos en múltiples propósitos, sus contenidos pueden ser buscados y recuperados para uso bien sea humano o de cualquier software.

- **Recursos educativos abiertos:** El concepto Open Educational Resources (OER) hace referencia a los recursos educativos abiertos, es decir, a los materiales y recursos educativos ofrecidos de forma gratuita y abierta a cualquier persona. Debido a que no existe definición alguna de cualquier autoridad en materia educativa, **OLCOS (Open eLearning Content Observatory Services)** es un proyecto co – fundado bajo el programa de eLearning de la Unión Europea. Según este proyecto los contenidos educativos abiertos significan:
 - ✓ Que el acceso al contenido abierto (incluyendo metadatos) está disponible sin coste alguno para las instituciones educativas, servicios de contenidos, y usuarios finales, como profesores y estudiantes.
 - ✓ Que el contenido está bajo licencias flexibles para su reutilización en actividades educativas, sin restricciones que impidan modificar, combinar y redirigir los contenidos a otros fines; en consecuencia, el contenido deberá diseñarse para su fácil reutilización en estándares y formatos de contenido abierto.
 - ✓ Que se utilizan sistemas y herramientas de software para los que esté disponible su código (es decir software de código abierto, “Open Source”) y que existan interfaces de programación de aplicaciones abiertas (Open APIs) y autorizaciones para utilizar los servicios y recursos basados en la Web.

1.2 TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN EN LA EDUCACIÓN.

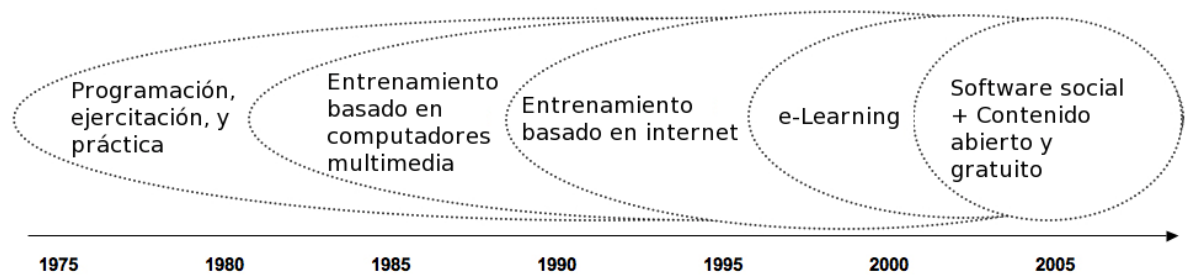
Las TIC han estado presentes en la educación en todas las formas posibles. Algunos ejemplos fueron implementados a través de la radio, televisión, proyección de acetatos, y materiales didácticos. Algunos ejemplos de estas tecnologías en la actualidad son los tableros inteligentes (desarrollados a partir de tecnologías como el computador personal y los proyectores multimedia) los blogs, espacios virtuales, las redes sociales, entre otros.

Si bien es necesario mencionar que la utilización de computadores en el ámbito educativo ha sido limitada por la diferencia, cada vez mayor, entre el desarrollo constante y acelerado de la tecnología computacional y la limitada facilidad de adaptación del proceso educativo a la tecnología predominante, también hay que resaltar que en Colombia el porcentaje de la población que accede a un computador, y más aún en condiciones de conocimiento que le permitan obtener el mejor provecho de él es muy reducido, de tal forma que limita en mayor medida la implementación de herramientas computacionales para el desarrollo de la educación.

1.2.1 Desarrollo de las TIC en la educación. La evolución de las tecnologías de información y comunicación en el campo de la educación ha experimentado cinco cambios importantes en los últimos treinta años, Teemu Leinonen⁵ dividió esta evolución en cinco etapas, entre finales de los años setenta y principios de década posterior al año dos mil.

⁵Teemu Leinonen. "(Critical) history of ICT in education – and where we are heading?" [Publicación en línea]. [<http://flosse.blogging.fi/2005/06/23/critical-history-of-ict-in-education-and-where-we-are-heading/>] [Revisado en: Octubre 20 de 2009]

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



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

La etapa inicial, de programación, ejercitación y práctica, fue desarrollada principalmente en Estados Unidos y Europa. Con la implementación de computadores en las escuelas se enseñó a los estudiantes programación. El proceso no buscaba formar programadores, sino desarrollar en el estudiante la lógica y habilidad matemática. Esta metodología de estudio terminaba en los estudiantes ejercitando la memoria a corto plazo, y definiendo actividades de tipo ensayo y error, razón por la cual se desestimó su profundización en el aprendizaje.

La segunda etapa involucraba el uso de elementos multimedia, soportado en la creencia que los estudiantes aprenderían mejor si observaban las cosas en colores y en forma de animaciones y luego se realizaban ejercicios. De igual forma esta metodología de enseñanza no ofrecía un conocimiento profundo en los estudiantes, ya que se enfocaba más a la repetición y práctica de elementos, razón por la cual tuvo buenos resultados en el aprendizaje de lenguaje.

El entrenamiento basado en Internet, comunicación y colaboración en redes, fue de nuevo la esperanza en el desarrollo de la educación, pues con la llegada de Internet, se entendió que se podía acceder a contenidos actualizados e intemporales de forma masiva y con bajo costo, la problemática para algunos fue nuevamente la ausencia de contenido multimedia en Internet, razón atribuida a la falta de aprendizaje por medio de Internet en las personas.

Todo esto conllevó finalmente a la implementación del e-learning, que consistía principalmente en el desarrollo de cursos y plataformas educativas que requerían actividades por parte de estudiantes y profesores sin necesidad de contacto físico,

favoreciendo la impersonalidad, lo cual implicaba que cualquier persona con acceso a internet, podía fácilmente estudiar cualquier temática sin importar su ubicación. Se comprendió que el aprendizaje necesita de interacción entre las personas, pero esto no conllevó a un fracaso del e-learning, por el contrario las personas comprendieron que podrían estudiar el contenido de alguna temática por su cuenta, y aquellas cosas que no fueran comprendidas a satisfacción, podrían ser consultadas y reforzadas con amigos, o docentes. De esta forma e-learning evolucionó y se posicionó en Internet como una de las fuentes de información y aprendizaje con vigencia en la actualidad, y sentó las bases para lo que se cree que puede ser el futuro de las tecnologías de información y comunicación en la educación, el software social y los contenidos gratuitos.

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

1.2.2 Computación en la educación. El desarrollo de las tecnologías de información y comunicación en el campo de la educación se ha visto influenciado en mayor magnitud debido a la implementación de la computación en los centros educativos de la forma en que se expuso anteriormente. Es importante comprender cuales son los usos más significativos que se pueden dar actualmente a la computación en el proceso educativo a fin de determinar cuál es la mejor forma de diseñar un nuevo elemento de educación. Un conocimiento en teorías de aprendizaje, para el enfoque que se desea implementar, y un conocimiento en sistemas de educación computacional se presentan inherentes a un buen proceso de enseñanza-aprendizaje por medio de tecnologías de información y comunicación.

1.2.2.1 Teorías de Aprendizaje: Conductismo y Cognitismo. Dentro de las teorías de aprendizaje mayormente implementadas en el desarrollo de herramientas de aprendizaje computacionales destacan las teorías del aprendizaje enfocadas al conductismo y el cognitismo. Ertmer y Newby⁶ realizan una comparación entre teorías desde la perspectiva del diseño de instrucciones estableciendo inicialmente un punto de partida para la definición de aprendizaje.

“El aprendizaje ha sido definido de varias maneras por numerosos teóricos, investigadores y profesionales de la educación. Aunque no existe una definición universalmente aceptada, muchas de ellas presentan elementos comunes. La siguiente definición de Shuell (según la interpreta Schunk, 1991) incorpora esas ideas principales comunes: "El aprendizaje es un cambio perdurable en la conducta o en la capacidad de comportarse de una determinada manera, la cual resulta de la práctica o de alguna otra forma de experiencia".”⁷

La teoría conductista se encuentra centrada en la variación de la conducta observable, y establece que el aprendizaje es la exhibición de una respuesta apropiada generada a partir un estímulo ambiental específico.

En el conductismo la forma de alcanzar el conocimiento recae en el refuerzo de la conducta apropiada, ya que es esta última la que establece que el conocimiento se ha adquirido. Si el estudiante responde correctamente frente a un cuestionamiento en un tema específico, se le proporciona un estímulo positivo buscando reforzar esa conducta. Este ejercicio se hace repetitivo las veces que sea necesario hasta que todas las respuestas estén asimiladas. De esta forma se

⁶ERTMER, PEGGY A. NEWBY, TIMOTHY J. Behaviorism, Cognitivism, Constructivism: Comparing Critical Features from an Instructional Design Perspective [Documento en Línea] [Traducido por: Nora Ferstadt y Mario Szczurek Editado por: Pablo Ríos. Universidad Pedagógica Experimental Libertador Instituto Pedagógico de Caracas] [http://ares.unimet.edu.ve/programacion/psfase3/modII/biblio/CONDUCTISMO_%20COGNITIVISMO_%20CONSTRUCTIVISMO.pdf] [Revisado en: Octubre 2010]

⁷ Ibid., p. 4

entiende que la teoría conductista establece al estudiante como reactivo a las condiciones del ambiente y no se le considera parte activa en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Según Ertmer y Newby⁸ una gran parte de los supuestos y características básicas del conductismo están incorporadas en las prácticas actuales del diseño de instrucción, entre ellos se pueden encontrar:

- Un énfasis en producir resultados observables y mensurables en los estudiantes [objetivos de conducta, análisis de tareas, evaluación basada en criterios]
- Evaluación previa de los estudiantes para determinar dónde debe comenzar la instrucción [análisis del estudiante]
- Énfasis en el dominio de los primeros pasos antes de progresar a niveles más complejos de desempeño [secuencia de la presentación, aprendizaje para el dominio]
- Uso de refuerzos para impactar al desempeño [premios tangibles, retroalimentación informativa]

A diferencia de la teoría conductista, La teoría cognitiva entiende el aprendizaje como la asimilación de la información en la memoria y no el cambio en la probabilidad de respuesta del estudiante. Es por tal razón que no cree necesario estudiar los procedimientos de estímulo-respuesta sino conceptualizar los procesos de recepción, organización, almacenamiento, y localización de la información que reciben los estudiantes.

La teoría cognitiva se concentra en las actividades mentales que conllevan a la consecución de una respuesta, y en los mecanismos que facilitan estas variaciones mentales: Memoria, percepción, comprensión, atención, entre otros. Al

⁸Ibid., p. 9

comprender estos mecanismos pretende establecer una serie de procesos que permitan al estudiante alcanzar el conocimiento mediante el uso de estrategias específicas que debe decidir por sí mismo.

Según Ertmer y Newby⁹ una gran parte de las estrategias de instrucción promovidas y utilizadas por los cognitivistas, también lo son por los conductistas. La retroalimentación (refuerzo) es una de ellas, aunque se establece que mientras el conductista utiliza la retroalimentación para reforzar una conducta apropiada en el estudiante, el cognitivista utiliza el refuerzo como guía y apoyo de una conexión mental adecuada en el estudiante.

Ertmer y Newby¹⁰ establecen una asociación entre los supuestos o principios específicos cognitivistas directamente pertinentes al diseño de instrucción y su implementación actual en el mismo incluyendo los siguientes:

- Énfasis en la participación activa del estudiante en el proceso de aprendizaje [autocontrol, entrenamiento metacognitivo (por ejemplo técnicas de autoplanificación, monitoreo y revisión)].
- Uso de análisis jerárquico para identificar e ilustrar relaciones de prerrequisito [procedimientos de análisis de tareas cognitivas].
- Énfasis en la estructuración, organización y secuencia de la información para facilitar su óptimo procesamiento [uso de estrategias cognitivas tales como esquematización, resumen, síntesis, y organizadores avanzados, etc.].
- Creación de ambientes de aprendizaje que permitan y estimulen a los estudiantes a hacer conexiones con material previamente aprendido [evocación de prerrequisitos, uso de ejemplos pertinentes, analogías].

⁹Ibid., p. 14

¹⁰Ibid., p. 15

1.2.2.2 Enfoque del aprendizaje y sistemas de educación computacional¹¹. Es necesario establecer el tipo de educación que se desea apoyar, pues en el proceso enseñanza – aprendizaje existen diversas formas de dirección, una de estas corresponde al aprendizaje que es impartido por el docente hacia los estudiantes, es conocido como metáfora de transmisión y supone que el estudiante es un ser dependiente y el docente es quien decide qué y cómo enseñar. El aprendizaje autodirigido, conocido como metáfora del dialogo, supone que el ser humano crece en capacidad de autodirigirse, como un componente esencial de madurez y que ésta capacidad debe desarrollarse lo más rápido posible. Estos ambientes de aprendizaje correctamente empleados pueden complementarse de tal forma que el estudiante puede desarrollar las competencias necesarias por su cuenta a partir de los recursos que se le proporcionan en los centros educativos.

Complementario a lo anterior no es extraño que se hayan desarrollado dos formas sistemáticas para la creación y uso de tales ambientes de aprendizaje, de esta forma se tiene un enfoque Algorítmico, el cual hace referencia a un conjunto ordenado y finito de operaciones que permiten hallar la solución a un problema. Por otro lado se establece un enfoque Heurístico, bajo el cual el desarrollo de las actividades, y la solución de los problemas recaen en la asimilación por parte del estudiante de las enseñanzas que ha proporcionado su maestro. Con este enfoque es el docente quien decide aquello que desea enseñar, la forma de hacerlo, y las herramientas para lograrlo, proporcionando una educación controlada.

1.2.2.3 Usos educativos del computador¹². Durante la década de los años 90 y el primer lustro del nuevo milenio el uso de la computación se extendió a la gran mayoría de actividades en el mundo, principalmente debido a su incursión en la mayoría de hogares del planeta. Actualmente la tecnología ha evolucionado a tal punto que proporciona una facilidad para el acceso a la computación en cualquier momento y en lugar del mundo. Es por tal razón que juega un papel de gran importancia en el desarrollo de la educación.

¹¹PINEDA RUGELES, HERNAN – CASTRO VILLADIEGO, JUAN CARLOS. Herramienta multimedia para el estudio y diseño de facilidades de superficie en la industria de los hidrocarburos. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 2010, p. 5

¹²Ibid, p. 7.

Dentro de los principales usos de la computación en el ámbito educativo se pueden encontrar todas las destrezas desarrolladas por el estudiante a partir del uso progresivo de la computación y bajo algunas especializaciones tales como la programación. Sin embargo, existen otros métodos de impartir conocimiento a través de la computación que están directamente relacionados al uso de una herramienta computacional específica, es el caso de los materiales educativos computarizados que se presentan a continuación.

1.2.2.4 Materiales educativos computarizados (MECs). Los materiales educativos computarizados buscan proporcionar elementos que faciliten el proceso de enseñanza – aprendizaje, principalmente para aquellos tópicos que son difíciles de transmitir para el estudiante, dificultando su asimilación. Estos Materiales permiten crear escenarios en los cuales el usuario puede vivir, analizar, modificar, y repetir a voluntad una actividad bajo una perspectiva en la que es posible poner a prueba sus propios patrones de pensamiento.

A continuación se presentan algunas de las tecnologías diseñadas bajo MECs para favorecer el proceso de educación por computador.

- **Sistemas tutoriales:**Un sistema tutorial incluye cuatro fases que deben formar parte de todo proceso de enseñanza-aprendizaje dentro de las cuales se tienen: la fase introductoria, en la cual se genera la motivación, se desarrolla de formas diferentes dependiendo del público hacia el cual está dirigido el sistema. Este sistema centra la atención y favorece la percepción selectiva de lo que se desea enseñar. En segundo lugar se tiene la fase de orientación inicial bajo la cual se establece la codificación, almacenamiento, y retención de los conceptos aprendidos. La fase de aplicación es aquella en la cual hay transferencia de lo aprendido. En la fase de retroalimentación el estudiante demuestra lo aprendido y el sistema ofrece retroinformación y refuerza a base de los resultados obtenidos por el estudiante.

Los tipos de aprendizaje que son favorecidos a través de sistemas 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.

- **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 estudiante 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 sobre-ejercitación por defecto, en los cuales el computador mantiene un perfil de diagnóstico de las habilidades que ha logrado el usuario y de las que no ha alcanzado, proponiendo una mayor cantidad de ejercicios para mejorar las habilidades en las cuales falló. Estos sistemas tienen como limitación el apoyo de 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 estudiante 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 depende de la necesidad educativa que se va a atender con estos y la manera como sea utilizado. Para que estos favorezcan aprendizaje de tipo Heurístico, deben generar confianza en el estudiante que los va a usar mediante la posibilidad de realizar correcciones si este se equivoca.

- **Lenguajes sintónicos y micromundos exploratorios:** Una manera de interactuar con micromundos es mediante un lenguaje de programación, en particular si es de tipo sintónico. Como dice Álvaro Galvis “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”¹³, el uso de lenguajes de computación que permitan interactuar con micromundos es clave no solo por la naturalidad con que se puede usar el lenguaje, también lo es debido a 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.

- **Sistemas expertos con fines educativos:** Estos sistemas son de tipo heurístico y son capaces de representar y procesar a partir 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 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.** Estos sistemas 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

¹³Citado por: PINEDA RUGELES, HERNAN – CASTRO VILLADIEGO, JUAN CARLOS.

Herramienta multimedia para el estudio y diseño de facilidades de superficie en la industria de los hidrocarburos. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 2010. p. 11.

la forma de lo que se aprende, a los intereses, expectativas y características del estudiante, 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 interfaces adaptativas a partir de los cuales se puede llegar al conocimiento buscado. Finalmente, a partir del análisis de lo que sabe el estudiante frente a lo que debería saber, la información sobre sus características como aprendiz y su desempeño frente a las distintas formas y tácticas didácticas se puede aplicar para promover el logro del aprendizaje que se desea alcanzar.

1.2.3 Estado del arte en tecnologías de información y comunicación en la educación. El acceso a Internet se ha masificado de manera importante en el mundo, con el desarrollo tecnológico de la actualidad los computadores de escritorio están siendo relegados para usos administrativos en empresas, y de entretenimiento en los hogares. El acceso a la información hoy por hoy lo gobiernan los dispositivos móviles tales como computadores portátiles cada vez más pequeños y de mayor capacidad y prestaciones, teléfonos celulares inteligentes, Agendas Personales con conectividad Wifi, consolas de videojuegos portátiles, o reproductores multimedia facilitando el acceso masivo a información en Internet, el desarrollo de documentos de texto, hojas de cálculo, presentaciones, y mejor aún interactividad en el ciberespacio en cualquier momento. Las posibilidades de implementación de esta tecnología a la educación se denomina Mobile Learning (mLearning) y se considera la actualidad del eLearning.

De la misma forma en la que se introdujo la computación en la educación cuando no existía la multimedia, las calculadoras científicas y más tarde las calculadoras programables y graficadoras, en cada ocasión se establecieron argumentos en contra de su uso e implementación; los estudiantes de cálculo diferencial e integral no podían hace unos años usar este tipo de tecnologías en clase, debido a que se favorecía la disminución en la comprensión del proceso por parte del estudiante al

usar la calculadora para obtener los resultados sin realizar los procedimientos. Finalmente la forma de evadir este problema se consiguió utilizando variables en los problemas propuestos en vez de datos numéricos, se subsanó el problema con los estudiantes de cálculo diferencial e integral, y sin embargo en la actualidad las calculadoras programables son de alguna forma indispensables en el estudio de Ingenierías, carreras de negocios, y estadísticas. Es en la misma forma en la que los computadores portátiles tomaron cada vez más terreno en la educación gracias al Wifi (Conexión sin cables). Hoy por hoy el computador portátil es el hardware más importante en la universidad, material necesario y aceptado para un estudiante.

Con la aparición de los teléfonos celulares Symbian, o teléfonos inteligentes, el mLearning alcanzó un nivel superior absoluto, pues si ya a principios de década cuando se conocían bien las bondades de Internet se llegó a pensar en la posibilidad de permanecer “en línea” todo el tiempo y en todo lugar, pues con el aumento en cobertura de Internet ya sea mediante Wifi o tecnología móvil4G, esa idea está al alcance de la mano. Los teléfonos celulares inteligentes de la actualidad facilitarían en gran medida el aprendizaje en aquellas horas consideradas “perdidas” mientras se viaja de un lugar a otro o se espera en un aeropuerto o terminal terrestre, incluso en el tiempo que es parcialmente libre mientras se realiza otra labor. En la actualidad el teléfono celular ocupa el segundo puesto en importancia detrás del computador portátil en el campus universitario.

Bajo este panorama cabe pensar que una oportunidad como la educación en línea es más factible y eficiente para las personas en la actualidad de lo que fue hace diez años. Sin embargo, el eLearning no se adaptó de igual manera en este lapso de tiempo, lo que finalmente recae en que la educación en línea si bien está hoy al alcance de más personas gracias al mLearning, los resultados obtenidos no son aún los más satisfactorios. En la actualidad eLearning sigue siendo la misma base que se sentó hacia comienzos de la década, una interfaz donde el estudiante revisa el tema por su cuenta a través de una plataforma en línea y sus inquietudes las satisface en las oportunidades en que puede tener contacto con el tutor o docente, sencillamente se han incorporado todos los elementos de aprendizaje que en la actualidad son más accesibles debido al incremento de la velocidad en Internet.

La intención por mejorar el aprendizaje en línea ha comenzado por parte de las universidades, la educación superior principalmente en Europa es consciente de la

necesaria adaptación a las nuevas tecnologías tanto del sistema educativo como del personal docente. Existen cambios muy marcados en la conducta de los jóvenes en la actualidad; estos cambios abarcan desde asuntos tan sencillos como la ausencia de libros, profesores, y personas en general como fuentes de consulta ante las inquietudes de un niño, ya que Internet es la fuente de conocimiento predominante entre la juventud de la actualidad, hasta la facilidad de adaptación a las nuevas tecnologías por parte de la misma. No es extraño que las personas nacidas hacia principios de la década del noventa, personas que llegaron a un mundo donde los computadores estaban presentes en la mayoría de los hogares, con acceso a Internet, multimedia, y todo lo que estas dos herramientas conllevan, puedan adaptarse fácilmente a nuevas tecnologías como pantallas táctiles, Internet móvil, multimedia en 3D, plataformas de acceso masivo en tiempo real, entre otras.

Lo que realmente importa de lo expuesto anteriormente, es que los docentes en los colegios y universidades siguen implementando el sistema de educación que les fue impartido hace varias décadas cuando el cambio no se hacía tan notorio. Para estos docentes resulta muy difícil adaptarse a nuevas tecnologías, tanto así que para una gran mayoría el desarrollo máximo se dio en el momento en que dejaron de usar el tablero de clase y acudieron a las presentaciones digitales en computador. Los elementos de aprendizaje de la actualidad rara vez se encuentran en una presentación de ese tipo, pues la mayoría están saturadas de gráficos digitalizados y ecuaciones textuales.

Los esfuerzos tomados por las universidades por mejorar la situación recayeron en metodologías como el Aprendizaje basado en competencias, el cual involucra conocimientos, habilidades, y actitudes que debe adquirir el estudiante dentro y fuera del aula, preparando estudiantes para un aprendizaje autónomo. Aprendizaje centrado en el estudiante, el cual consiste en dejar el control del aprendizaje en sí, en manos del aprendiz, inteligencias múltiples que permitan aprender a vivir, a conocer, a hacer, y a ser (Bagnasco, 2003). De igual forma hay que resaltar que a partir del año 2010 es cuando la mayoría de los jóvenes mencionados anteriormente accederán a las universidades en todo el mundo, y no se debe continuar con el simple propósito de adaptar el sistema de educación a las tecnologías de información y comunicación que predominan en la actualidad, para fortuna y desgracia de muchos, la tecnología continuará avanzando a pasos agigantados, y tanto los docentes, como los sistemas de evaluación, y aún más los de educación también deben hacerlo.

1.2.4 Ventajas y desventajas de las TIC en la educación. La implementación de las tecnologías de información y comunicación en la educación conlleva a la solución de algunos problemas fundamentales de la misma, a pesar de generar problemas que de no ser controlados adecuadamente pueden jugar un papel contraproducente en la efectividad del proceso educativo.

Dentro de las ventajas del uso de tecnologías de información y comunicación en el proceso educativo se pueden encontrar:

- Facilitan la intemporalidad y la impersonalidad en el proceso de aprendizaje
- Facilitan la masificación tanto de los recursos educativos como del acceso a la educación
- Intensifica el proceso de aprendizaje entre estudiantes y maestros mediante el apoyo de mutuo entre las partes, el intercambio de información, y la discusión global de tópicos en algún tema, en el que pueden intervenir estudiantes, docentes, y personas que ejercen la profesión.
- Facilita el desarrollo de competencias profesionales como lo son: trabajo en equipo, disciplina, integración de conocimientos, entre otros.
- Incrementa el nivel de conocimiento adquirido por el estudiante en el tópico en el que se ejercita.
- Reduce la necesidad de infraestructura de las instituciones para albergar cada vez un mayor número de personas en un recinto para impartir conocimiento.

Dentro de las desventajas que se pueden establecer en la aplicación de tecnologías de información y comunicación en el proceso educativo están:

- La llamada “Brecha en la educación” representa la distribución de capacidad de crecimiento y cobertura de Internet en los países más pobres o en vía de desarrollo, esto no favorece el desarrollo de la información, ni el acceso a la educación.

- Con el transcurrir del tiempo, esta brecha educacional generará una nueva escala de clasificación social, la cual entrará a reforzar la ya existente, la diferencia entre estudiados y analfabetas incrementará la división (tecnológicamente hablando, pero no limitándose a ello) entre ricos y pobres, jóvenes y adultos mayores, habitantes urbanos de habitantes rurales.
- Un espacio donde las personas interactúan unas con otras e inclusive con un guía, donde los comentarios o inquietudes pueden ser evaluados por toda una comunidad, favorece un estado de aislamiento para las personas más tímidas; si bien es entendible que es más fácil exponer ideas y pensamientos cuando se está en un espacio virtual, esto no indica que personas que se cohíben de solucionar sus inquietudes en un salón de clases tendrán más facilidad de exponerlas en un espacio virtual.
- Uno de los problemas con mayor importancia para la implementación de tecnologías de información y comunicación en la educación recae en los costos tanto de dotación de equipos para los centros educativos, como de adquisición de los mismos por parte de usuarios particulares que deseen formar parte del proceso de aprendizaje virtual.
- Es necesaria la elaboración de sistemas de evaluación bajo los cuales se pueda seguir el progreso del estudiante ya que a medida que tanto el estudiante como el profesor no se encuentran en un salón de clases, la labor evaluativa del docente se hace más complicada debido a la limitada percepción del desempeño de la persona, en el caso del estudiante, se favorecen actitudes fraudulentas en cuanto al proceso evaluativo, ya que es difícil ejercer control alguno sobre la forma en la que el mismo desarrolla sus exámenes y trabajos.

1.3 TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN INVOLUCRADAS EN EL PROYECTO.

Las tecnologías de información y comunicación que pueden ser implementadas para la educación van desde aquellas de muy bajo costo tales como el teléfono celular, o el computador personal, a aquellas que han sido diseñadas específicamente para ello, como los salones de clases digitales, o electrónicos. La elección del tipo de tecnología a implementar también está sujeta a restricciones que van desde la cantidad de energía necesaria para su funcionamiento, hasta una de las más importantes (y que ha sido despreciada en mayor magnitud en países en vía de desarrollo) el personal capacitado y con las habilidades para el manejo y mantenimiento de la infraestructura tecnológica. Una vez satisfechas estas condiciones hay que evaluar la disponibilidad, accesibilidad, las estrategias pedagógicas, y el costo que conllevará el establecimiento de dicha tecnología.

A continuación se presentan algunas de las tecnologías implementadas en este proyecto.

- **E-Mail:** El correo electrónico se ha posicionado como la tecnología más utilizada para la transmisión de información digital y multimedia, en el ámbito educativo ha significado una extensión del salón de clases tanto a nivel colegial como universitario, pues implica la impersonalidad en la recepción y envío de información. Durante este proyecto, esta tecnología fue utilizada como medio de transmisión de información y asignación de tareas.
- **World Wide Web:** Si bien el correo electrónico favorece la impersonalidad en el proceso de transmisión de información entre las personas, la web ha conseguido favorecer las dos, impersonalidad e intemporalidad, ya que permite el posicionamiento de la información en internet para que esta sea accesible de forma masiva permanentemente, además el desarrollo de la tecnología computacional y de telecomunicaciones ha permitido que los contenidos que puedan ser establecidos en la web abarquen la totalidad multimedia (Información textual, Video, Audio, Imágenes). Durante este proyecto, esta tecnología fue utilizada como fuente de información. Hacia

un futuro se espera que la herramienta desarrollada pueda ser establecida en la web para que le sea dado un acceso masivo.

- **Multimedia, CD-ROMs, y DVDs:** Gracias a estas tres tecnologías el mundo pudo evolucionar en materia de interactividad y transporte físico de datos. Multimedia es la forma más divertida e interactiva de realizar un proceso educativo y de aprendizaje. Los CD-ROMs, inicialmente, seguidos por los DVDs, actualmente Bluray® o HD-DVD (DVDs de alta definición) permitieron y permiten en la actualidad la distribución de información en forma física buscando conseguir un mayor acceso a las personas tanto en diversidad de plataformas, como en los lugares más remotos. El principal problema al que se enfrentan estas tecnologías son sus altos costos de desarrollo. Durante la elaboración de este proyecto se utilizó como fuente de información y como medio de transmisión del producto final.
- **Software de diseño de Presentaciones (Presentational Software):** Básicamente es el software que permite procesar la información para poder transmitirla a las demás personas y a éstas les resulte más fácil su asimilación. Programas como Power Point de Microsoft, requieren un nivel de habilidad mínimo para poder realizar presentaciones, de igual manera existen programas que requieren un nivel de habilidad y conocimiento en software mucho mayor para realizar presentaciones de mayor nivel. Durante la elaboración de éste proyecto, esta tecnología fue utilizada para el desarrollo de la herramienta (bajo la plataforma Adobe Flash)

En materia de tecnología física, durante la elaboración del proyecto se utilizaron computadores portátiles, teléfonos celulares inteligentes, medios de almacenamiento extraíble, y cámaras fotográficas principalmente.

2. PERFORACION DE POZOS DE PETROLEO

2.1 GENERALIDADES

2.1.1 Introducción. La Perforación de un pozo es la única manera de tener certeza de la existencia de hidrocarburos en una zona sugerida para dicho fin por el equipo de investigación geológica. Esta actividad conlleva la realización de múltiples estudios e investigaciones acerca del yacimiento, las estructuras geológicas, la litología de la zona, etc., con el fin de seleccionar el equipo y las técnicas apropiadas que permitan la perforación del pozo en forma eficiente y segura.

A continuación se darán a conocer el equipo, los diferentes sistemas operacionales y cada uno de los componentes que engranan su funcionamiento en pro de la perforación del pozo. De igual forma se mostraran los conceptos básicos, técnicas y operaciones involucradas en esta disciplina así como la metodología para el diseño de la perforación.

2.1.2 Objetivo de la Perforación de Pozos. El objetivo de la perforación es construir un pozo útil: un conducto desde el yacimiento hasta la superficie, que permita su explotación racional en forma segura y al menor costo posible¹⁴

El diseño de un pozo incluye un programa detallado para perforarlo con las siguientes características:

- Seguridad durante la operación (personal y equipo).

¹⁴Diseño de la Perforación de Pozos. PEMEX [En línea] <Disponible en <http://www.scribd.com/doc/20113691/Diseno-de-la-Perforacion-de-Pozos>>

- Costo mínimo.
- Pozo útil de acuerdo a los requerimientos de producción y yacimientos (profundidad programada, diámetro establecido etc.).

Cumpliendo con lo siguiente:

- Seguridad.
- Ecología.
- Costo mínimo.
- Utilidad.

2.2 RIG DE PERFORACIÓN

El término Rig de Perforación se refiere al equipo mediante el cual se perfora un pozo. Los Rigs de perforación son grandes estructuras utilizadas para perforar pozos de petróleo o gas, pueden ser construidos en el sitio en el cual se va a perforar o también pueden ser móviles, montados sobre camiones dispuestos para tal fin. Éstos cuentan con un gran número de mecanismos y componentes que acoplan su funcionamiento con el fin de construir el pozo. Existen diferentes tipos: El Rig para perforación en tierra (Land Rig), y para trabajos Costa Afuera (Offshore), entre los cuales se encuentran el Rig Sumergible, Semisumergible, el Buque de Perforación, las Plataformas (Inmóviles) y el Rig Autoelevadizo (Jack Up Rig). A continuación se mostrará una breve descripción de dichos equipos.

2.2.1 Tipos de Rigs de Perforación¹⁵.

2.2.1.1 Rig de perforación en Tierra. Estos equipos se utilizan únicamente para perforar pozos en tierra y su tamaño puede variar desde pequeñas unidades portátiles transportadas mediante camiones, tractores y remolques hasta grandes dispositivos transportados por partes y que se montan en el sitio de la perforación.

Figura 2. Ejemplo de un Rig para perforación en tierra.



Tomado de: Tomado de: www.rapad-oil.com

De acuerdo al tipo de trabajo que se lleve a cabo, en términos de requerimiento de potencia y profundidad del pozo estos equipos se pueden clasificar conforme a la siguiente tabla:

¹⁵DATALOG - Procedimientos y operaciones en el pozo. Versión 3.0 Marzo 2001.

Tabla 2. Tipos de equipos de perforación según su capacidad de perforación

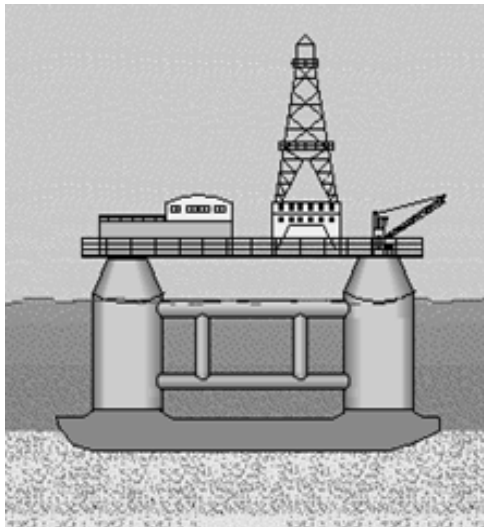
POTENCIA	PROFUNDIDAD	
	Pies	Metros
Liviano	3000-5000	1000-1500
Medio	4000-10000	1200-1300
Pesado	12000-16000	3500-5000
Ultrapesado	18000-25000	5500-7500

Tomado de –El Pozo Ilustrado- FONCIED Caracas 1998 [En Línea] <Disponible en <http://www.svip.org/files/elpozoilustrado.pdf>>

2.2.1.2 Rigs de perforación Offshore.

- **Rigs Sumergibles:** Un equipo de perforación sumergible descansa en el fondo del océano mientras está perforando, los operarios inundan los compartimientos, lo cual produce que el equipo se sumerja y sus bases descansen en el fondo marino, cuando la perforación finaliza y el equipo está listo para ser trasladado, los operarios extraen el agua de los compartimientos y por ende el equipo sale a flote, momento en el cual los botes pueden remolcarlo hacia un nuevo sitio en el cual se vaya a perforar. Estos equipos de perforación son construidos para perforar en profundidades que van hasta los 175 pies, poco más de 50 metros.

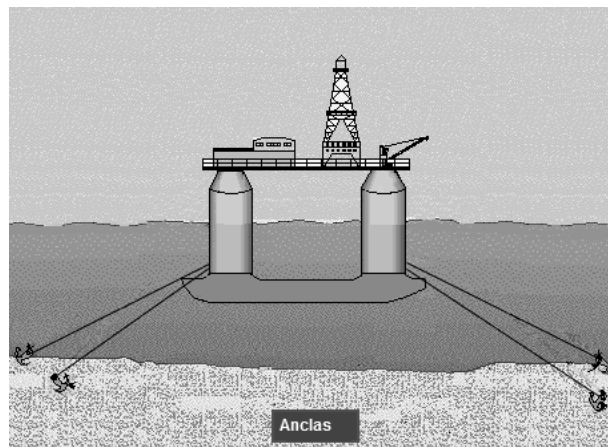
Figura 3. Rig sumergible sobre el lecho marino.



Tomado de: Herramienta Multimedia de perforación-Halliburton

- **Rigs Semisumergibles:** Un equipo de perforación semisumergible, como su nombre lo indica es aquel que se sumerge parcialmente hasta una profundidad predeterminada en el mar.

Figura 4. Esquema de un Rig Semisumergible anclado al fondo marino.



Tomado de: Herramienta Multimedia de perforación-Halliburton

El equipo puede ser transportado en buques especiales dispuestos para tal fin o si el equipo es autosuficiente puede contar con propulsores propios para ser llevado al lugar de la perforación. Una vez allí los pontones y las columnas son inundados con agua con el fin de posicionar el equipo en la profundidad deseada, los operarios pueden anclar el equipo o éste puede ser posicionado dinámicamente mediante un sistema propulsores guiados por un sistema de posicionamiento que lo mantiene en el sitio exacto en el cual se desea perforar. Este sistema permite a los equipos semisumergibles perforar en aguas de hasta 7500 pies de profundidad (+2200 metros).

- **Buques de Perforación:** Un buque de perforación es una unidad autopropulsada construida con el propósito de realizar operaciones a corta y mediana distancia de la costa. Su torre de perforación se encuentra ubicada en el centro del mismo y una abertura en el casco permite el paso de la sarta de perforación hacia el fondo marino.

Figura 5 Buque de Perforación.

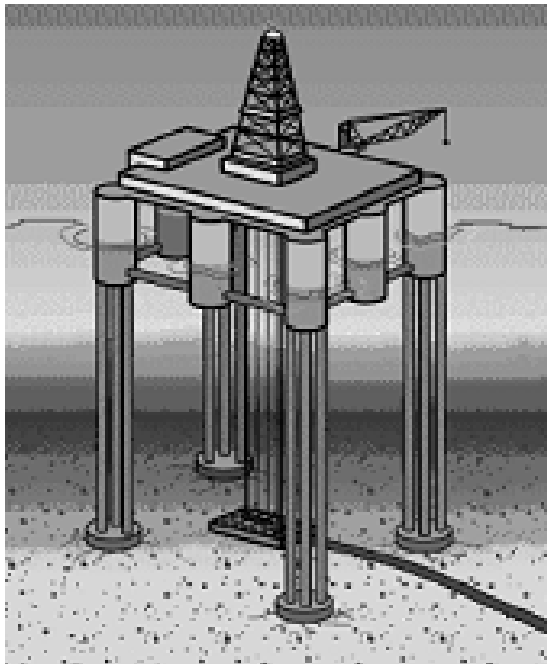


Tomado de: www.examiner.com

El sistema de posicionamiento del buque cuenta con sensores, propulsores y computadoras que anulan o minimizan el efecto del viento, el oleaje y las corrientes marinas que tienden a cambiar la posición del buque brindándole un exacto posicionamiento sobre el pozo.

- **Plataformas:** Las plataformas son unidades de perforación inmóviles que operan en el mar a poca distancia de la costa, una vez construidas en el sitio de la perforación nunca pueden moverse, desde éstas se perforación uno o varios pozos. Algunas plataformas son asistidas por buques auxiliares que flotan junto a la unidad fija en el mar, mientras que en otras no es necesario pues su gran tamaño permite que sean autosuficientes.

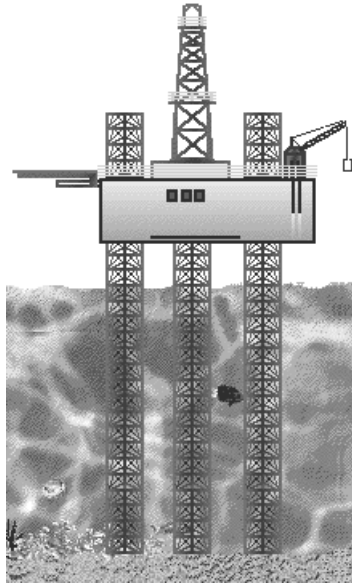
Figura 6. Plataforma de perforación



Tomado de: Herramienta Multimedia de perforación-Halliburton

- **Rigs autoelevadizos (Jack Up):** Estos equipos son utilizados únicamente para realizar trabajos de perforación Offshore (Costa Afuera), están compuestos por pilares, los cuales soportan la cubierta de perforación y el casco, normalmente estos equipos se transportan por medio de barcazas con los pilares retraídos hasta el lugar de la perforación, una vez en el sitio, los operadores fijan la base de los pilares al fondo marino y gradúan la altura de la cubierta.

Figura 7. Esquema de un Rig Autoelevadizo con sus pilares descansando en el fondo marino.



Tomado de: Herramienta Multimedia de perforación-Halliburton

2.2.2 Equipo de un Rig de Perforación. Como se mencionó anteriormente, en un rig de perforación existen numerosos sistemas y dispositivos que confluyen a su funcionamiento. A continuación se mostrara el equipo utilizado en un rig convencional en tierra.

8. Tubería Parada (Stand Pipe)
9. Manguera Rotaria
10. Goose-neck
11. Bloque Viajero
12. Cable de Perforación
13. Poleas del Bloque Corona
14. Estructura de la Torre de Perforación
15. Encuelladero
16. Paradas de Tubería
17. Rack
18. Swivel o Junta giratoria
19. Kelly
20. Mesa Rotaria
21. Piso de Trabajo de la Torre
22. Niple de la campana
23. Válvula (BOP) Anular
24. Válvula (BOP) RAM
25. Sarta de perforación
26. Broca
27. Cabezal del pozo
28. Línea de retorno del lodo

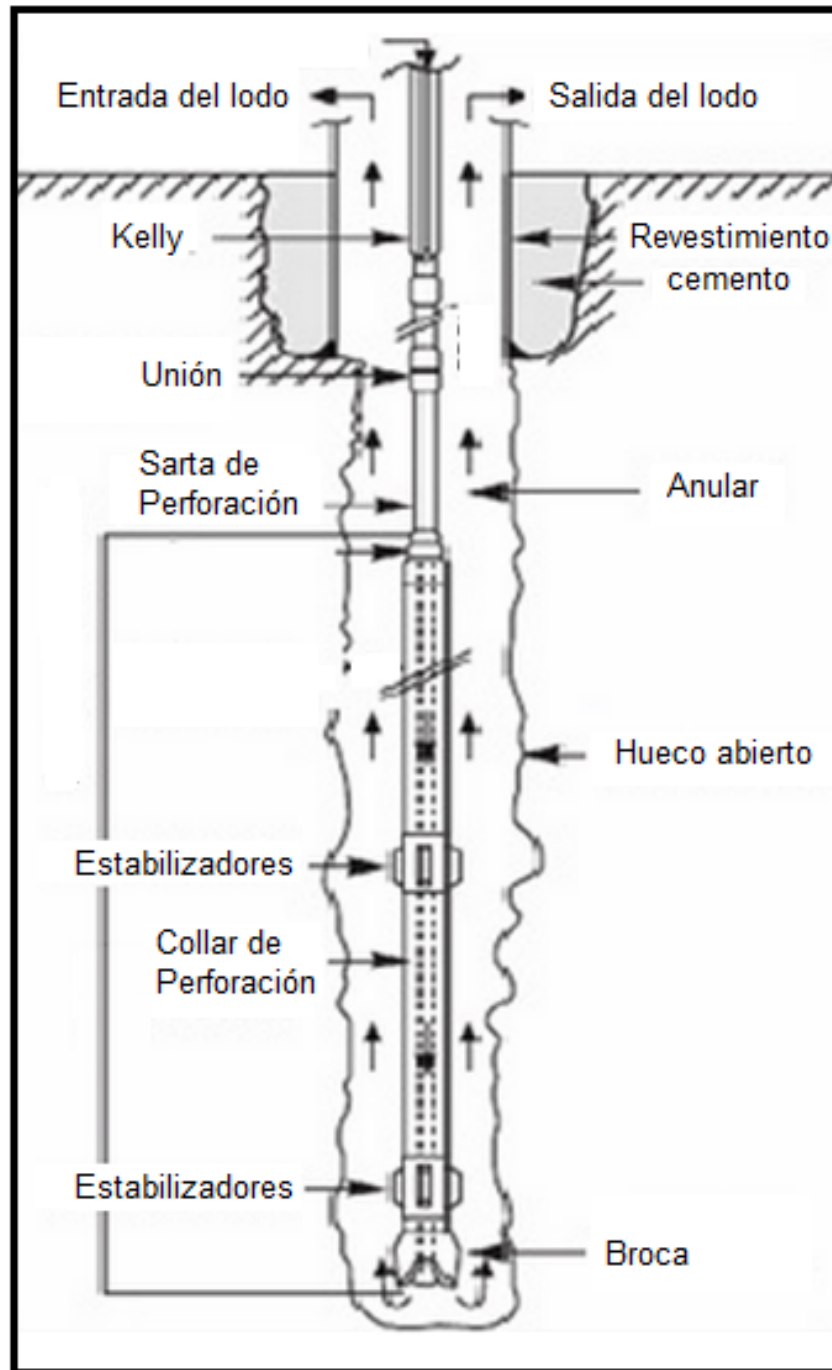
Un equipo de perforación convencional está conformado por cinco sistemas principales¹⁶:

- El Sistema de Rotación
- El Sistema de levantamiento
- El Sistema de circulación
- El Sistema de Potencia
- El Sistema de válvulas preventoras (BOP)

2.2.2.1 El Sistema de Rotación. El sistema rotario se refiere a todas las piezas en las operaciones de perforación que giran o imparten movimiento rotatorio, éste puede dividirse en dos componentes principales: El sistema de transmisión de superficie (Mesa Rotaria o Top Drive) junto con la tubería de perforación y el ensamblaje de fondo (BHA). El movimiento rotativo puede transmitirse desde la superficie hacia toda la sarta por medio de la Mesa Rotaria o por medio de Top Drive. La sarta de perforación es un conducto de acero a través del cual se transporta el fluido de perforación hacia el fondo del pozo, dicha sarta es una combinación de tubería de perforación estándar “Drill Pipe”, tubería más pesada que ejerce mayor presión sobre la broca “Drill Collar”, uniones “Juntas”, y diversos accesorios como Crossovers y otros especiales que se describirán a continuación.

¹⁶DATALOG - Procedimientos y operaciones en el pozo. Versión 3.0 Marzo 2001.

Figura 9. Principales Componentes del Sistema de Rotación.



Tomado de: <http://www.scribd.com/doc/35413559/Apuntes-Basicos-de-Perforacion>

Componentes del Sistema de Rotación¹⁷.

- **Mesa Rotaria:** Es un mecanismo fuerte y resistente que hace girar la Kelly y por ende toda la sarta de perforación, cuando la perforación está en marcha, la mesa rotaria gira a la derecha. Cuando se realiza una parada para insertar tubería en la sarta, la mesa es quien la sostiene por medio de cuñas mientras la sarta no está sujeta del gancho.
- **Swivel:** Entre el gancho y la Kelly se encuentra la Swivel, cuyo mecanismo permite separar el movimiento de la Kelly y de toda la sarta del Gancho y del bloque viajero, es decir, evita que éstos giren junto con toda la sarta de perforación.
- **Kelly:** La Kelly es una sección tubular cuya sección transversal externa puede ser cuadrada o hexagonal y su longitud varía de 40 a 50 pies. Su propósito principal es transmitir el movimiento de la mesa rotaria hacia toda la sarta de perforación, además permite el paso del fluido de perforación hacia el fondo del pozo.
- **Top drive:** Es una unidad que va colgada en el bloque viajero y se conecta directamente con la sarta de perforación y la rotación se aplica directamente a ésta eliminando así el uso de Kelly. El Top Drive cuenta con un sistema integrado de Swivel, manejador de tubería, el cual posee un sistema para enroscar y desenroscar la tubería, una cabeza rotatoria y válvulas de seguridad.
- **Tubería de Perforación (Drill Pipe):** Esta parte de la sarta de perforación constituye la mayor parte longitudinal de la misma, cada junta de tubería mide aproximadamente 30 pies longitud.

¹⁷DATALOG - Procedimientos y operaciones en el pozo. Versión 3.0 Marzo 2001.

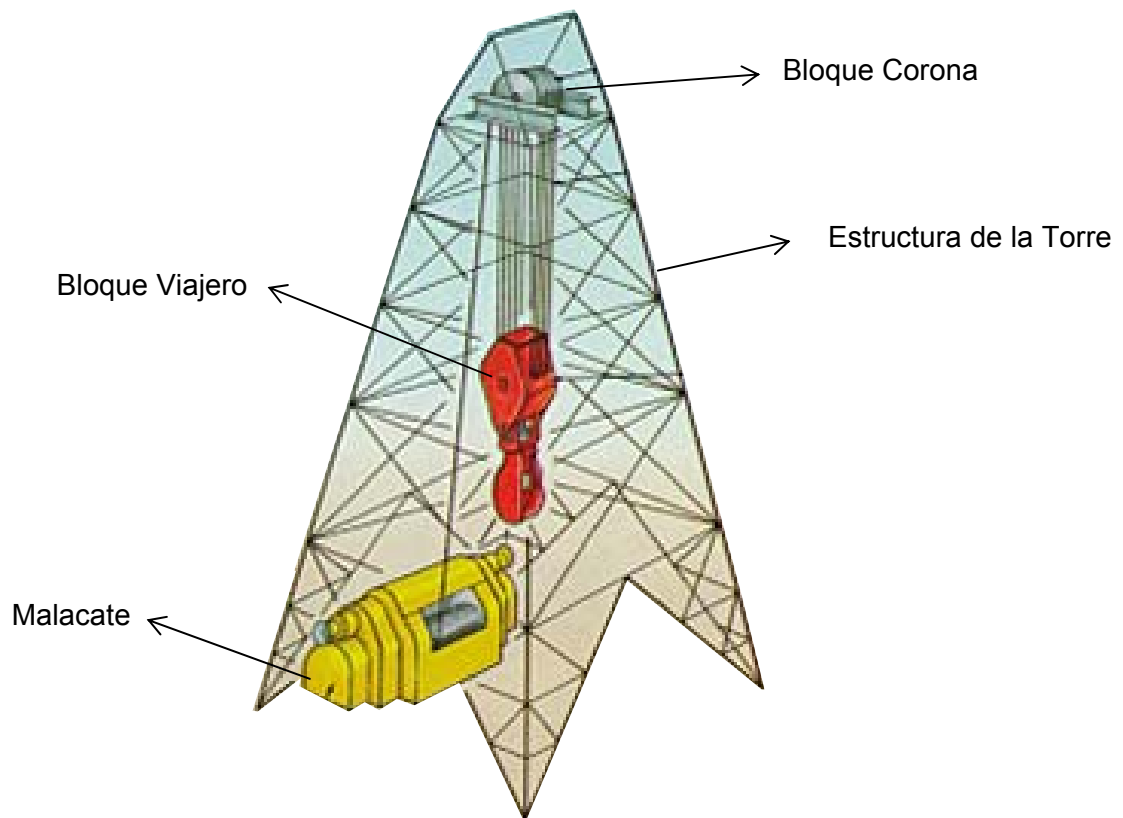
Ensamblaje de fondo (BHA).

- ***Collares de Perforación:*** Son tubos mucho más pesados que los tubos estándar de perforación y son parte esencial del ensamblaje de fondo BHA (Bottom Hole Assembly), están ubicados en la parte más baja de la sarta de perforación entre la tubería de perforación y la Broca. Entre sus principales funciones se encuentra: Proporcionar peso a la broca, proporcionar peso para asegurar que la tubería de perforación siempre se encuentre lo más vertical posible y así evitar que ésta se desvíe y proporcionar rigidez a la sarta para evitar que el pozo se desvíe.
- ***Tubería pesada (HWDP):*** Se conoce como Heavy Weight Drill Pipe. Su posición en la sarta está entre el Drill Pipe y los Drill Collars. El HWDP se usa para suministrar una zona de transición entre el DP, más liviano, y el DC, el cual es rígido y pesado. El uso de la Tubería Pesada reduce la fatiga que los Drill Collars provocan en la sarta.
- ***Estabilizadores:*** Son tramos cortos de tubería posicionados en medio de los Drill Collars con el fin de mantenerlos centrados dentro del hueco, mantener el pozo derecho y por medio de la acción de corte en las paredes del pozo mantener su diámetro correcto, esto se consigue mediante unas cuchillas montadas en el cuerpo del estabilizador las cuales pueden estar fabricadas de aluminio, caucho macizo, o de acero con insertos de carburo de Tungsteno dispuestos en las caras cortantes.
- ***Rimadores:*** Los rimadores riman las paredes del pozo a un diámetro menor o igual al de la broca, cumplen una función similar a la de los estabilizadores en cuanto que estabilizan el ensamblaje de fondo, mantienen los Drill Collars lejos de las paredes del hueco para prevenir el desgaste, y aún más importante, ayudan a guiar la broca para que perforé en la dirección deseada.

- **Crossovers:** Los Crossovers (XSOVERS) son tramos pequeños de tubería colocados entre la tubería de perforación (Drill Pipe) y los Collares de perforación (Drill Collars), y se utilizan con el fin de conectar tubería de diferente diseño y diámetro de rosca, por ejemplo, el pin de una tubería de perforación no puede encajar directamente en la caja de un Collar de perforación, por ende, en la última junta de un DP se ubica un Crossover que encaja con la primera junta de DC, permitiendo así la unión de la sarta de Drill Pipe con la de Drill Collars.
- **Ensanchadores:** Esta herramienta tiene una función similar a las de los Under-reamers en cuanto que riman y cortan las paredes del hueco gracias a la acción de conos giratorios con el fin de ensanchar su diámetro, sin embargo su diferencia radica en que dichos conos los ensanchadores no van montados sobre brazos extensible,
- **Broca:** Es la herramienta de corte localizada en el extremo inferior de la sarta de perforación justo debajo de los Collares de Perforación, utilizada para cortar o triturar la información durante el proceso de la perforación rotaria. Existen numerosos tipos de Brocas de Perforación, todos diseñados para brindar un óptimo desempeño en diversos tipos de formaciones y acorde a las necesidades de cada compañía. Generalmente las brocas se clasifican en tres grandes grupos: Brocas de Arrastre, Brocas Cónicas y Brocas Policristalinas y de Diamante (PDC).

2.2.2.2 Sistema de Levantamiento. La sarta de perforación entra y sale del pozo gracias al sistema de levantamiento compuesto por el Malacate, el cable de acero de la línea de perforación, el conjunto de poleas ubicadas en la Corona y el Bloque viajero, este sistema esta soportado por un sistema de energía provisto de robustos motores que le da la potencia necesaria para elevar y soportar el peso de la sarta de perforación.

Figura 10. Sistema de Levantamiento y sus principales componentes.



Tomado y modificado de: www.kaskus.us

Componentes del Sistema de Levantamiento

- ***Torre de Perforación:*** La Torre o Cabria de Perforación es una estructura grande y robusta que soporta mucho peso, se fabrican varios tipos de torres: portátil y autopropulsada, montadas en un vehículo adecuado; telescópicas o trípodes que sirven para la perforación, para el reacondicionamiento o limpieza de pozos.

La silueta de la Torre es de tipo piramidal y la más común y más usada es la rígida, cuyas cuatro patas se asientan y aseguran sobre las esquinas de una subestructura metálica muy fuerte.

- ***Cable de Perforación*** Constituye uno de los principales componentes del sistema de levantamiento; el cable de perforación se enrolla y desenrolla del carrete del malacate y enlaza diferentes componentes del sistema pasando por conjunto de poleas del Bloque Corona y del Bloque viajero.

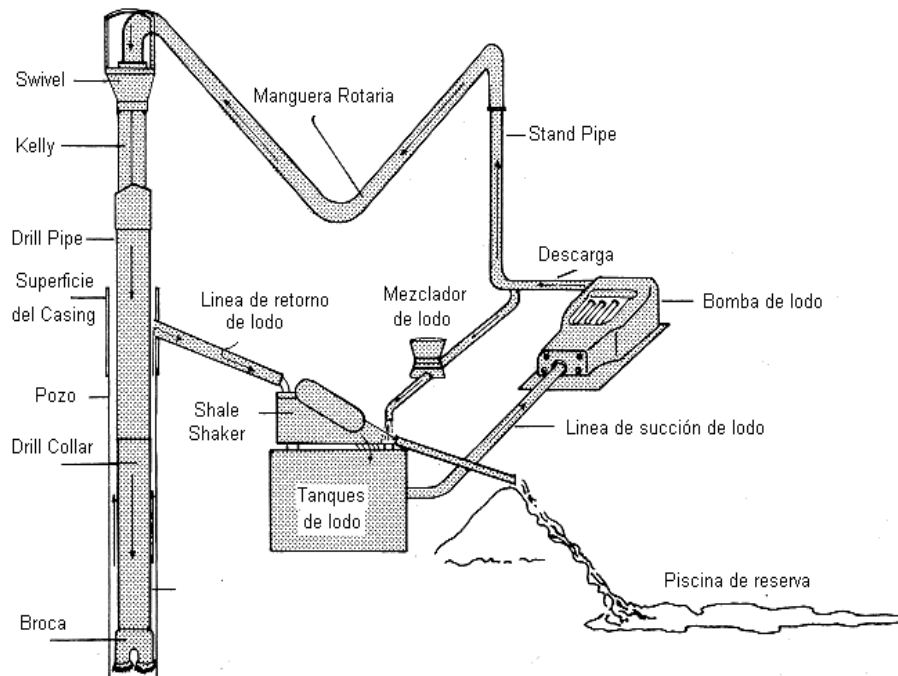
El cable de perforación consta generalmente de seis ramales torcidos. Cada ramal está formado a su vez por seis o nueve hebras exteriores torcidas también que recubren otra capa de hebras que envuelven el centro del ramal. Finalmente, los ramales cubren el centro o alma del cable que puede ser formado por fibras de acero u otro material como cáñamo.

- ***Malacate*** Ubicado en el centro de las patas traseras de la Torre, el malacate sirve como centro de distribución de potencia tanto para el sistema de levantamiento como para el sistema rotario, de allí se desenrolla el cable de perforación que se enlaza por diferentes componentes hacia el bloque viajero. Se compone de un carrete principal, de diámetro y longitud proporcionales según el modelo y especificaciones generales. El carrete sirve para arrollar cientos de metros de cable de perforación.

- **Bloque Corona y Viajero:** El Bloque corona está ubicado en la parte superior de la torre constituido por una serie de poleas. El cable de perforación pasa a través de estas poleas y al Bloque viajero el cual está compuesto de igual forma por un conjunto de poleas múltiples por dentro de las cuales pasa el cable y sube nuevamente hasta el Bloque Corona. Su función es la de proporcionar los medios de soporte para suspender las herramientas y la sarta.
- **Brazos y Elevadores:** Estos son usados para levantar la tubería a la posición necesaria para realizar la maniobra requerida. El elevador es una herramienta sencilla que se cierra alrededor del cuello de la tubería, cuando el elevador se levanta por el tubo hasta la caja de conexión, el diámetro mayor no permite que el elevador pase, levantando así la tubería. El elevador se encuentra colgado del Bloque viajero por los brazos, el movimiento vertical se logra gracias a la acción del malacate.
- **Cuñas:** Cuando las conexiones de la sarta se sueltan o se aprietan, ésta tiene que ser sujeta a la mesa rotaria para impedir que caiga al pozo, para ello se utilizan las cuñas, que consisten en varios bloques de metal con un extremo adelgazado unidos entre sí y con asas para su manejo. Las cuñas se sitúan alrededor del cuello del tubo y se van bajando hasta que se cierran dentro de la rotaria sosteniendo toda la tubería.
- **Llaves:** Estas se usan para apretar y soltar las conexiones entre juntas de tubería. Las llaves se encuentran suspendidas con cables desde la torre, y por medio de cadena puede aplicárseles tensión. Se utilizan dos llaves, cada una puesta a cada lado de la conexión. La llave inferior se encarga de sostener la tubería en su sitio, mientras que la llave superior soltará o apretará la conexión, halando la cadena que va unida a la cabeza de gato. Cuando se está apretando la conexión un indicador de tensión en la cadena permitirá que se aplique el torque correcto.

2.2.2.3 Sistema de Circulación. Es parte esencial del taladro, cuenta con una gran serie de equipos y accesorios que permiten el movimiento continuo del fluido o lodo de perforación. Los dos componentes principales son el equipo que conforma el sistema y el fluido propiamente. El fluido de perforación o lodo de perforación se almacena en tanques o piscinas, de allí es transportado hacia la Tubería Parada (Stand Pipe), pasa al Gooseneck, Swivel e ingresa a por la Kelly (Si el sistema está provisto por Mesa Rotaria) hacia la sarta de perforación, fluyendo a través de la tubería y los collares de perforación hasta llegar a la Broca en donde a través de pequeños orificios ejerce presión sobre la roca, una de las funciones que éste cumple durante la perforación; luego de llegar al fondo del pozo, el fluido asciende por el espacio anular que existe entre la sarta y las paredes del pozo hacia superficie en donde pasa a través de una serie de equipos (Control de Sólidos) que se encargan de tratarlo antes de ingresar nuevamente a los tanques de lodo completando así el ciclo completo del sistema de circulación. Todo el ciclo de transporte del lodo de perforación se logra gracias a la acción de potentes bombas, según el caso, Dúplex o Triplex.

Figura 11. Esquema del Sistema de Circulación y sus componentes principales.



Tomado de: www.osha.gov

Componentes del Sistema de Circulación

- ***Bombas de Lodo:*** La función principal de la(s) bomba(s) de circulación es mandar determinado volumen del fluido a determinada presión, hasta el fondo del pozo, a través del sistema anteriormente mencionado hasta retornar nuevamente a superficie a retomar su ciclo.

Éstas pueden ser Duplex o Triplex. Las Duplex tienen dos cilindros o cámaras, cada una de las cuales descarga lodo a presión alternativamente por ambos lados del movimiento del pistón y las Triplex tienen tres cilindros, pero a diferencia de las bombas Dúplex, el lodo se descarga solo por un lado en la carrera hacia delante.

- ***Stand Pipe:*** Está ubicada paralela a una de las patas de la torres y conecta la línea de descarga de las bombas de lodo, la cual se conecta con la unión giratoria y permite el paso del lodo a través de la misma. Tanto la manguera de lodo como la unión giratoria se pueden mover verticalmente hacia arriba o hacia abajo cuando así se requiera.
- ***Manguera Rotaria:*** Está fabricada con goma especial extrafuerte, reforzada y flexible que conecta al tubo vertical con la unión giratoria. Su flexibilidad se debe a que debe permitir el movimiento vertical libremente. La longitud de la manguera puede variar de 11 a 28 metros, Los diámetros internos y externos son generalmente de 63,5 a 76,2 mm y de 111,3 a 163,8 mm, respectivamente. El peso varía según el diámetro y puede ser de 14 a 39 kilogramos por metro.
- ***Piscinas y Tanques:*** Luego de salir por la línea de descargar de cabeza de pozo, el lodo ingresa a una serie de tanque y piscinas, que tienen diferentes nombres dependiendo de su función específica.

Generalmente llevan los siguientes nombres:

- ✓ **Piscina de la Zaranda:** Esta piscina está situada inmediatamente debajo de la Zaranda. Lleva integrada la trampa de arena cuyo propósito es permitir al material más fino (Arenas y finos) decantarse del lodo para poder ser más fácilmente removido.
- ✓ **Tanque de Premezcla:** Donde se adicionan y mezclan los productos químicos que han de entrar al sistema.
- ✓ **Tanque de Succión:** De donde las bombas toman el lodo para comenzar su viaje dentro de la tubería de perforación. Esta es la piscina 'activa' por excelencia, conectada directamente al pozo. En este tanque el lodo debe estar limpio, libre de sólidos o gases y debidamente elaborado o tratado.
- ✓ **Piscinas de Reserva:** Los que contienen el volumen adicional de lodo, en general no hacen parte del sistema 'activo' de circulación. Estas se pueden utilizar para mezclar lodo diferente al que está circulando o para almacenar lodo pesado en casos especiales en los que se requiera.
- ✓ **Tanque de Viaje:** Un tanque más pequeño, usado para monitorear pequeños desplazamientos de lodo. Por ejemplo viajes de tubería y el monitoreo de una patada de pozo.
- ✓ **Tanque de Píldora:** Este tanque es utilizado para preparar pequeños volúmenes de lodo que puedan ser requeridos para operaciones dadas durante la perforación.
- ✓ **Tanque Químico:** Se usa para mezclar productos químicos como la soda caustica que se pondrán en los tanques de lodo activos.

- **Equipo de control de sólidos**

- ✓ **Degasificador:** El lodo generalmente se pasa a través de un degasificador de vacío, que extrae el gas del lodo. El lodo ingresa por la parte superior del degasificador y se vierte sobre placas desviadoras lo cual facilita el escape del gas. La bomba de vacío, se encarga de producir en el interior una presión más baja que la presión exterior, este vacío facilita el escape del gas que sale a través de un respiradero que va una distancia segura del equipo de perforación. Mientras tanto el lodo libre de gas cae al fondo y vuelve a los tanques por la línea de salida del degasificador.

- ✓ **Sistema Hidrociclón:** Este sistema cuenta con varios conos dentro de los cuales el fluido se separa de las partículas sólidas producto de la fuerza centrífuga. El lodo se arremolina en el interior del cono y la fuerza centrífuga lanza las partículas sólidas a los extremos del cono, el fluido fluye hacia arriba en movimiento helicoidal a través de cámaras cónicas y sale a superficie por las bocas de salina a la vez que baja agua adicional por las paredes del cono llevándose las partículas que allí se encuentran.

Los desarenadores (Desanders) gruesos pueden remover partículas de tamaños de 40 Micras.

Los Desarenadores finos (Desilters) poseen conos más pequeños que los desarenadores gruesos y pueden remover partículas de tamaños de hasta 20 Micras.

Los depuradores de lodo (Mud Cleaner) poseen conos aún más pequeños y pueden remover partículas de hasta 7 Micras. Las partículas de la Barita tienen un tamaño aproximado de 7 Micras por lo que los operarios del sistema utilizan cedazos en el depurador con el fin de devolverla al sistema.

- ✓ **Centrífuga** Una centrífuga consiste en un tambor cónico de alta velocidad y un sistema de tornillo que se lleva a las partículas más grandes dentro del tambor a la compuerta de descarga. La centrífuga hace girar el lodo a alta

velocidad, y la fuerza centrífuga creada lanza las partículas a los laterales del equipo en donde son extraídos.

2.2.2.4 Sistema de Potencia. Los equipos de perforación pueden clasificarse también por su fuente de energía. Existen dos tipos de equipos de perforación: Mecánicos y eléctricos. En los equipos de perforación mecánicos la energía para operar todos los mecanismos del Rig proviene de motores diesel que trabajan simultáneamente para potenciar los componentes del sistema de levantamiento, rotario y de circulación por medio de correas, poleas, piñones y cadenas que conectan cada componente a los motores.

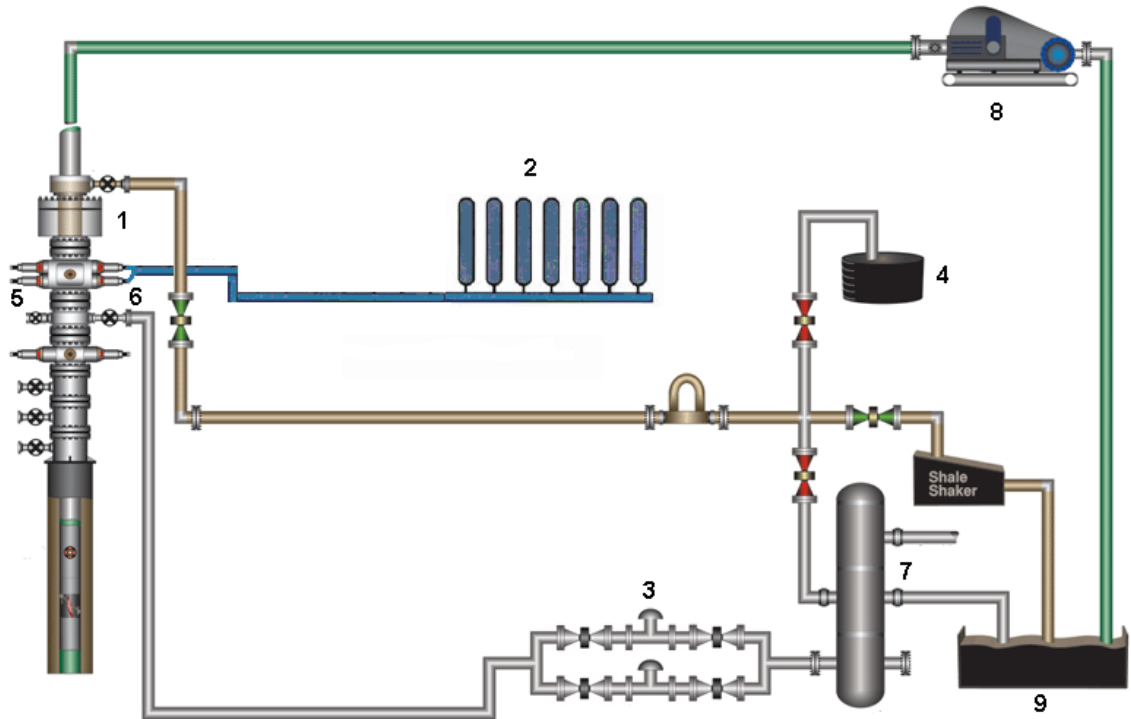
Un equipo de perforación eléctrico usa motores diesel para potenciar grandes generadores. Motores eléctricos toman la energía de los generadores para operar el malacate y demás componentes mecánicos del equipo de perforación.

Para un óptimo diseño de un sistema de potencia para un equipo de perforación el diseñador debe conocer los requerimientos de energía para los sistemas de rotación, elevación y circulación, de igual forma debe calcular la energía necesaria para todo el equipo principal y auxiliar como las bombas y equipos de tratamiento de lodo, plantas de luz, etc.

2.2.2.5 Sistema de Prevención de Reventones. Cuando la presión hidrostática de la columna de fluido dentro del pozo es menor a la de los fluidos de formación, puede tener lugar una patada de pozo, para ello el equipo de perforación debe contar con un sistema control que deberá tener la capacidad de proveer el medio adecuado para cerrar el pozo y para circular el fluido invasor fuera de él. El control de un pozo lo constituyen generalmente en la superficie, los sistemas independientes que son el de circulación y el de prevención de reventones¹⁸(Figura 12).

¹⁸Apuntes Básicos de Perforación - [En línea] <Disponible en <http://www.scribd.com/doc/35413559/Apuntes-Basicos-de-Perforacion>>

Figura 12. Diagrama del equipo básico de Prevención de Reventones.



Tomado y modificado de: www.atbalance.com

1. Válvulas Preventoras Anulares (BOP)
2. Acumuladores
3. Choke Manifold
4. Tanque de Viaje
5. Línea para matar el pozo (Kill Line)
6. Línea del Choke Manifold
7. Separador lodo/gas
8. Bomba de lodo
9. Tanques de lodo

Componentes del Sistema de Prevención de Reventones

- ***Conjunto de BOP's:*** Las BOP (Blow Out Preventor) son Válvulas Preventoras y cierres anulares (Spools) directamente conectado a cabeza de pozo. Entre las principales funciones de una Válvula Preventora se encuentran:
 - ✓ Cerrar la cabeza de pozo para evitar que haya fluido que escape hacia la superficie y exista riesgo de una explosión.
 - ✓ Permitir la salida de fluidos del pozo bajo condiciones controladas en forma segura.
 - ✓ Habilitar el bombeo de fluido de perforación hacia el pozo, bajo condiciones controladas, con el fin de balancear las presiones del pozo y evitar influjo mayor (Matar el pozo)
 - ✓ Permitir el movimiento de la sarta.
- ***Acumuladores:*** Las botellas de acumulador proporcionan la forma de almacenar bajo presión, la totalidad de la cantidad de fluido hidráulico necesario para operar todos los componentes de la BOP y efectuar rápidamente los cierres requeridos. Éstas se pueden conectar entre sí con el fin de que suministren el volumen necesario.
- ***Panel de Control:*** El sistema de control que acciona el arreglo de preventores, permite aplicar la potencia hidráulica suficiente y confiable para operar todos los preventores y válvulas hidráulicas instaladas.

Los elementos básicos de un sistema de control son:

- ✓ Deposito almacenador de fluido
- ✓ Acumuladores
- ✓ Fuente de energía – unidades de cierre
- ✓ Consolas de control remoto
- ✓ Válvula de control para operar los preventores

- **Líneas para matar el pozo:** Las líneas de matar van desde la bomba de lodo hasta el conjunto de válvulas de seguridad, conectándose a estas en el lado opuesto a las líneas de estrangulación. A través de esta línea se bombea lodo pesado al pozo hasta que la presión se haya restaurado, lo cual ocurre cuando se ejerce suficiente presión hidrostática contra las paredes del pozo para prevenir cualquier irrupción de fluidos al pozo.
- **Choke Manifold:** Consiste en un arreglo de tuberías y válvulas especiales, llamadas Chokes a través de las cuales se circulan los fluidos de la arremetida hacia fuera del pozo cuando se cierran las preventoras para controlar presiones encontradas en la formación durante un influjo en el pozo. Dichas válvulas pueden cerrarse o abrirse completamente o variar la posición en alguno de estos extremos.
- **Separador de gas:** Este separador permite restaurar el lodo que sale del pozo mientras ocurre un cabeceo. Interiormente el separador está constituido por placas deflectoras. El lodo ingresa por la parte superior del separador y desciende sobre estas placas, permitiendo así que el lodo restaurado y libre de gas salga por la parte inferior hacia los tanques de lodo, mientras que el gas sale por la parte superior hacia un quemador que se encuentra a una distancia segura del equipo de perforación.
- **Tanque de Viaje:** El tanque de viaje es una estructura metálica utilizada con la finalidad de contabilizar el volumen de lodo en el pozo durante los viajes de tubería; permite detectar si la sarta de perforación está desplazando o manteniendo el volumen dentro del pozo cuando se introduce o se saca tubería del mismo. Posee una escala graduada que facilita la medición más exacta de estos volúmenes.

2.3 DISEÑO DE LA PERFORACIÓN DE UN POZO¹⁹²⁰

2.3.1 Generalidades. El diseño de la perforación de pozos es un proceso sistemático y ordenado. Este proceso requiere que algunos aspectos se determinen ante otros por ejemplo, la predicción de presión de fracturamiento requiere que la presión de formación sea determinada previamente.

Las etapas a seguir durante el diseño de pozos están bien identificadas y son las siguientes²¹:

- Recopilación de la información disponible.
- Predicción de presión de formación y fractura.
- Determinación de la profundidad de asentamiento de las tuberías de revestimiento.
- Selección de la geometría y trayectoria del pozo.
- Programa de fluidos de la perforación.
- Programa de brocas.
- Diseño de tuberías de revestimiento y programa de cementación.
- Diseño de las sartas de perforación.
- Programa hidráulico.

¹⁹DATALOG - Procedimientos y operaciones en el pozo. Versión 3.0 Marzo 2001.

²⁰Apuntes Básicos de Perforación - Documento Online <Disponible en <http://www.scribd.com/doc/35413559/Apuntes-Basicos-de-Perforacion>>

²¹Diseño de la Perforación de Pozos. PEMEX. [En línea] <Disponible en <http://www.scribd.com/doc/20113691/Diseno-de-la-Perforacion-de-Pozos>>

- Selección del equipo de perforación.
- Tiempos estimados de perforación.
- Costos de la perforación.

La planeación de la perforación de un pozo, requiere de la integración de ingeniería, seguridad, ecología, costo mínimo y utilidad.

2.3.1.1 *Coordenadas del conductor y objetivo.* Una forma de posicionar exactamente un punto en la tierra es mediante el uso de las coordenadas U.T.M (Universal Transverse Marcator) que son universales y están referidas a cierta proyección cónica de tierra.

Para perforar un pozo, se requiere de uno o más puntos para ubicar la trayectoria que debe seguir un pozo. Una coordenada nos indicara la posición desde la cual se inicia la perforación y otra que nos indicara el punto en el que se localiza el objetivo definiendo así se definirá si el pozo será vertical o direccional. Sin embargo, es posible que un pozo sea perforado para alcanzar más de un objetivo.

2.3.1.2 *Posición estructural.* El primer paso en la planeación de un pozo es la recolección de información de los pozos vecinos perforados en el área, una vez que se establecen los objetivos del pozo, se deberán considerar los pronósticos geológicos que consisten en:

1. La columna geológica esperada.
2. Los bloques fallados de la estructura para seleccionar los pozos vecinos de correlación.
3. La identificación de las anomalías geológicas que puedan encontrarse durante la perforación del pozo.

4. Contar con mapas geológicos para seleccionar los pozos que se revisaran para programar el nuevo pozo.

2.3.1.3 Profundidad total programada. Es la profundidad vertical a la que se encuentra el objetivo, pero cuando un pozo no es perforado en forma vertical, entonces existe una profundidad llamada profundidad desarrollada total que es mayor a la profundidad vertical total.

De acuerdo a la profundidad vertical alcanzada, los pozos pueden clasificarse de la siguiente manera:

- Someros-pozos con profundidad menor a 15000 pies (4570 metros).
- Profundos- pozos con profundidad entre 15000 y 20000 pies (4570 y 6100 metros).
- Ultra profundos - pozos con profundidad mayor a 20000 (6100 metros).

2.3.2 Columna Geológica Esperada. La columna litológica consiste en una secuencia alternada de rocas sedimentarias. Con el estudio sísmico y los datos geológicos obtenidos de los pozos vecinos perforados, se correlaciona y obtiene la columna geológica que se espera atravesar en la intervención del pozo a perforar²²

El conocimiento de estas formaciones geológicas permite determinar la existencia de formaciones con presiones anormales (presiones del fluido anormalmente altas o bajas) que complican severamente las operaciones cuando son atravesadas durante la perforación. Los problemas asociados con sobrepresiones afectan todas las fases de la operación. El conocimiento de las presiones en un área determinada ayuda a prevenir problemas.

²²Diseño de la Perforación de Pozos. PEMEX. [En línea] <Disponible en <http://www.scribd.com/doc/20113691/Diseno-de-la-Perforacion-de-Pozos>>

2.3.3 Programa de toma de información. Desde la planeación del pozo se incluye un programa para la toma de información que consiste en determinar los intervalos o profundidades en los que se corren registros, se corta un núcleo o se efectúa alguna a prueba de producción.

2.3.3.1 Registros. Generalmente el uso de la palabra Registro está directamente relacionada con los registros de tipo geofísico. Sin embargo, existe otro tipo de registro llamado “Registro continuo de parámetros de perforación”. Es un monitoreo, metro a metro, de las condiciones de perforación.

Este registro puede efectuarse en un solo intervalo o bien en todo el pozo e incluye la siguiente información²³:

- Velocidad de perforación.
- Exponente “d” y “dc”.
- Costo por metro perforado.
- Peso sobre broca.
- Velocidad de rotaria, (Revoluciones por minuto-R.P.M).
- Horas de rotación.
- Torsión.
- Temperatura de entrada y salida de fluido.
- Densidad de entrada y salida del lodo.
- Contenido de cloruros en el fluido a la entrada y salida.
- Detección de H₂S y CO₂.

²³Diseño de la Perforación de Pozos. PEMEX. [En línea] <Disponible en <http://www.scribd.com/doc/20113691/Diseno-de-la-Perforacion-de-Pozos>>

- Presión de bombeo.
- Contenido de gas en el lodo.
- Gas de conexión.
- Litología.
- Emboladas de la bomba.
- Niveles en tanques.
- Densidad equivalente de circulación.
- Presión de formación y de fractura.
- Volumen de llenado.
- Toneladas kilometro o acumuladas del cable de perforación.

Además del registro anterior también se incluye el programa de la toma de registros geofísicos que incluye principalmente los siguientes tipos:

SP: Registro de Potencial Espontáneo.

DIL: Registro Doble Inducción.

DLL: Registro Doble Laterolog.

RG: Registro de Rayos Gamma.

BHC: Registro Sónico Compensado.

CNL: Registro Neutrónico Compensado.

FDC: Registro de Densidad Compensado.

LDT: Registro de Litodensidad.

DR-CAL: Registro de Desviación y Calibre del Pozo (Caliper).

CBL: Registro de Cementación.

2.3.3.2 Núcleos. Las operaciones de corte de núcleos proporcionan muestras intactas de formación. Es el único método para realizar mediciones directas de las propiedades de la roca y de los fluidos contenidos en ella.

A partir del análisis de los núcleos, se tiene un conjunto de datos muy valiosos para los diferentes especialistas relacionados con la ingeniería petrolera, geólogos, ingenieros de perforación e ingenieros de yacimientos.

Los geólogos y los ingenieros de yacimientos obtienen información sobre:

- Litología.
- Porosidad.
- Permeabilidad.
- Saturación de aceite, gas y agua.
- Interfaces Aceite-Agua, Gas-Aceite.
- Rumbo y buzamiento de las capas.

Para los ingenieros de perforación, la mecánica de la roca proporciona información más detallada a considerar en los futuros proyectos de perforación.

- *Selección de la profundidad de corte del núcleo*

La profundidad donde cortar un núcleo depende de varios factores entre ellos:

1. Tipo de pozo:
 - ✓ Exploratorio.
 - ✓ Desarrollo.

2. Tipo de información requerida:

- ✓ Geológica.
- ✓ Yacimientos.
- ✓ Perforación.

Para casos de los pozos exploratorios, se requiere evaluar los horizontes que por correlación tienen posibilidades de ser productores. Se cortan de 1 a 2 núcleos por intervalo dependiendo del análisis de los primeros núcleos.

Para el caso de los pozos de desarrollo, la información requerida depende de los antecedentes de producción de los pozos de correlación:

- ✓ Distribución de porosidades.
- ✓ Distribución de permeabilidades.
- ✓ Saturación residual de aceite.
- ✓ Mojabilidad.
- ✓ Presión en el volumen poroso.
- ✓ Contacto Agua-Aceite.
- ✓ Susceptibilidad de acidificación.

Por lo general se corta un núcleo en cada una de las formaciones productoras en los pozos de correlación.

- *Tipos de Núcleos*

- ✓ Núcleo de fondo

- Núcleos convencionales: Se corta el núcleo de forma convencional introduciéndolo en el barril de corazonamiento.

- Núcleos encamisados: A medida que se corta se cubre el núcleo con una camisa de neopreno o de fibra de vidrio, se usa generalmente en formaciones poco consolidadas.

- Núcleos orientados: Éstos poseen marcas de orientación registrada en fondo de pozo, las cuales junto con un dispositivo Multishot fijado al ensamblaje de fondo permite obtener mediciones exactas de rumbo y buzamiento de las estructuras.

- Núcleos presurizados: Una vez cortado el núcleo se presuriza el barril por medios mecánicos en la parte superior e inferior de la herramienta. Esto conserva las condiciones originales del núcleo.

✓ Núcleos Laterales (Pared del pozo)

Esta técnica se utiliza para recuperar pequeñas muestras de las formaciones ya perforadas a una profundidad determinada. La pistola se baja con cable y se disparan las cámaras de recuperación, cada herramienta puede recuperar un promedio de 30 a 50 muestras a diferentes profundidades.

La selección del método depende de varios factores entre los cuales se encuentran:

- Profundidad del pozo.
- Condición del pozo.
- Costo de la operación.
- Porcentaje de recuperación.

2.3.3.3 *Pruebas de Producción.*

- ***Pruebas de producción durante la perforación:*** Una prueba de formación “DST” (Drill Stem Test) es un procedimiento que provee una terminación temporal del pozo, con el propósito de evaluar en forma rápida el contenido de fluidos y las características de la formación para determinar si es comercialmente explotable y optimar su terminación.

Esta prueba utiliza la tubería de perforación como medio para conducir los fluidos producidos a la superficie. La interpretación de la variación de presión es la fuente principal de información sobre el comportamiento dinámico de un yacimiento.

En la actualidad, los avances tecnológicos en este renglón son considerables y diversas compañías ofrecen un servicio integral, desde el diseño de la prueba hasta su interpretación.

Cualquier prueba de pozo tiene una serie de objetivos. Estos se ven influenciados por consideraciones técnicas u operacionales, logísticas y por el mismo comportamiento del yacimiento. Los servicios integrales incluyen herramientas de fondo, equipos de superficie y sistemas de adquisición de datos.

- ***Pruebas DST para pozos en perforación:*** La aplicación de estas pruebas es común durante la perforación de pozos exploratorios, para evaluarse en forma rápida zonas que por registros presenten posibilidades de contener hidrocarburos. Una prueba bien dirigida permite obtener una gran cantidad de datos tales como: índice de productividad, daño, permeabilidad relativa, radio de drenaje, radio de invasión, espesor, saturación, límites de yacimiento, mecanismo de empuje, contenido de fluidos, etc.

Estos datos son trascendentales en la toma de decisiones, tales como: si la terminación es económicamente rentable, diseñar la estimulación o el fracturamiento en caso necesario, optimar el diseño de la terminación, suspender la perforación, no cementar la tubería de explotación e inclusive taponar el pozo.

Factores que se deben considerar antes de realizar una prueba DST

a) Condiciones del pozo:

- ✓ Historia de perforación.
- ✓ Condiciones mecánicas.
- ✓ Verticalidad.
- ✓ Compactación de la roca.

b) Condiciones del lodo:

- ✓ Tipo de lodo.
- ✓ Densidad.
- ✓ Viscosidad.
- ✓ Filtrado.

c) Tubería del mecanismo de prueba:

- ✓ Tensión.
- ✓ Presión de colapso.

- ***Pruebas DST para pozos en terminación:*** Las pruebas de producción para pozos en la etapa de terminación del pozo, tienen los mismos objetivos que la prueba en el pozo descubierto, con la ventaja de tener cementada la tubería de explotación. Con lo cual se eliminan riesgos. Se evitan pegaduras con presión diferencial, derrumbes por mala compactación, irregularidades en el diámetro del pozo, etcétera. Los cuidados necesarios antes de realizar esta prueba son los mencionados anteriormente.

Secuencia que se debe seguir para realizar con éxito una prueba de formación²⁴:

- ✓ Objetivos.
- ✓ Diseño de la prueba.
- ✓ Medidores de fondo y superficie.
- ✓ Monitoreo de tiempo real y toma de muestras de fondo y superficie.
- ✓ Operación de adquisición de datos.
- ✓ Validación de las pruebas.
- ✓ Informe final.
- ✓ Preparación del pozo.
- ✓ Selección del equipo.

Objetivo de la prueba:

Una prueba exitosa exige un buen diseño y un objetivo bien definido. Aunque no es posible hacer una lista de objetivos que sea suficiente para cada prueba, los más comunes e importantes son:

- ✓ Evaluación e identificación de los fluidos de la formación.
- ✓ Medición de la temperatura de fondo, las variaciones de presión y los gastos.
- ✓ Determinar la rentabilidad de la terminación.
- ✓ Obtención de la productividad del pozo.
- ✓ Obtención de muestras representativas de los fluidos de la formación, para análisis de laboratorio PVT (Análisis de presión, volumen, temperatura).

²⁴Diseño de la Perforación de Pozos. PEMEX. [En línea] <Disponible en <http://www.scribd.com/doc/20113691/Diseno-de-la-Perforacion-de-Pozos>>

- ✓ Determinación de parámetros tales como permeabilidad, índice de productividad, daño, entre otros, para diseñar en forma óptima la terminación.

2.3.4 Recopilación y Análisis de la Información de Pozos de Correlación.

Uno de los aspectos más importantes en el proceso del diseño de la perforación de un pozo es el de determinar las características técnicas (formaciones a perforar, estabilidad etc.) y problemas que se podrían encontrar durante la perforación del mismo. Esto se puede realizar mediante el análisis de la información generada en el campo.

De la calidad y cantidad de información disponible dependerá la calidad del proyecto a realizar.

2.3.4.1 Pozos exploratorios: La información disponible para el diseño de la perforación en pozos exploratorios se limita a estudios geológicos y geofísicos realizados en el campo prospecto, el conocimiento geológico del área permitirá:

- Determinar la geología del pozo a perforar.
- Identificar anomalías geológicas que pueden encontrarse durante la perforación.

El empleo de la información geofísica, en particular información sísmológica permite determinar la litología a perforar, presiones de formación y fractura, propiedades mecánicas de las formaciones y buzamiento de las formaciones.

2.3.4.2 Pozos de desarrollo: Si el pozo prospecto es de desarrollo se contara con la información generada durante la perforación de pozos perforados anteriormente en el mismo campo.

2.3.4.3 Registros geofísicos: La existencia de ciertos registros geofísicos constituye una poderosa herramienta para predecir lo que se espera en el pozo a diseñar. Por ejemplo, los registros de resistividad y/o de porosidad nos permiten efectuar una predicción adecuada de las presiones de formación y fractura que es una información fundamental para poder realizar el diseño apropiado del pozo a perforar. De la cuantificación correcta de estas presiones dependerá la profundidad de asentamiento de tuberías de revestimiento, programas de densidades de fluido de perforación, diseño de lechadas de cemento y diseño de tuberías de revestimiento; es decir el diseño total del pozo. Además el hecho de perforar el pozo hasta el objetivo planeado dependerá muchas veces de la cuantificación correcta de estas presiones.

La sección estructural se va correlacionando con los contactos geológicos para programar el diseño y asentamiento de tuberías de revestimiento, densidad de los fluidos de control y zonas de presiones anormales.

La existencia de zonas problemáticas, puede comprenderse mejor si se cuenta con la información de carácter geofísico. Las zonas arcillosas son potencialmente zonas problemáticas durante la perforación.

La forma en la que el material arcilloso se encuentra depositado, afecta algunos parámetros, los cuales son obtenidos por medio de los perfiles dependiendo de la proporción de arcillas presentes, sus propiedades físicas y la forma en que se encuentran. Estudios al respecto muestran que el material arcilloso se encuentra depositado en tres formas:

- **Laminar:** Consiste en una serie de lutitas y/o arcillas en forma laminar, depositadas entre las capas arenosas y/o limolíticas.
- **Estructural:** Este tipo de arcilla se encuentra presente en forma de granos o nódulos en la matriz de la formación, es decir forma parte del cuerpo.
- **Dispersa:** Este tipo de arcilla se encuentra en dos formas diferentes: En forma de acumulaciones adheridas a los granos o revistiendo los mismos

llenando parcialmente los canales porosos más pequeños (intergranulares, intersticios), este tipo de arcilla reduce la porosidad considerablemente

Todas las arcillas pueden presentarse simultáneamente en la misma formación, sin embargo por lo general la arcilla predomina en una sola capa o tipo y se han originado “Modelos simplificados” que permiten obtener valores razonables de porosidad y saturación de agua, dependiendo del tipo predominante de arcilla.

La curva de SP varia cuando se perfora con lodos base agua, cuanto más grande sea la proporción de arcilla más reducida será la desviación o valor de la curva SP respecto al valor de este en una formación limpia de suficiente espesor, que tuviese el mismo tipo de agua de formación

Cabe mencionar que además de la presencia de hidrocarburos, también contribuye a reducir aún más el valor de la curva SP y es mayor en arenas arcillosas.

Esta reducción de la curva SP es más notoria en las arcillas tipo laminar y estructural que en la dispersa, la desviación de la curva una vez corregida por espesor de la capa se le conoce como SSP (Potencial Espontáneo Pseudoestático)

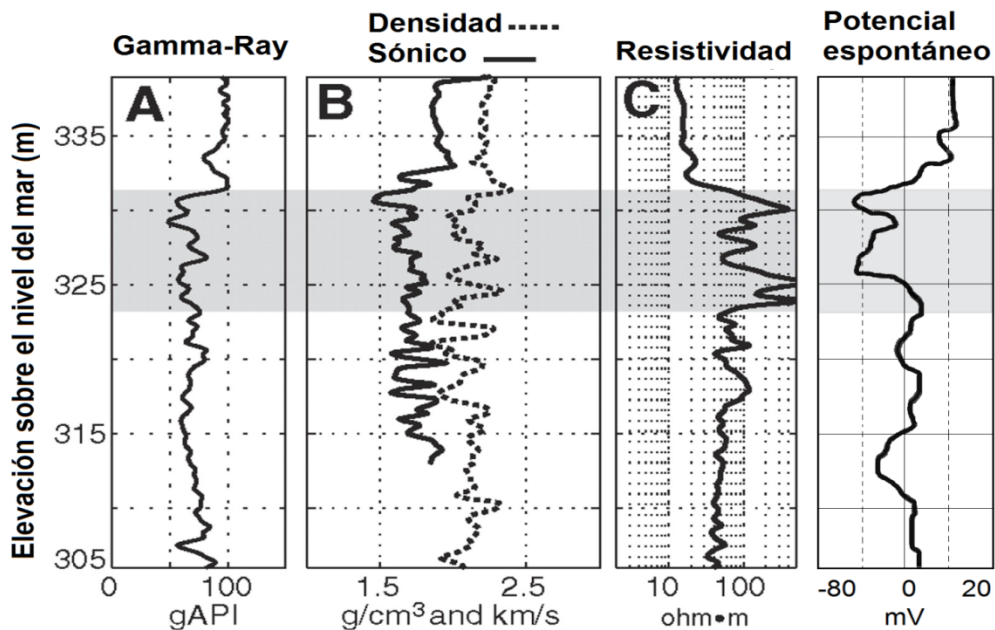
Otros tipos de registros:

- **Densidad:** Es el perfil de densidad, responde a la densidad electrónica del medio, la presencia de arcillas en la formación produce el aumento de la porosidad efectiva que puede obtenerse del registro, ya que por lo general, la densidad de las lutitas está en el orden de 2.2 a 2.65 g/cc.
- **Neutrón:** El registro neutrón responde a todo el hidrógeno contenido en la formación, esto también incluye el hidrogeno en el agua intersticial presente

en las arcillas, lo cual significa que la lectura del perfil se encuentra incrementada por efecto de arcillas presentes en la formación.

- **Sónico:** La presencia de arcillas en la formación afecta a la lectura del registro, aumenta dependiendo del tipo de distribución de la arcilla presente ya sea laminar, estructural o dispersa.

Figura 13. Perfil típico de registros tomados en hueco abierto para evaluar la formación



Tomado y modificado de: <http://allencountygeology.indiana.edu/gamma-ray-log.html>

2.3.4.4 **Registros del fluido de perforación**

Durante la intervención del pozo se lleva un registro de fluidos de perforación con la finalidad de ir monitoreando su comportamiento y comparando con las estadísticas de los pozos vecinos.

Los reportes de fluidos describen las características físicas y químicas del sistema de lodos, los cuales se hacen diariamente. Estos reportes de lodo incluyen la siguiente información²⁵:

- Nombre del pozo.
- Fecha.
- Profundidad.
- Datos de las bombas de lodo.
- Equipo para el control de sólidos.
- Densidad.
- Viscosidad Marsh.
- pH del lodo.
- Viscosidad plástica.
- Punto cedente.
- Resistencia de gel.
- Contenido de cloruros.
- Contenido de ión calcio.
- Filtrado.
- Porcentaje de aceite.
- Porcentaje de agua.
- Temperatura.

²⁵Diseño de la Perforación de Pozos. PEMEX. [En línea] <Disponible en <http://www.scribd.com/doc/20113691/Diseno-de-la-Perforacion-de-Pozos>>

2.3.4.5 Historia de perforación. Registra todos los eventos ocurridos durante la perforación, destacando la información relevante, así como los problemas encontrados, registros geofísicos tomados, récord de brocas, equipo de perforación utilizado, etc., además de toda la información que se considere pertinente.

2.3.4.6 Resumen de Operaciones. Se realiza un programa resumido de las operaciones que se ejecutan durante la intervención del pozo, así como al término del mismo se hace un resumen de operaciones, el cual consiste en un informe de operaciones en donde se detallan todas aquellas que se llevaron a cabo mientras se estaba interviniendo el pozo, con sus operaciones normales, problemática que se presenta, como se solucionó, asentamientos de tuberías de revestimiento, cementaciones, días de duración de cada etapa de perforación, cambio de etapa, días totales.

2.3.4.7 Registro de Brocas. En cada pozo que se va interviniendo se lleva un registro de brocas con el fin de programar en el próximo diseño de pozo las brocas ideales para cada formación y condiciones de operación óptimas de trabajo para cada etapa.

El formato de registro consta de la siguiente información:

- Número de brocas.
- Características.
- Rendimiento.
- Condiciones de operación.
- Fluido de perforación.
- Desgaste.
- Observaciones.

2.3.5 Determinación de los gradientes de Presión y de Fractura. El conocimiento exacto de los gradientes de formación y fractura, juega un papel de gran importancia en las operaciones de perforación y terminación de pozos. Constituye la base fundamental para la óptima programación del fluido de perforación y profundidades adecuadas de asentamiento de las tuberías de revestimiento para mantener el control del pozo. A continuación se repasarán algunos conceptos importantes del área de presiones.

2.3.5.1 Conceptos Básicos²⁶

- **Presión Hidrostática:** La presión hidrostática es creada por la columna de fluido debido a su densidad y peso vertical. Este tipo de presión siempre existe y puede ser calculada si el fluido está estático o en movimiento. Se puede calcular usando:

$$HP(\text{psf}) = MW \times 0.0519 \times TVD(\text{pies})$$

Donde,

MW: Peso del lodo

TVD: Profundidad vertical verdadera

- **Presión de sobrecarga:** Es la presión ejercida por el peso combinado de la matriz de la roca y los fluidos contenidos en los espacios porosos de la misma (agua, hidrocarburos, etc.), sobre las formaciones subyacentes.

Gradiente de sobrecarga.

$$GSC = (1 - \phi) P R + \phi P R$$

²⁶OPERACIÓN NIVEL III Curso De Capacitación y Desarrollo de Habilidades en Actividades de Perforación y Mantenimiento de Pozos – PEMEX.

Donde:

GSC Gradiente se sobrecarga (gr/cm³)

∅ Porosidad promedio de las formaciones encima de la profundidad del punto de interés (%)

PR Densidad promedio de las rocas encima del punto de interés (gr/cm³)

- **Presión de formación:** La presión de formación es aquella a la que se encuentran confinados los fluidos dentro de la formación, también se le conoce como presión de poro. Las presiones de formación o de poro que se encuentran en un pozo pueden ser normales, anormales (altas) o subnormales (bajas). Generalmente, los pozos con presión normal no crean problemas para su planeación. Las densidades del lodo requeridas para perforar estos pozos varían entre 1.02 y 1.14 gr/cm³. Los pozos con presiones subnormales pueden requerir Tuberías de revestimiento adicionales para cubrir las zonas débiles o de baja presión cuyo origen pueden ser: factores geológicos, técnicos o yacimientos depletados para su explotación.

Las presiones anormales se definen como aquellas presiones mayores que la presión hidrostática de los fluidos de formación normal.

A la presión de formación generalmente se le llama gradiente de presión. Estrictamente no lo es ya que el gradiente de presión se obtiene dividiendo la presión de formación entre la profundidad. Sus unidades serán kg/cm²/m o lb/pulg.²/pie. Sin embargo en la perforación se ha hecho costumbre utilizar densidades como gradiente.

Si los fluidos de formación son agua dulce, el gradiente normal **gn** = 1.00 gr/cm³ = 0.1 kg/cm²/m = 0.433lb/pulg.²/pie.

Una forma práctica y sencilla para describir las presiones anormales, o sea aquellas en las cuales el fenómeno hidrostático se interrumpió, es como sigue:

$$\mathbf{Pa} = 0.1 \times \mathbf{gn} \times \text{Prof.} + \Delta p \quad (1)$$

Dónde:

Pa = Presión anormal de formación (kg/cm²);

gn = Gradiente normal;

Δp = Incremento de presión (kg/cm²);

$$\mathbf{Pa} = \mathbf{ga} \times \text{Prof.} \quad (2)$$

Dónde:

ga = Gradiente de presión anormal (kg/cm²/m).

Las presiones anormales afectan el programa de perforación del pozo en muchos aspectos, dentro de los cuales se tienen:

- ✓ La selección del tipo y densidad del lodo.
- ✓ La selección de las profundidades de asentamiento de las tuberías de revestimiento.
- ✓ La planeación de las cementaciones.

Además, deberán de considerarse los siguientes problemas que se pueden derivar de las altas presiones:

- ✓ Brotes y reventones.
- ✓ Pegaduras de las tuberías por presión diferencial.
- ✓ Pérdida de circulación por usar lodos densos.
- ✓ Derrumbes de lutita.

- **Presión de fractura:** Es la presión que rebasa la presión de formación originando una falla mecánica que se presenta con la pérdida del lodo hacia la fractura o hacia la formación. Aunque los términos presión de fractura y gradiente no son técnicamente los mismos, a menudo se emplean para designar lo mismo.

La presión de fractura se expresa como un gradiente en $\text{kg/cm}^2/\text{m}$ ($\text{lb/pulg.}^2/\text{pie}$) o en kg/cm^2 (lb/pulg.^2). Graficas o tablas están basadas en estas unidades.

Existen varios métodos para calcular los gradientes de fractura de la formación, propuestos por los siguientes autores:

- ✓ Hubert y Willis.
- ✓ Mathews y Kelly.
- ✓ Eaton.

Los gradientes de fractura usualmente se incrementan con la profundidad, el método para determinar el gradiente de fractura, en el campo es el que se denomina “prueba de goteo”.

2.3.5.2 Métodos y técnicas para determinar los gradientes de presión de formación y de fractura

- **Métodos empíricos:** Los métodos empíricos para determinar los gradientes de presión de formación y fractura se basan en los datos obtenidos de registros de pozo, como el de resistividad, densidad, inducción, etc., y de los obtenidos de pruebas de presión, a partir de éstos, se generan algoritmos para lograr tendencias de diversos parámetros geofísicos con el fin obtener los gradientes de presión en función de dichos parámetros por medio de correlaciones. Entre los métodos más conocidos para estimación cuantitativa de gradientes se encuentran²⁷:

- ✓ Hottman y Johnson.
- ✓ Eaton.
- ✓ Matthews y Kelly.
- ✓ Foster y Whalen.
- ✓ Profundidades equivalentes.

Sin embargo, en la actualidad existen programas de cómputo que permiten obtener de forma rápida y precisa los gradientes de presión de formación y fractura, además éstos utilizan diferentes métodos con el fin de comparar los resultados.

- **Pruebas de Presión²⁸**

²⁷Diseño de la Perforación de Pozos. PEMEX. [En línea] <Disponible en <http://www.scribd.com/doc/20113691/Diseño-de-la-Perforación-de-Pozos>>

²⁸DATALOG - Procedimientos y operaciones en el pozo. Versión 3.0 Marzo 2001.

✓ ***Pruebas de fuga y de Integridad de formación (Leak-Off and Formation Integrity Tests) (LOT y FIT)***

Una prueba de fuga (Leak-Off Test) (LOT) se efectúa para determinar la integridad de la unión del cemento y de esta forma determinar el gradiente de fractura directamente debajo de la zapata del revestimiento (la primera formación después de la zapata). Se asume que la zona directamente debajo de la zapata es la más frágil pues es la menos profunda. Por lo tanto, los LOT usualmente se hacen después de que cada revestimiento se ha cementado y se ha perforado un poco de la siguiente sección.

Antes de realizar un LOT, deben estar instaladas las BOP y el pozo bien cerrado. Se bombea un pequeño volumen de lodo para gradualmente presurizar el revestimiento. La presión en superficie irá aumentando a medida que aumenta el volumen bombeado.

A medida que la presión se incrementa, si el cemento resiste, como se pretende, la formación será la primera en fallar. Cuando comienza la fractura, el lodo comenzará a escapar adentro de la formación, y la tasa de incremento de la presión disminuye. Cuando se registra un decremento en la presión, la prueba está completa.

✓ ***Prueba de Repeat Formation Testing (RFT)***

La prueba de Repeat formation testing, o prueba de formación con sonda de registros, es una forma rápida y económica de tomar una muestra de fluidos de perforación y medir la presión hidrostática y la presión de flujo a profundidades específicas. Esta prueba proporciona la información requerida para predecir la productividad de una formación y para planear pruebas y ensayos más sofisticados como el DST (Drill Stem Test). Esta prueba puede realizarse en huecos abiertos o en pozos revestidos (a través de perforaciones en el revestimiento) Y pueden hacerse varias pruebas durante el mismo viaje dentro del pozo.

Un mecanismo de resorte en la herramienta del RFT sostiene firmemente un brazo contra la pared del pozo para formar un sello hidráulico del lodo, y luego un pistón dentro del brazo crea una cámara de vacío.

Los fluidos de la formación entran en esta cámara a través de una válvula. Se registra la presión de cierre inicial (initial shut-in pressure). La cámara de la prueba se abre entonces para permitir entrar a los fluidos de la formación. Un registrador lleva la tasa de flujo a la cual se llena la cámara, y se registra la presión de cierre final. Como la cámara de prueba sólo puede contener una cantidad pequeña de fluidos de formación se puede abrir una segunda cámara para recibir más fluidos de formación.

✓ ***Prueba con Tubería abierta (Drill Stem Test) (DST)***

Esta prueba se lleva a cabo con el fin de registrar presiones de formación y tasas de flujo en intervalos de interés largos, y para reunir muestras de fluidos de formación para determinar el potencial productivo de un yacimiento.

Estas pruebas pueden ser realizadas en hueco abierto o revestido (por ejemplo, a través de la tubería de producción que puede ser perforada para permitir que los fluidos de formación puedan pasar al anular).

Las DST de fondo se realizan con un empaque (packer) que se fija encima de la formación de interés. Este aislará la zona entre el empaque y el fondo del pozo. Este tipo de prueba minimiza el tiempo de exposición de la formación al fluido de perforación (pues sólo se puede efectuar una prueba) y por lo tanto el potencial de daño a la formación.

2.3.6 Selección de la Geometría del Pozo.Una vez que se determinan los puntos de asentamiento de las tuberías de revestimiento se selecciona el diámetro de la Tubería de revestimiento de explotación y será la base para determinar el arreglo de tuberías de revestimiento a utilizar, así como los diámetros de pozo. El diámetro de la Tubería de revestimiento de explotación, va a depender de las características de los fluidos que se explotarán, las presiones, así como también si el pozo fluye por si solo o se le aplicara un sistema artificial de explotación. Normalmente el diámetro de la Tubería de revestimiento de explotación es solicitud del cliente.

2.3.7 Selección y programa de los fluidos de perforación. Uno de los aspectos más importantes en el diseño de un pozo es la selección del fluido de perforación. Parte de los problemas que ocurren durante la perforación de los pozos están relacionados directa o indirectamente con el tipo y las propiedades de dicho fluido.

2.3.7.1 Tipos de fluidos de perforación²⁹³⁰

- **Lodos Base Agua:** Los lodos en base agua consisten en una fase continua de agua en la cual están suspendidos arcilla y otros sólidos (reactivos e inertes). Usualmente agua dulce, se consigue fácilmente, es económica y fácil de controlar aunque esté con sólidos. Sin embargo, el agua debe ser de buena calidad ya que sales disueltas como calcio, magnesio, cloruros tienden a disminuir las buenas propiedades requeridas, por ello, es aconsejable disponer de análisis químicos de las aguas que se escojan para preparar el fluido de perforación.
- **Lodos base aceite:** Los lodos en base aceite consisten en una fase continua de aceite en la cual están suspendidos arcilla y otros sólidos. En los lodos de emulsión inversa el agua está suspendida en una fase continua de aceite.

²⁹Procedimientos y operaciones en el pozo. Datalog, Versión 3.0 Marzo 2001.

³⁰ BAROID DRILLING FLUIDS INC. Manual de Fluidos. 1998

- **Espumas:** Los fluidos en espuma se hacen inyectando agua y agentes espumantes en el aire o en una corriente de gas para crear una espuma viscosa y estable. También puede hacerse inyectando aire en un lodo con base en gel que contenga una agente espumante. La perforación con espuma utiliza espuma como agente de transporte para la remoción de recortes.
- **Lodos aireados:** Los fluidos aireados se hacen inyectando aire o gas en un lodo con base gel. Se usan para reducir la presión hidrostática (Evitando pérdida de fluido en formaciones de baja presión) en operaciones de perforación de bajo balance y para incrementar la tasa de penetración.
- **Aire – Gas:** La perforación con aire emplea gas comprimido para limpiar el pozo. El aire es el gas que se usa más comúnmente, pero también se puede usar gas natural y otros gases.

Para más información acerca de los fluidos de perforación y sus propiedades visite la herramienta multimedia “DrillLearning”.

2.3.7.2 Selección del Fluido de perforación: La selección del fluido de perforación debe hacerse de acuerdo a las condiciones y problemáticas específicas del campo a perforar. Cada etapa del programa se debe analizar detalladamente. Los problemas registrados en los pozos vecinos dan indicios de las áreas de oportunidad que se deben enfocar a fin de optimizar el programa de fluidos. Mediante una adecuada selección, se puede eliminar buena parte de los problemas asociados a la perforación.

La información que debe recabarse durante el proceso de selección del fluido de perforación, se refiere a las presiones de poro y fractura, antecedentes de pérdidas de circulación o de brotes, litología (Presencia de lutitas hidratables, intercalaciones de sal, etc.) temperatura y presencia de fluidos contaminantes (Agua salada, CO₂ y H₂S)

Un aspecto que ha tomado gran importancia en este proceso, es la protección al medio ambiente. De hecho, este último ha originado que se dejen de utilizar fluidos de perforación que en años anteriores dieron buenos resultados, pero que contienen productos tóxicos para el medio ambiente, tales como el Cromolignosulfonato Emulsionado. Estos han sido sustituidos por lodos inhibidos a base de polímeros o cálcicos, entre otros.

La selección del fluido depende de la sección del pozo que se esté perforando, (Conductora, Superficial, Intermedia y de Terminación) ya que para cada una de ellas el fluido debe cumplir con determinadas funciones y para ello deben modificarse algunas propiedades físicas como por ejemplo la Viscosidad (Optimización de remoción de cortes). Por otro lado debe tenerse en cuenta las formaciones que se están atravesando ya que su litología juega un papel importante en la selección del fluido, en algunas ocasiones deben modificarse propiedades como la salinidad, densidad y otras con el fin de evitar problemas reactivos, pegas, o derrumbes asociados principalmente al contacto con arcillas hidratables y domos de sal.

Otro aspecto, tal vez el más importante, es el asociado a la distribución de presiones de formación y de fractura, es necesario monitorear continuamente la densidad del lodo con el fin de evitar fracturas en la formación o influjos en el pozo.

La selección del fluido también depende el tipo de perforación que planea realizar, desde la convencional en la cual se utilizan fluidos generalmente en base agua con diversos aditivos, emulsiones inversas o directas, hasta la perforación bajo balance, en la cual se utilizan fluidos de baja densidad como gas, fluidos aireados o espumas.

2.3.7.3 Programa de fluidos de perforación. Un programa de fluidos de perforación debe especificar³¹:

- Los tipos de fluidos de perforación y terminación que se usaron.
- Los rangos de densidad necesarios para balancear las presiones de
- Los fluidos de la formación en cada sección del pozo abierto.
- Las principales propiedades requeridas para una perforación eficiente.
- Aditivos del fluido sugeridos para cada sección.
- Problemas esperados y los procedimientos de control.

2.3.8 Diseño de la sarta de perforación. En todo el diseño de sarta de perforación se deben considerar las siguientes herramientas que son fundamentales para la perforación de un pozo:

- Collares de perforación (Drill Collars).
- Estabilizadores.
- Martillos.
- Junta de seguridad.
- Tubería pesada (HWDP).
- Tubería de perforación (Drill Pipe).
- Válvula de contrapresión.
- Válvula de seguridad.
- Broca.

*La descripción de cada una de las anteriores herramientas se encuentra en la sección - **2.2. Rig de perforación** - de este capítulo o para más información visite la herramienta multimedia “DrillLearning”*

³¹Diseño de la Perforación de Pozos. PEMEX. [En línea] <Disponible en <http://www.scribd.com/doc/20113691/Diseno-de-la-Perforacion-de-Pozos>>

2.3.8.1 Collares de perforación: De acuerdo a estudios, la selección de los collares de perforación se encuentra en función del diámetro del pozo y tipo de formación, ya sea formación blanda o dura. Uno de los factores que se debe tener en cuenta es, que a esta herramienta se le debe proporcionar el ajuste adecuado para evitar problemas por un ajuste excesivo.

2.3.8.2 Estabilizadores: Para formaciones duras se recomienda de aletas cortas, con revestimiento o insertos de carburo de tungsteno.

2.3.8.3 Tubería de perforación (Drill Pipe): Los fabricantes de tuberías deben cumplir con las siguientes características:

- Grado.
- Medida (Diámetro).
- Espesor de pared.
- Peso.

- Según el rango se clasifican en:
 - ✓ Rango I 18 a 22 pies.
 - ✓ Rango II 27 a 30 pies.
 - ✓ Rango III 38 a 45 pies.

- Clasificación de tuberías en función del desgaste:
 - ✓ Clase nueva.
 - ✓ Clase Premium.
 - ✓ Clase 2.
 - ✓ Clase 3.

Las tuberías se fabrican de varios tamaños y la selección depende del diámetro del pozo.

2.3.8.4 Recomendaciones previas al diseño de la sarta de perforación.

Antes de realizar el diseño de la sarta de perforación se recomienda revisar las tablas y programas con el fin de obtener la siguiente información³²

- ✓ Etapas (Asentamiento de revestimiento).
- ✓ Profundidad.
- ✓ Tubería de perforación: Diámetros, grado – clase, pesos (kg/m), resistencia a la tensión (kg), junta y apriete.
- ✓ Tubería pesada (HWDP): diámetro, peso (kg/m), junta y apriete.
- ✓ Collares de perforación: diámetro, peso (kg/m), junta y apriete.
- ✓ Densidad del fluido de perforación (g/cc).
- ✓ Broca. Diámetro y tipo.
- ✓ Seleccionar el margen para jalar (Overpull). Se recomienda 40 ó 50 toneladas para mayor seguridad en la sarta de perforación.
- ✓ Aplicar un 20% de factor de seguridad a la herramienta.
- ✓ Estimar el peso sobre la broca máximo esperado.
- ✓ En caso de tener un Liner considerar la profundidad de la boca del liner y calcular las diferentes longitudes de tubería de perforación a utilizar.

³²Diseño de la Perforación de Pozos. PEMEX. [En línea] <Disponible en <http://www.scribd.com/doc/20113691/Diseno-de-la-Perforacion-de-Pozos>>

- **Cálculos Básicos**³³³⁴

- ✓ **Factor de Boyanza y Hookload**

$$\text{Factor de Boyanza} = 1 - \frac{\rho_{\text{fluido}}}{65.5}$$

$$\text{Peso Total en el Aire} = \text{Peso por pie} \times \text{Longitud}$$

$$\text{Hookload} = \text{Peso Aire} \times \text{Factor de Boyanza}$$

- ✓ **Overpull**

$$\text{Max. Overpull} = \text{Resistencia a Fluencia(lb)} - \text{Hookload}$$

- ✓ **Punto Neutral**

Caso 1. Pozo vertical con el punto neutral en los Drill Collars

$$L_{PN} = \frac{W_{OB}}{W_{DC}(FB)}$$

Donde

L_{NP}	Longitud desde la broca al punto neutro (pies)
W_{DC}	Peso por pie de los Drill Collars
FB	Factor de Boyanza del fluido de perforación

³³BAKER HUGHES INTEQ. DrillingEngineering Workbook. A Distributed Learning Course. Diciembre 1995.

³⁴LAPEYROUSE, NORTON J. Formulas and Calculations for Drilling, Production, and Workover. 2002

Caso 2. Pozo vertical con el punto neutro en la sarta de Heavy Weight Drill Pipe

$$L_{PNHW} = \frac{WOB - W_{DC} \cdot L_{DC} \cdot (FB)}{W_{HW} \cdot (FB)}$$

- Donde
- L_{PNHW} Longitud desde la broca al punto neutro (pies)
 - W_{DC} Peso por pie de los Drill Collars
 - FB Factor de Boyanza del fluido de perforación
 - L_{DC} Longitud de los Drill Collars
 - W_{HW} Peso por pie de la sarta de Heavy Weight Drill Pipe

✓ **Calculo de la longitud de ensamblaje de fondo (BHA) necesaria para un peso sobre a broca (WOB) determinado**

$$\text{Longitud (pies)} = \frac{WOB \times f}{W_{DC} \times FB}$$

- Donde
- WOB Peso deseado sobre la broca durante la perforación
 - f Factor de seguridad
 - W_{DC} Peso Drill Collar, lb/ft
 - FB Factor de Boyanza

- ✓ **Calculo de la longitud de Drill Pipe que puede ser usado con un ensamblaje de fondo determinado (BHA)**

A continuación se presenta el procedimiento a seguir:

- Determinar el Factor de Boyanza

$$\text{Factor de Boyanza} = 1 - \frac{\rho_{\text{fondo}}}{65.5}$$

- Determinar la longitud máxima de Drill Pipe que puede ser corrida dentro del pozo con un específico ensamblaje de fondo:

$$\text{Longitud}_{\text{max}} = \frac{[(T \times f) - \text{MOP} - W_{\text{BHA}}] \times \text{FB}}{W_{\text{DP}}}$$

- Donde
- T Resistencia a la Tensión, lb para tubería Drill Pipe nueva
 - F Factor de Seguridad para corregir la tubería nueva a # 2
 - MOP Margen de Overpull
 - W_{BHA} Peso del Ensamblaje de Fondo en el aire, lb/pie
 - W_{DP} Peso del Drill Pipe en el aire, lb/pie
 - FB Factor de Boyanza

- Determinar la profundidad total que puede ser alcanzada con un ensamblaje de fondo específico.

$$\text{Profundidad Total (pies)} = \text{Longitud}_{\text{máx}} + \text{Longitud}_{\text{BHA}}$$

2.3.9 Programa de Hidráulica.

2.3.9.1 Objetivo. El objetivo principal en el diseño del programa hidráulico es:

- Incrementar la velocidad de penetración, derivada de la efectiva limpieza en el fondo del pozo.
- Evitar disminuir la erosión excesiva de las paredes del pozo y no provocar derrumbes o deslaves.
- Control en las pérdidas de presión en el sistema de circulación para evitar variaciones de presión en el pozo por la densidad equivalente de circulación, limitar la presión disponible en la broca y los HP hidráulicos para la circulación.

2.3.9.2 Factores involucrados.

- Peso específico del fluido de perforación (gr/cc).
- Gasto y presión máxima de bombeo.
- Diámetro de brocas.
- Velocidad de perforación.
- Profundidad del pozo.
- Características geométricas de la sarta de perforación.

2.3.9.3 Parámetros hidráulicos. Con el fin de lograr la mayor optimización hidráulica se tienen las siguientes alternativas:

- Impacto hidráulico.
- Caballos de fuerza hidráulicos (HHP).
- HHP/ in² en la broca.
- Velocidad del fluido de perforación en las boquillas.
- Velocidad anular óptima entre Tubería de perforación y pozo.

Una consideración importante son las propiedades del fluido de perforación en un cálculo hidráulico. Si se tienen altas densidades o viscosidades, los efectos sobre las pérdidas de presión por fricción son altos.

- *Impacto hidráulico*

$$P_s = 0,51 * P_m \quad P_b = 0.49 * P_m$$

P_m = Pérdida de presión por fricción total en el sistema de circulación (presión de bombeo).

P_s = Pérdida de presión por fricción por el interior y fuera de la sarta de perforación.

P_b = Pérdida de presión por fricción en la broca.

Establece que el 51% de la presión limitada en la superficie debe ser para P_s y el restante 49% de la presión disponible se aplica a la broca.

- *Caballos de fuerza hidráulicos*

$$P_s = 0.35 * P_m \quad P_b = 0.65 * P_m$$

En este caso la presión P_m es 35% para P_s y el 65% restante para la broca. El presente parámetro es aplicable cuando la caída de presión por fricción por dentro y fuera de la sarta es baja, por ejemplo al inicio de la perforación.

- *Velocidad de fluido de perforación en las boquillas*

La velocidad de fluido en las boquillas recomendable es de 200 a 300 pies/seg.

- *Velocidad anular*

Elegir condiciones de flujo y presiones bajas en el espacio anular, de preferencia flujo laminar. Este causa menos lavado y erosión de la pared del pozo, menores pérdidas de fluido y mejor transporte de los recortes que el flujo turbulento.

2.3.9.4 Guía para la optimización hidráulica³⁵.

- Que la caída de presión a través de la broca sea de 50 a 65% de la presión de bombeo.
- Se recomienda que el índice de limpieza sea entre 2.5 a 5 HP/pg² de área del pozo.
- Como regla de la mano derecha, se recomienda que el caballaje utilizado a altas velocidades de penetración sea limitado por la raíz cuadrada de la velocidad de penetración en pies/hr (ejemplo: 4 HP para 16 pies/hr o 5 HP para 25 pies/hr). Con caballaje encima de 5 Hp/pg² de área del fondo, puede causar falla o fractura rápida de la broca.
- Utilizar velocidad de flujo de 30 a 50 gpm/pg de diámetro de la broca. El gasto debe ser suficiente para limpiar la broca. También, una alta velocidad de flujo puede dañar la broca y erosionar la pared del pozo. Los valores mencionados, son aproximados y empíricos, pero en la práctica dan buenos resultados. Altas velocidades pueden dañar la broca, causar erosión y altas presiones en el espacio anular.
- La perforación más efectiva ocurre cuando la optimización se encuentra entre el máximo Hp y máximo impacto.
- El impacto es maximizado en cuando alrededor del 50% de la presión de bomba es utilizada a través de las boquillas de la broca.
- El uso de dos boquillas puede dar una limpieza en el fondo del pozo y una velocidad de penetración más efectiva.

³⁵Diseño de la Perforación de Pozos. PEMEX. [En línea] <Disponible en <http://www.scribd.com/doc/20113691/Diseno-de-la-Perforacion-de-Pozos>>

Sin embargo, la alta velocidad de penetración por el uso de dos o más chorros con brocas grandes, causa un desequilibrio del flujo y los recortes interfieren con la acción de corte de un cono. Esto acorta la vida de la broca. Esta práctica sólo se recomienda en brocas con diámetros menores a 9^{1/2}" con velocidades de penetración menores a 15m/hr, tomando en cuenta el tipo de formación, de broca y no se requiera el uso de obturante.

Para mayor información acerca de estos temas:

- *Pérdidas de presión en el sistema de circulación*
- *Cálculos básicos de hidráulica*
- *Modelos reológicos y regímenes de flujo*

Por favor visite la herramienta multimedia "DrillLearning".

2.3.10 Programa de Brocas. Durante la planeación de un pozo, se deben seleccionar los tipos de brocas a usarse de acuerdo a las características de la formación y al diseño actual que se tenga. Hoy en día existen diversos tipos de brocas para la perforación de un pozo.

Uno de los objetivos en la selección de brocas es la de reducir los costos de perforación.

Los nuevos desarrollos en las tecnologías de las brocas, así como las bases de datos de brocas, facilitan la selección de una broca adecuada a la formación logrando así un mayor nivel de operación.

Para la planeación del programa de brocas de un pozo a perforarse, se procede como sigue:

1. El ingeniero de diseño encargado de la planeación del pozo, deberá de llevar a cabo una selección inicial de las brocas, basado en los objetivos, riesgos y geometría.

2. Efectuar un estudio detallado de los registros de brocas de los pozos vecinos, para que el programa sea un promedio del área.
3. El programa de brocas y los programas operacionales deberán afinarse para lograr que el pozo a perforar rebase la operación promedio del área.

2.3.10.1 Tipos de brocas. En la actualidad existen diversos tipos de brocas para la perforación de pozos que difieren entre sí, ya sea en su estructura de corte o por su sistema de rodamiento. Las brocas se clasifican en:

- Brocas tricónicas.
- Brocas de diamantes.
- Brocas de diamante policristalino (PDC).

Factores para la selección de brocas:

- Dureza y abrasividad de la formación.
- Geometría del pozo.
- Control direccional.
- Sistema de rotación.
- Tipo de fluido de perforación.

Actualmente cuando la variedad de brocas es aún mayor y el proceso de selección parece ser más complicado; aplicando algunos lineamientos se logra incrementar el ritmo de penetración y obtener ahorros significativos en el costo de perforación.

2.3.10.2 Tamaño de brocas. Las brocas de cono están disponibles en cualquier tipo de diseño, estructura de corte y sistema de boquillas. Las brocas PDC y de diamante tienen la opción de diseñarse bajo pedido especial.

Parámetros de operación:

- Peso sobre broca (WOB).
- Velocidad de rotación (RPM).
- Hidráulica de perforación.

Esta selección de parámetros para la optimización de la perforación es una de las partes más importantes y el procedimiento es:

- Seleccionar los pozos de desarrollo para la correlación.
- Obtener los registros de brocas de pozos vecinos.
- Determinar el costo del equipo para el pozo planeado.
- Calcular los costos de perforación para cada una de las brocas utilizadas en los pozos de correlación.
- Seleccionar las condiciones que dan como resultado el mínimo costo por metro.

2.3.11 Selección de las profundidades de asentamiento de las tuberías de revestimiento³⁶

Uno de los aspectos de primer orden dentro de las operaciones que se efectúan para perforar un pozo, es el que se refiere a la protección de las paredes del pozo para evitar derrumbes y aislar manifestaciones de líquidos o gas. Dicha protección se lleva a cabo mediante tuberías de revestimiento, las cuales se introducen al pozo en forma telescópica, es decir, que los diámetros de las tuberías utilizadas van de mayor a menor, por razones fundamentalmente técnicas y económicas.

³⁶OPERACIÓN NIVEL III Curso De Capacitación y Desarrollo de Habilidades en Actividades de Perforación y Mantenimiento de Pozos – PEMEX.

El objetivo de un diseño, es seleccionar una tubería de revestimiento con un cierto grado, peso y junta, que sea la más económica, y que además resista sin falla, las fuerzas a las que estará sujeta.

Al ser colocada dentro de un pozo, la tubería de revestimiento está sujeta a tres fuerzas significantes durante las operaciones de perforación, terminación, reparación o vida productiva del pozo, por lo que en su selección deben soportar los siguientes esfuerzos:

- Presión externa (colapso).
- Presión interna.
- Carga axial y longitudinal (tensión y compresión).

Las funciones de las tuberías de revestimiento son:

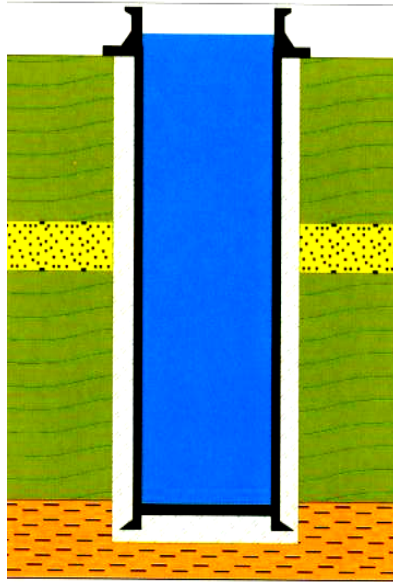
- Evitar derrumbes y concavidades.
- Prevenir la contaminación de los acuíferos.
- Confiar la producción del intervalo seleccionado.
- Dar un soporte para la instalación del equipo de control superficial.
- Facilitar la instalación del equipo de terminación, así como los sistemas artificiales de producción.

En general, las tuberías de revestimiento se pueden clasificar en conductora, superficial, intermedia y de explotación.

2.3.11.1 Tubería Conductora: Es la primera que se cementa o hinca al iniciar la perforación del pozo. La profundidad de asentamiento varía de 20 m a 250 m.

Su objetivo principal es establecer un medio de circulación y control del fluido de perforación que retorna del pozo hacia el equipo de eliminación de sólidos y los tanques de tratamiento. Permite continuar perforando hasta alcanzar la profundidad para asentar la tubería de revestimiento superficial.

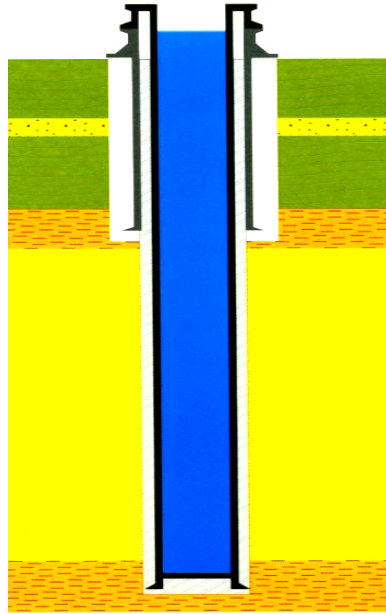
Figura 14. Tubería Conductora.



Tomado de: OPERACIÓN NIVEL III Curso de Capacitación y Desarrollo de Habilidades en Actividades de Perforación y Mantenimiento de Pozos – PEMEX[En Línea] <Disponible en <http://descarga-gratis-libros.com/perforacion-y-mantenimiento-de-pozos-petroleros>>

2.3.11.2 Tubería Superficial: La introducción de ésta tubería tiene por objeto instalar conexiones superficiales de control y al mismo tiempo proteger al pozo descubierto, aislando los flujos de agua y zonas de pérdida de lodo cercanas a la superficie del terreno.

Figura 15. Tubería Superficial.

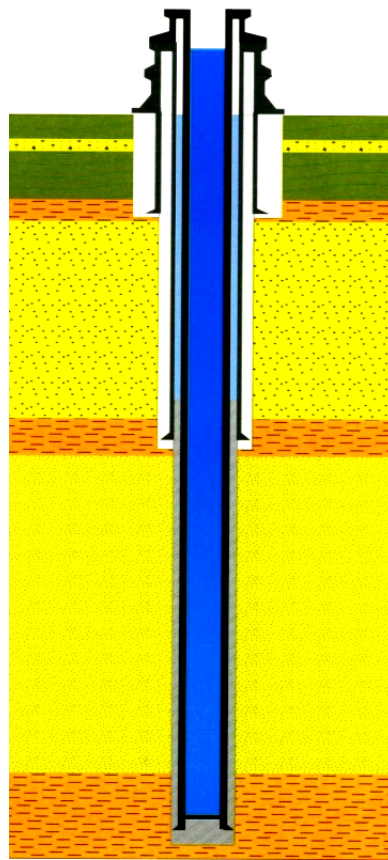


Tomado de: OPERACIÓN NIVEL III Curso de Capacitación y Desarrollo de Habilidades en Actividades de Perforación y Mantenimiento de Pozos – PEMEX[En Línea] <Disponible en <http://descarga-gratis-libros.com/perforacion-y-mantenimiento-de-pozos-petroleros>>

Como ejemplo tenemos que para las diferentes zonas de trabajo, actualmente se emplean tuberías superficiales de 20” para pozos exploratorios o pozos de desarrollo que son a profundidades mayores a 4500 m. Estas tuberías se introducen a profundidades que varían entre 500 y 1000 m, cabe aclarar que los diámetros se seleccionan de acuerdo a la profundidad a alcanzar.

2.3.11.3 Tubería Intermedia: Estas tuberías se introducen con la finalidad de aislar zonas que contengan presiones normales de formación, flujos de agua, derrumbes y pérdidas de circulación: en sí se utiliza como protección del pozo descubierto, para tratar, en la mayoría de los casos, de incrementar la densidad de los fluidos de perforación y controlar las zonas de alta presión.

Figura 16. Tubería Intermedia.



Tomado de: OPERACIÓN NIVEL III Curso de Capacitación y Desarrollo de Habilidades en Actividades de Perforación y Mantenimiento de Pozos – PEMEX[En Línea] <Disponible en <http://descarga-gratis-libros.com/perforacion-y-mantenimiento-de-pozos-petroleros>>

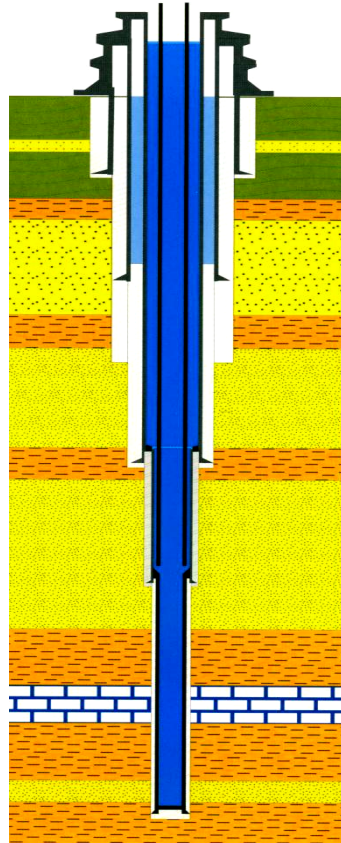
Dependiendo de la profundidad del pozo o de los problemas que se encuentren durante la perforación, será necesario colocar una o más sargas de tuberías de revestimiento intermedia, que aislarán la zona problema.

2.3.11.4 Tubería de Explotación:

Estas tuberías tienen como meta primordial aislar el yacimiento de fluidos indeseables en la formación productora y de otras zonas del pozo, también para la

instalación de empacadores de producción y accesorios utilizados en la terminación del mismo. En el diseño de esta tubería se deberá tener especial atención, considerando todos los elementos que intervienen en su programación.

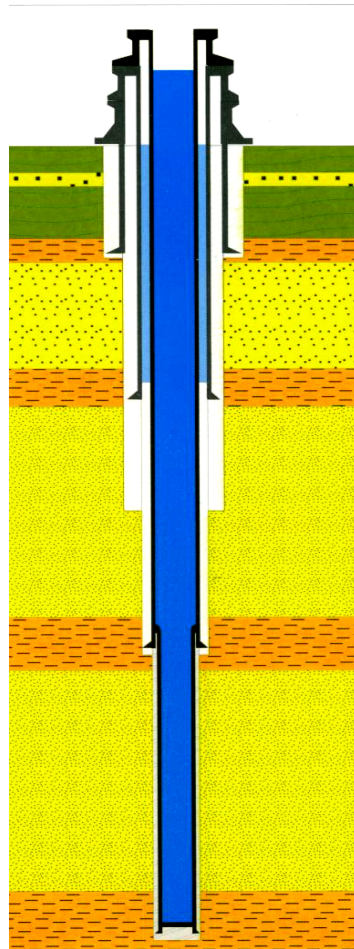
Figura 17. Tubería deExplotación



Tomado de: OPERACIÓN NIVEL III Curso de Capacitación y Desarrollo de Habilidades en Actividades de Perforación y Mantenimiento de Pozos – PEMEX [En Línea] <Disponible en <http://descarga-gratis-libros.com/perforacion-y-mantenimiento-de-pozos-petroleros>>

2.3.11.5 Tubería de Revestimiento Corta (Liners): Constituye una instalación especial que evita utilizar una sarta de la superficie al fondo del pozo; la longitud de esta tubería permite cubrir el pozo descubierto, quedando una parte traslapada dentro de la última tubería que puede variar de 250 a 300 m, y en ocasiones se emplea una longitud mayor, dependiendo del objetivo de su introducción o prolongación hasta la superficie.

Figura 18. Tubería corta de perforación (Liner).



Tomado de: OPERACIÓN NIVEL III Curso de Capacitación y Desarrollo de Habilidades en Actividades de Perforación y Mantenimiento de Pozos – PEMEX[En Línea] <Disponible en <http://descarga-gratis-libros.com/perforacion-y-mantenimiento-de-pozos-petroleros>>

2.3.12 Diseño de Cementación. Las operaciones de cementación en perforación y mantenimiento a pozos se dividen en:

- Cementación primaria.
- Cementación a presión.
- Tapones de cemento:
 - ✓ Tapón de cemento por circulación.
 - ✓ Tapón de cemento por desplazamiento.

2.3.12.1 Cementación a presión: Esta operación se efectúa con cementadores anclados en la Tubería de revestimiento o bien con la Tubería de perforación franca, inyectándose cemento a presión a través de disparos.

Sus principales aplicaciones son:

- Aislar zonas productoras (agua salada-aceite y agua salada-gas).
- Obturar intervalos.
- Corregir cementaciones primarias.
- Abandono de pozos.
- Efectuar sello en zonas con pérdida de circulación.

2.3.12.2 Tapones de cemento:

- *Tapón de cemento por circulación*- Se coloca cuando se conoce que la presión de fondo, en el intervalo abierto, es tal que soporta la presión hidrostática ejercida por la lechada de cemento y el fluido de control desplazante. Así como también la presión de bombeo, generada en la

superficie para colocarlo y desplazar inverso el excedente de la lechada de cemento.

- *Tapón de cemento por desplazamiento.*- Se utiliza cuando de antemano se sabe que la presión de fondo es baja en el intervalo abierto, y debido a esto, no es posible circular el fluido de control a la superficie.

Los objetivos que se persiguen con la aplicación de un tapón de cemento, son:

- Aislar intervalos.
- Abandonar pozos.
- Fijar pescados.
- Punto de apoyo para abrir ventanas o Sidetrack.
- Corregir anomalías en la T.R.
- Protección en el cambio de cabezales.

2.3.12.3 Preparación de la cementación primaria³⁷

- 1.- Verificar que haya en tanques el suficiente lodo para desplazar la lechada.
- 2.- Verificar el suministro de agua que sea lo suficiente para preparar la lechada.
- 3.- Si se trata de una cementación donde se va a manejar grandes volúmenes de lechada, debe contar con los dos laboratorios, rendimientos de lodo y dos necesarios para prepararla.

³⁷Tomado de – OPERACIÓN NIVEL III Curso De Capacitación y Desarrollo de Habilidades en Actividades de Perforación y Mantenimiento de Pozos – PEMEX.

- 4.- Si se instala un tanque estacionario para bombear agua, verificar su llenado con anticipación y verificar que no tenga fugas.
- 5.- Verificar que las líneas para suministro de lodo para desplazar la lechada no estén tapadas por asentamientos de material químico (barita).
- 6.- Verificar la existencia de otros fluidos en caso de que se requiera.
- 7.- Verificar que la unión de enlace entra en la cabeza de cementar sea de la misma medida de la Tubería de Revestimiento y que la rosca sea compatible y esté en buen estado.
- 8.- Revisar que las bombas del lodo del equipo estén en óptimas condiciones de operación.
- 9.- Contar con tablas de información técnica de las bombas a utilizar (dúplex o triplex).
- 10.- Chequeo de manómetros, localizador de peso y consola de control.
- 11.- Revisión del sistema de comunicación y voceo del equipo.
- 12.- Asegurar buena iluminación en áreas de tanques principalmente la del retorno de fluidos en temblorina.
- 13.- Tener la bitácora en orden donde se haya registrado las medidas, grados y pesos de las tuberías de revestimiento al introducir.
- 14.- Verificar que estas tuberías estén bien estibadas y ordenadas en las rampas, de acuerdo a su libraje grados y pesos y medidas para su introducción en el pozo.
- 15.- Verificar que la nomenclatura de las franjas pintadas en la Tubería de Revestimiento coincidan con el orden de la introducción de las mismas, medir en forma selectiva la tubería que está colocada en la parte superior de la rampa (del extremo de cople al primer hilo del piñón cortejando los datos asentados en la bitácora.
- 16.- Verificar que las roscas de las cuerdas de los piñones y cajas de la Tubería de Revestimiento estén previamente engrasados con sus protectores de vinil (no metálicos) colocados en forma correcta.

- 17.- Contar con una presa para recibir fluidos excedentes de la lechada y evitar la contaminación del lodo en tanques.
- 18.- Contar con el servicio de transporte de los desechos de estos fluidos para desechar en locaciones autorizadas.
- 19.- Contar con los accesorios requeridos para estar pesando la densidad de la lechada, en buen estado.
- 20.- Evitar el deterioro de fluidos de desecho que contengan sustancias radioactivas o dañinas para la salud.

2.3.12.4 Procedimiento para la cementación de una tubería de revestimiento y de una tubería de revestimiento corta (Liner)³⁸

- 1.- Tener la profundidad programada.
- 2.- Solicitar cemento y la unidad cementadora, con 4 horas de anticipación.
- 3.- Hacer preparativos para meter Tubería de Revestimiento.
- 4.- Acondicionar lodo para meter Tubería de Revestimiento sin problemas.
- 5.- Efectuar viaje corto a la zapata y circular un ciclo completo.
- 6.- Solicitar material para Tubería de Revestimiento (según diámetro).
- 7.- Preparar andamio (medio changuero) o chancero de alinear Tubería de Revestimiento.
- 8.- Confirmar unidad y cemento a la hora indicada.
- 9.- Cerciorarse que haya suficiente agua para la operación.
- 10.- Desconectar manguera del stand pipe e instalar maclach.
- 11.- Meter Tubería de Revestimiento.
- 12.- Instalar unidad cementadora en cuanto llegue.

³⁸Tomado de – OPERACIÓN NIVEL III Curso De Capacitación y Desarrollo de Habilidades en Actividades de Perforación y Mantenimiento de Pozos – PEMEX.

- 13.-Hacer las circulaciones y el movimiento verticales, según programa.
- 14.-Revisar la cabeza de cementación.
- 15.-Preparar los dispersantes a usar.
- 16.-Terminada la última circulada, soltar el tapón diafragma.
- 17.-Bombear:
 - a.- Dispersantes.
 - b.- Colchón de agua (según programa).
 - c.- Lechada, verificando su densidad.
- 18.-Soltar tapón ciego y desplazar con lodo, usando la bomba del equipo o la unidad de alta.
- 19.-Llegando el tapón al cople, suspender la operación.
- 20.-Descargar presión a cero.
- 21.-Cerrar la válvula de la cabeza de cementación.

2.4 PERFORACIÓN DEL POZO

2.4.1 Selección del sitio de perforación³⁹. La selección del sitio de perforación está basada principalmente en la evidencia geológica que indica posible acumulación de hidrocarburos. La compañía exploradora buscará perforar el pozo en la locación ventajosa para el descubrimiento de dichos hidrocarburos. Las condiciones de superficie, sin embargo, deben ser tenidas en cuenta para dicha selección. Debe haber un área casi horizontal del tamaño suficiente sobre la cual levantar la torre de perforación, excavar piscinas de reserva y suministrar el almacenamiento para todos los minerales y el equipo que serán requeridos para el programa de taladro. Todos los temas legales deben haber sido ejecutados con cuidado, como adquirir un permiso de perforar, levantamiento topográfico del sitio de taladro, entre otros. Cuando todos estos temas hayan sido resueltos, el trabajo sobre el sitio comenzará.

2.4.2 Preparación del sitio de Perforación⁴⁰. La selección del sitio del taladro ha sido realizada y examinada, un contratista o contratistas llegarán al sitio con el equipo para preparar la locación. De ser necesario, el sitio será limpiado y nivelado. Por lo general será construida una piscina grande con el objeto de contener el agua para las operaciones de perforación y para el posicionamiento de cortes de perforación y otros desperdicios. Una torre de perforación pequeña, conocida como un cavador de hueco seco (dry-hole digger), será usada para empezar el hueco principal. Un pozo de gran diámetro será perforado a una profundidad superficial o somera y forrado con el tubo conductor (Conductor Pipe). A veces un espacio extenso y rectangular es excavado alrededor del pozo. Un hueco de menor diámetro llamado "Hueco del ratón" (Rat Hole) es perforado cerca del hueco de pozo principal. El hueco del ratón es forrado con tubo y es usado para el almacenamiento temporal de la Kelly. Cuando todo este trabajo ha sido completado, el contratista de perforación se instalará con la torre de perforación y todo el equipo requerido para perforar el pozo.

³⁹ Apuntes básicos sobre perforación. [En línea] [www.scribd.com]

⁴⁰ Apuntes básicos sobre perforación. [En línea] [www.scribd.com]

2.4.3 Secuencia para la instalación y desmantelamiento del equipo de perforación⁴¹

- 1.- Verificación del sitio donde se instalara el equipo.
- 2.- Inspección a unidades de apoyo logístico.
- 3.- Charlas de seguridad operativa con el personal involucrado.
- 4.- Realizar trazos para la distribución del equipo.
- 5.- Instalación de geomembrana.
- 6.- Instalación de pizarras.
- 7.- Instalación de subestructuras.
- 8.- Instalación del malacate principal.
- 9.- Instalación de bombas de lodo.
- 10.- Instalación de rampa de material químico.
- 11.- Instalación de paquete de máquinas.
- 12.- Instalación de paquetes de lodo.
- 13.- Instalación de caseta de herramientas y tanques de agua y diesel.
- 14.- Armar piso y rotaria.
- 15.- Instalar freno magnético, motor eléctrico y tomas de fuerza.
- 16.- Acoplar transmisiones y líneas neumáticas.
- 17.- Armar mástil y verificar puntos críticos. Evitar dejar objetos en el mástil.
- 18.- Instalar brida de izaje.
- 19.- Guarnir aparejo de levantamiento.
- 20.- Instalar el indicador de peso.

⁴¹OPERACIÓN NIVEL III Curso De Capacitación y Desarrollo de Habilidades en Actividades de Perforación y Mantenimiento de Pozos – PEMEX.

- 21.- Instalar sistema eléctrico, de agua, de aire y combustible y probar el funcionamiento del freno auxiliar.
- 22.- Levantar mástil.
- 23.- Instalar bombas para operar.
- 24.- Armar cobertizo y terminar de instalar red eléctrica.
- 25.- Instalar al frente, cargadores, rampas y muelles de tubería.
- 26.- Instalar tráiler habitación.
- 27.- Nivelación de equipo.
- 28.- Instalación de señalización de seguridad.

Termina procedimiento.

2.4.4 Procedimiento de perforación⁴²

2.4.4.1 El punto de inicio. Típicamente, un conductor amplio, hasta de 36" de diámetro, puede ser forzado desde la superficie con repetidos golpes de martillo. Los sedimentos que quedan contenidos pueden ser ahí perforados y los retornos y cortes circulados a través de un diverter. Bajando la tubería, más que perforando, se evitará que los sedimentos en superficie sean arrancados, lo que haría frágil la formación donde se apoya el taladro. Así se proporciona un anclaje firme a la preventoras. En taladros de patas plegables, esto provee una unión inmediata entre el taladro y la BOP.

En forma alternativa, el pozo puede ser perforado antes de bajar el conductor. Cuando la formación en superficie es perforada con una broca primero, se dice que el pozo ha sido arrancado (spudded). El hueco de superficie puede hacerse de una vez con una broca de gran diámetro, o puede hacerse primero con una broca de diámetro menor y luego ensancharlo con un ensanchador (hole opener) de diámetro mayor.

⁴²DATALOG - Procedimientos y operaciones en el pozo. Versión 3.0 Marzo 2001.

Antes de continuar con la perforación, el hueco debe sellarse para tener un sistema de circulación cerrado. Esto permitirá que el fluido de perforación pueda ser reciclado continuamente y los cortes recolectados y examinados continuamente. Un tubo de diámetro amplio, equivalente al conductor, se bajará hasta el fondo del hueco perforado. Una mezcla de cemento se bombea para que llene el espacio entre la formación y la pared exterior de este revestimiento. Una vez que el cemento esté fijo, el pozo está sellado de forma que cuando se reanude la perforación, el fluido de perforación así como cualquier otro fluido que provenga del pozo pueda ir a la superficie por dentro del revestimiento.

En general, la BOP se instalará cuando el revestimiento haya sido sentado, aunque en algunos casos, los operadores esperan hasta que el hueco de superficie haya sido perforado y este otro nuevo revestimiento sea también sentado. En el caso de taladros de patas plegables y de taladros en tierra, la BOP es instalada directamente debajo de la mesa del taladro. Una línea de flujo (flowline) se conecta para el retorno del lodo y los cortes al sistema de circulación en superficie.

2.4.4.2 Hueco de superficie. El hueco de superficie será de un diámetro grande y se perforará rápidamente pues los sedimentos de superficie no son tan compactos ni consolidados. Un gran volumen de cortes se producirá continuamente. Para asegurar que estos cortes sean removidos del espacio anular para evitar que tapen o bloqueen el movimiento y rotación de la sarta, se hacen circular píldoras viscosas regularmente. Estas son sencillamente un volumen dado de lodo viscoso que se circula por todo el pozo. La viscosidad del lodo le permite levantar y arrastrar todos los cortes fuera del pozo.

El hueco de superficie normalmente se alcanza a hacer con una sola broca. Si de alguna forma esta broca se desgasta antes de llegar a la profundidad prevista, tendrá que sacarse toda la sarta de perforación para cambiar la broca (Trip out). Esto se hace separando la tubería en secciones de 2 (stand doble) o 3 (stand triple) tubos dependiendo de la altura del taladro.

Una vez que esta sección de hueco se ha perforado y antes que la sarta de revestimiento se haya puesto en su lugar, el operador normalmente requerirá que el pozo sea registrado con herramientas de registro eléctrico con el fin de conseguir información sobre el pozo y la litología. Estas herramientas para registrar el pozo son bajadas con un cable delgado (wireline) y se les denomina wireline tools. Estas herramientas son muy costosas pero además el cable que las lleva sólo puede soportar una tensión muy limitada. Entonces en general, antes de registrar, se realiza un viaje de limpieza (wiper trip). Esta operación se hace para asegurar que el hueco está limpio y no esté tapado en alguna parte. Esto implica sacar completamente del hueco abierto la sarta de perforación y la broca quede dentro del conductor o revestimiento anterior, entonces vuelve y se baja la broca al fondo para determinar la condición del pozo. Los problemas menores pueden ser corregidos simplemente trabajando la tubería hacia arriba y hacia abajo circulando al mismo tiempo. Cualquier punto apretado (Tight Spot) debe ser trabajado y corregido. Si el pozo está muy apretado o bajo-calibre (Under Gauge), podrá restringir el movimiento de la sarta, e inclusive hasta impedir que la broca pase por determinado punto. En esta situación, la sección apretada tendrá que ser re-perforada o rimada con circulación y rotación totales. Cuando la broca llegue al fondo, se realizará una circulación de fondos-afuera (Bottoms up). Esto asegura que los cortes que hayan caído o zafado durante la limpieza del pozo se lleven fuera del hueco. Esto permitirá que la herramienta de registros llegue hasta el fondo del pozo.

Cuando se ha registrado toda la sección, se puede bajar y cementar (Cementación) el revestimiento. El propósito principal del revestimiento de superficie es proporcionar un anclaje firme y suficiente para la BOP, proteger a las formaciones superficiales de erosión, y aislar las formaciones que estén sub-presionadas o sobre-presionadas.

Antes de continuar perforando la siguiente sección del pozo, se comprobará la BOP y el revestimiento para asegurar su completa integridad y que el equipo de las preventoras es completamente funcional.

2.4.4.3 Hueco Intermedio. Antes de que esta sección de hueco pueda comenzarse, los tapones de caucho y cemento sobrante de las operaciones anteriores deben sacarse del pozo antes de encontrarse con una nueva litología. Después de perforar una pequeña sección de este nuevo hueco (entre 5 y 10 metros), se efectuará una prueba de la formación. Esta puede ser un Leak-Off Test (prueba de fuga o escape) (LOT) o bien un Formation Integrity Test (Prueba de integridad de la formación) (FIT), las cuales permitirán saber cuál es la presión máxima que se puede ejercer sobre la formación sin fracturarla, situación que debe ser evitada a toda costa.

Exactamente igual que en la sección anterior, los procedimientos que se efectúan serán: Perforación-Viajes-Registros-Revestimiento y Cementación.

El número exacto de secciones de hueco que se haga para cada pozo dependerá de varios factores:

- La profundidad, presión de fractura y margen de patada de pozo (kick tolerance).
- Los problemas de hueco o formación que puedan encontrarse, como zonas de pérdida de circulación, formaciones inestables, presiones anormales de formación, zonas de pega de tubería.
- Cambio del tipo de lodo a un sistema que pueda dañar determinadas formaciones.

Todas estas situaciones pueden resultar en la instalación de un revestimiento para sellar determinado intervalo. Cada revestimiento se bajará desde la superficie hasta el fondo del pozo, cubriendo por lo menos el intervalo de hueco abierto. El nuevo revestimiento se puede cementar completamente hasta la superficie, pero es usual cementarlo sólo hasta que quede cementado con la sección anterior, la cual está directa o indirectamente cementada hasta superficie.

2.4.4.4 Profundidad Total. Cuando se alcanza la profundidad final en un pozo (Total Depth) (TD), el revestimiento que se requiera se bajará dentro del pozo con tubería de perforación y colgada con un colgador (hanger) desde adentro del revestimiento anterior, denominado liner, pero los procedimientos de cementación y prueba serán exactamente los mismos que para cualquier revestimiento. Obviamente a medida que el pozo se hace más profundo, las necesidades de un revestimiento mucho más largo son más costosas si se corriera revestimiento desde el fondo hasta la superficie que si sólo se cubre la sección de hueco abierto.

Las situaciones pueden variar, pero el pozo puede ser perforado a través de una zona prevista como productora hasta su TD, o bien puede ser perforada hasta justamente encima de la zona de producción y hasta allí bajarle un revestimiento. Esta situación permite que todos los problemas encontrados previamente queden aislados de la zona de producción, así se podrá cambiar o modificar el lodo para la zona de interés en términos de la protección de la producción, de la formación y de las presiones esperadas.

Al llegar a TD, el pozo será registrado nuevamente. Una serie muy completa de herramientas de registro se bajarán dentro del pozo si la zona de interés muestra un buen potencial de producción de hidrocarburos. Si no se ha cortado un núcleo o corazón se podrán tomar pequeños núcleos en la pared con una herramienta especializada a las profundidades específicas determinadas de interés.

Si la zona muestra potencial productor, se puede realizar una prueba de producción llamada Drill Stem Test (Prueba con tubería abierta) (DST), la cual se realiza bajando y cementando una tubería de producción hasta el fondo del pozo. Esta tubería de producción se perfora en intervalos precisos que corresponden a la zona de interés. Dicha tubería de producción se llena de salmuera o de un producto de densidad especializada, que permita a los fluidos de formación, fluir dentro del pozo. El equipo de prueba, conocido como árbol de navidad (Christmas tree) se instala en superficie para medir y determinar la presión y las tasas de flujo del yacimiento.

Una vez que el trabajo ha sido completado, el pozo puede ser taponado con cemento para aislar algún hueco abierto si lo hay, o las zonas de producción de la superficie. Si no hay reservas potenciales, el pozo será abandonado, si hay potencial, el pozo será suspendido para efectuar posteriores análisis y pruebas.

2.4.5 Operaciones y maniobras durante la perforación. A continuación se describen algunas de las numerosas operaciones realizadas durante la perforación de un pozo⁴³⁴⁴.

2.4.5.1 Procedimiento y operación para hacer conexiones. Durante la perforación del pozo, una de las tareas más comunes es conectar y desconectar tubería que se introduce o se saca del pozo, para ello se realiza el siguiente procedimiento:

- 1.- Perforar la longitud de la Kelly.
- 2.- Sacar la Kelly.
- 3.- Repasar la longitud perforada.
- 4.- Sacar la Kelly para conectar un tubo sencillo, doble o triple.
- 5.- Meter la Kelly en el agujero auxiliar.
- 6.- Levantar un tubo sencillo, doble o triple.
- 7.- Conectar el tubo e introducirlo al pozo.
- 8.- Levantar la Kelly.

2.4.5.2 Procedimiento y operación para deslizar y cortar cable.

⁴³DATALOG - Procedimientos y operaciones en el pozo. Versión 3.0 Marzo 2001.

⁴⁴OPERACIÓN NIVEL III Curso De Capacitación y Desarrollo de Habilidades en Actividades de Perforación y Mantenimiento de Pozos – PEMEX.

- Procedimiento y operación para deslizar cable.
 - 1.- Calculo de toneladas kilómetro.
 - 2.- Junta de operación y seguridad.
 - 3.- Cuelgan la polea viajera.
 - 4.- Comprueban el colgado de la polea viajera.
 - 5.- Verificar instalación de tornillos tope en el ancla.
 - 6.- Retirar abrazaderas del ancla.
 - 7.- Medir la longitud del cable a deslizar.
 - 8.- Verificar la función para deslizar cable por corona y estabilizador.
 - 10.- Deslizar la longitud de cable seleccionado.
 - 11.- Instalación nuevamente de la abrazadera del cable principal en el ancla.

- Procedimiento y operación para cortar cable.
 - 1.- Despejar piso, quitar tolvas y colgar la polea viajera en el piso de perforación.
 - 2.- Extracción del cable del carrete.
 - 3.- Inspección del cable.
 - 4.- Desanclaje del cable en el carrete del malacate.
 - 5.- Calibración del tambor del malacate y cable.
 - 6.- Preparación para cortar el cable.
 - 7.- Efectuar el corte del cable.
 - 8.- Anclaje del cable en el tambor del malacate.
 - 9.- Enrollado del cable en el tambor del malacate ligeramente tensionado.

- 10.- Instalación de tolvas.
- 11.- Quitar el cable de la polea.
- 12.- Proteger el cable principal.

2.4.5.3 Viaje de Tubería. Viajar la tubería se refiere a sacar la tubería afuera del pozo (tripping out o pulling out) y luego volverla a bajar (tripping in o run in). Los viajes se hacen para cambiar la broca o el ensamblaje de fondo (BHA). También cuando se llega a profundidades donde se va a sentar un revestimiento, donde se va a comenzar un corazonamiento, y cuando se alcanza la profundidad final del pozo.

Los viajes de limpieza (wiper trips) se realizan para limpiar el hueco cuando la sección sin revestimiento se ha hecho muy larga, con el fin de asegurar que no hay puntos apretados, shale derrumbado, etcétera, lo que puede resultar en problemas de hueco apretado si se deja sin trabajar. Un determinado número de paradas (stands) se sacan y después se las vuelve a bajar al fondo para reanudar la perforación. Algunas veces se saca hasta la zapata de revestimiento inmediatamente anterior y luego se vuelve a bajar a fondo. Estos viajes de limpieza también se hacen antes de hacer registros eléctricos y antes de bajar un revestimiento.

2.4.5.4 Extracción de tubería del pozo. La principal preocupación cuando se saca tubería es evitar influjos al pozo que puedan resultar en una patada de pozo. Esto podría ocurrir por una reducción de la presión hidrostática que resultaría de no mantener el nivel del lodo en el anular o por causar excesivas presiones de suabeo. Cuando se saca la tubería del pozo, el nivel de lodo en el anular caerá en una cantidad igual al volumen del acero sacado del pozo. Esta caída obviamente reduce la altura vertical de la columna de lodo, lo cual resulta en una presión hidrostática menor sobre la pared del pozo. Para evitar que la presión dentro del pozo caiga debajo de la presión de formación, lo cual resultaría en un influjo, es de importancia crítica que se mantenga lleno de lodo el espacio anular (Es decir, se bombea lodo dentro del pozo para reemplazar el volumen de acero a medida que se va sacando tubería).

2.4.5.5 *Viaje hacia el fondo del pozo.* El lodo normalmente es desplazado al tanque de succión cuando la tubería de perforación se va bajando dentro del pozo, y como cuando se está sacando tubería, es igualmente importante asegurarse que el volumen correcto de lodo está siendo desplazado por el movimiento de tubería.

2.4.5.6 *Medir y Conejear la Tubería (Strapping and Rabbiting the Pipe).* Medir las paradas (stands) de la tubería a medida que se la va sacando se conoce como Strapping. Esta operación se realiza para confirmar el listado de la tubería (pipe tally) y verificar la profundidad real del pozo. Conejear la tubería (rabbiting) se refiere a limpiar suciedad dentro de la tubería dejando caer un conejo (rabbit) generalmente de madera.

3. METODOLOGÍA DE DESARROLLO

Para la realización de la herramienta multimedia se realizó un seguimiento a la metodología de diseño de instrucciones ADDIE⁴⁵ en conjunto con la metodología para el desarrollo de aplicaciones educativas en ambientes multimedios de Adeide Bianchini⁴⁶. Ninguna de las dos metodologías se ha seguido completamente, pues éstas abarcan procedimientos de implementación y retroalimentación. Sin embargo, el desarrollo de las tecnologías de la información y la comunicación en el sistema educativo de las universidades conllevará a su posterior culminación.

3.1 ANÁLISIS DEL ENTORNO

3.1.1 Objetivos que se pretenden alcanzar con el uso de la herramienta.

- Comprender los conceptos fundamentales en el área de perforación de pozos en ingeniería de petróleos.
- Facilitar un mejor desarrollo del proceso enseñanza-aprendizaje en perforación de pozos en ingeniería de petróleos para los estudiantes de tal asignatura.
- Facilitar al estudiante una alternativa de estudio en el área perforación de pozos que le permita avanzar y reforzar el conocimiento bajo el control de su tiempo.

⁴⁵STEVEN J. MCGRIF. Instructional Systems, College of Education, Penn State University, 9/2000

⁴⁶ADELAIDE BIANCHINI, Metodología para el desarrollo de aplicaciones educativas en ambientes multimedios, Universidad Metropolitana de Caracas, 10/1992

3.1.2 Características del público objetivo. La herramienta multimedia para el estudio de perforación de pozos en ingeniería de petróleos está enfocada hacia estudiantes de ingeniería de petróleos que cursen la asignatura Perforación de pozos, y docentes de la misma principalmente. No obstante, es factible que pueda servir como herramienta de consulta a todas aquellas personas interesadas e involucradas en la perforación de pozos en la industria de los hidrocarburos.

Para que esta herramienta pueda ser de gran utilidad al usuario, este último debe manejar conceptos básicos de asignaturas como Lodos y Cementos, fenómenos de transporte, y Registro de pozos.

3.1.3 Área de contenido. La herramienta multimedia está constituida por seis elementos principales dentro de los cuales se exponen los elementos más importantes del equipo de perforación de pozos, los fluidos de perforación utilizados, los conceptos y operaciones de cálculo en hidráulica de perforación de pozos, las técnicas de perforación de pozos más comunes, los fundamentos básicos de completamiento de pozos, y los problemas operacionales más frecuentes durante la perforación de un pozo para hidrocarburos.

3.1.4 Restricciones. La herramienta multimedia “DrillLearning” está restringida en cuanto a la transmisión de objetos de aprendizaje, principalmente audiovisuales, que hagan referencia a los procedimientos que se realizan en la industria de hidrocarburos actualmente, pues el acceso a una información actualizada de calidad en tecnología de perforación está limitado a uso interno de las empresas del sector.

Por otro lado, la implementación del contenido audiovisual internamente en la estructura de la herramienta durante su programación en la aplicación seleccionada para tal fin ocasiona pérdida en la calidad del material. Sin embargo, en el momento de su implementación Web, éste problema se puede solucionar con el uso de llamados del contenido al espacio en la herramienta.

3.1.5 Opciones de desarrollo. El desarrollo de la herramienta multimedia “DrillLearning” se puede realizar de acuerdo a la instancia de aplicación que se ofrecerá para el producto finalizado. En base a que la herramienta diseñada es un prototipo de tecnología en información y comunicación. La opción más factible de desarrollo es mediante una herramienta computacional de diseño de presentaciones, específicamente se utilizará Adobe Flash ®. Bajo esta plataforma, el acceso masivo a la herramienta se puede facilitar tanto en medios físicos, como a través de la web. Sin embargo, para una aplicación definitiva en internet es recomendable establecer un sistema de repositorios y realizar un llamado a los Assets que necesita la herramienta para su funcionamiento facilitando la optimización en velocidad de funcionamiento y acceso a la herramienta.

3.1.6 Necesidad educativa. El propósito principal de la herramienta multimedia es facilitar a los estudiantes del área de perforación de pozos una fuente de información más objetiva, sintetizada, interactiva, y con soporte audiovisual del contenido de la asignatura perforación de pozos buscando apoyar el proceso educativo de la misma.

3.2 DISEÑO

3.2.1 Diseño lógico. La herramienta multimedia “DrillLearning” se establece como un sistema tutorial donde se busca mantener la motivación del usuario mediante una interfaz que permite la selección de contenidos, la forma en que se han establecido los mismos busca que el usuario pueda asimilar conceptos específicos del tema que revisa, y posteriormente pueda empalmarlos mientras explora un contenido diferente. Con el diseño de un sistema de evaluación por selección múltiple el sistema ofrece al usuario retroinformación y refuerzo de los resultados alcanzados por el usuario.

3.2.2 Diseño funcional. El uso de la herramienta multimedia facilitará al usuario adquirir el conocimiento a la medida de su disposición, sin embargo, hay que establecer que la herramienta no ofrece la facilidad de alcanzar un nivel de conocimiento óptimo por medio del uso netamente autodidacta. Para facilitar el proceso de enseñanza – aprendizaje es necesario el apoyo por parte de un tutor que refuerce los conceptos que se deben adquirir con el curso de la asignatura, facilite la solución de las inquietudes que se puedan generar en el usuario con el uso de la herramienta, y posea las capacidades para realizar un proceso evaluativo bajo el cual pueda inferir el nivel de conocimiento que ha alcanzado el estudiante. Adicionalmente es importante la realización de una salida práctica mediante la cual el usuario pueda transformar todo el contenido audiovisual que ha obtenido por medio del software en una experiencia real y práctica en su proceso de aprendizaje.

3.2.3 Diseño físico.

3.2.3.1 Medios de transmisión de la información. La base de la herramienta multimedia es la transmisión de la información por medio de texto, la información textual no se ha eliminado aun cuando se presentan objetos audiovisuales que pueden explicar mejor los conceptos, facilitando un refuerzo en la información que se quiere transmitir; por otro lado, todas las consideraciones de diseño que eventualmente se requieren en los diversos procesos de perforación son comprensibles en mayor medida mediante una transmisión textual.

Con el uso del hipertexto, se ha creado un entorno selectivo de la información facilitando la asimilación de conceptos de forma aislada a la temática general, buscando que el usuario pueda asociarlo en el proceso enseñanza-aprendizaje en una temática diferente a medida que utiliza la herramienta.

La herramienta multimedia posee elementos audiovisuales que facilitan la comprensión de procedimientos y conceptos en el área de perforación de pozos, sin embargo, estos objetos audiovisuales no representan la actualidad tecnológica del sector y no transmiten al usuario una visión ideal, de acuerdo a la realidad visual que se necesita alcanzar. Las imágenes son el medio visual predominante a lo largo del contenido, después del texto, las animaciones y videos se han incorporado principalmente para facilitar la comprensión de un proceso.

3.2.3.2 Desarrollo de la Interfaz. DrillLearning maneja una interfaz de uso intuitivo por medio de elementos que diferencian la parte educativa de la evaluativa. Estos elementos permiten también el acceso al contenido en la forma en que se ha segmentado. Esto se ha conseguido con la implementación de cuatro grandes tipos de interfaces gráficas: La interfaz de inicio y selección del sistema, la interfaz de contenido académico, la interfaz del sistema de evaluación, y la interfaz del módulo de ayuda.

Las interfaces guardan una relación entre sí en materia de diseño gráfico y funcionalidad, sin embargo, las diferencias entre ellas se presentan de forma general a continuación:

- **Interfaz de inicio y selección:** La interfaz de inicio y selección, es una página con tres elementos de selección: contenido académico, sistema de evaluación, y módulo de ayuda. Al iniciar la aplicación se presenta una corta animación de introducción.
- **Interfaz de contenido académico:** Inicialmente es una página con seis elementos de selección los cuales hacen referencia a los grupos en los cuales se agrupó la información (ver contenido de la herramienta). Cada uno de estos elementos despliega una subdivisión de temas correspondientes a la temática escogida, lo anterior con el fin de permitir el acceso a temáticas específicas proporcionando el carácter de consulta en la herramienta multimedia. La escogencia de cualquier tema redirige al usuario al módulo de contenido académico específico donde podrá revisar la información.

Una vez en el módulo de información se implementó un sistema de navegación horizontal, debido a problemas generados por la extensión del contenido incluido. Se presentan elementos de selección para la navegación dentro del texto, selección de contenido audiovisual, y opciones de regreso al menú principal.

- **Interfaz del sistema de evaluación:** Posee la preselección de las seis categorías en las cuales se ha segmentado el contenido, cada una para acceder a un listado de preguntas específicas del tema seleccionado.

- **Interfaz del módulo de ayuda:** Posee elementos de selección bajo los cuales se accede a documentos informativos respecto al desarrollo del proyecto y la información técnica de funcionamiento de la herramienta.

3.2.3.3 Imágenes. El uso de imágenes se presenta a lo largo del contenido textual facilitando la asimilación de objetos por parte del usuario, no obstante, la diferencia en la calidad del material obtenida como resultado del favorecimiento del aprendizaje puede entorpecer la motivación del usuario hacia el uso de la herramienta.

3.2.3.4 Sonido. El uso de sonido en la herramienta se ha restringido a los espacios estrictamente necesarios, se ha implementado con la intención de adornar la aplicación. Por otro lado, en el caso de los sonidos asociados al material audiovisual, éstos se han implementado de tal forma que conlleven una relación directa con lo que el usuario está observando buscando mejorar su capacidad de asimilación del conocimiento, no se han implementado sonidos en la totalidad de la herramienta ya que lo único que se conseguiría con ello es entorpecer la finalidad y el funcionamiento de la misma.

3.2.3.5 Color. Los colores predominantes en la herramienta han sido seleccionados buscando una relación con la temática que se está implementando, y un equilibrio con la función del programa. Se ha hecho especial énfasis en facilitar la lectura de texto por parte del usuario.

3.2.3.6 Contenido Audiovisual. El contenido audiovisual en la herramienta se presenta en ventanas desplegadas con un tamaño adecuado buscando que el usuario se pueda enfocar en observar el material sin perder la conexión con la temática que se encontraba explorando.

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

- ✓ **RIG DE PERFORACION:** Sistema de Rotación, Sistema de Potencia, Sistema de Levantamiento, Sistema de Circulación, Sistema de prevención de reventones.

- ✓ **FLUIDOS DE PERFORACION:** Funciones del fluido de perforación, tipos básicos de fluidos de perforación, reología básica del fluido de perforación.
- ✓ **HIDRAULICA DE PERFORACION:** Regímenes de flujo, tipos de fluidos, terminología reológica, modelos reológicos, terminología en hidráulica de perforación, cálculos de hidráulica.
- ✓ **TECNICAS DE PERFORACION:** Convencional, horizontal, direccional, perforación offshore.
- ✓ **COMPLETAMIENTO DE POZOS:**Revestimiento, cementación, completamiento, cañoneo, registros.
- ✓ **PROBLEMAS OPERACIONALES:** Problemas en la formación y la estabilidad del pozo, pérdida de circulación, patadas y reventones, pega de tubería, vibraciones en la sarta de perforación, washouts.

3.2.3.8 Sistema de evaluación. El sistema de evaluación de la herramienta se ha desarrollado en formato de preguntas de selección múltiple con única respuesta correcta buscando que el usuario ejercite el análisis de una premisa para seleccionar una alternativa adecuada en un tema específico, con esto se busca afianzar algunos conceptos claves en cada temática tratada por medio de la ejercitación de la memoria del usuario. En todo caso el sistema de evaluación de la herramienta no constituye un medidor global del conocimiento alcanzado por el usuario, razón por la cual no se puede tomar como un método de evaluación universitario; No obstante, el sistema de evaluación si busca que el usuario pueda reconocer sus falencias en el tema. El cumplimiento de la finalidad de éste sistema de evaluación recae en la sinceridad que posee el usuario para sí mismo, ya que el número de preguntas, y las restricciones para su solución no se pueden establecer en la aplicación utilizada para su desarrollo.

4 MANUAL DEL USUARIO

Este manual tiene como objetivo principal, brindar al usuario la orientación necesaria para el manejo de la herramienta multimedia “DrillLearning”, describiendo cada una de las funciones y elementos que la conforman, generando así una guía práctica que le permita conocer las opciones de navegación y ayudas de las cuales dispone durante su ejecución.

4.1 REQUERIMIENTOS PARA LA INSTALACIÓN Y USO DE LA HERRAMIENTA DRILLLEARNING

4.1.1 Instalación de la Herramienta Multimedia DrillLearning. Para la utilización de La Herramienta multimedia “DrillLearning” no es necesario llevar a cabo un proceso de instalación en el equipo, sin embargo, es indispensable contar con un espacio libre en el disco duro de 100 MB para su ejecución. Una vez se posea el software, éste se ejecutará por sí mismo. Si su equipo tiene la reproducción automática (autorun) desactivada, sólo basta con ejecutar la aplicación “DrillLearning.exe”, desarrollada en Flash para tener acceso visual a la herramienta multimedia.

4.1.2 Procedimiento de Inicio. Para iniciar el programa, se debe introducir el cd y éste se autoejecutará, en caso contrario se debe dar doble click en la aplicación DrillLearning.exe (Figura 19), y automáticamente se visualizará la ventana de inicio en la cual podrá apreciarse una introducción en donde aparecerán los logos de la Universidad Industrial de Santander, de la Escuela de Ingeniería de Petróleos y el de la Herramienta Multimedia –DrillLearning-, como se aprecia en la figura 20.

Figura 19. Visualización de la aplicación *DrillLearning.exe*.

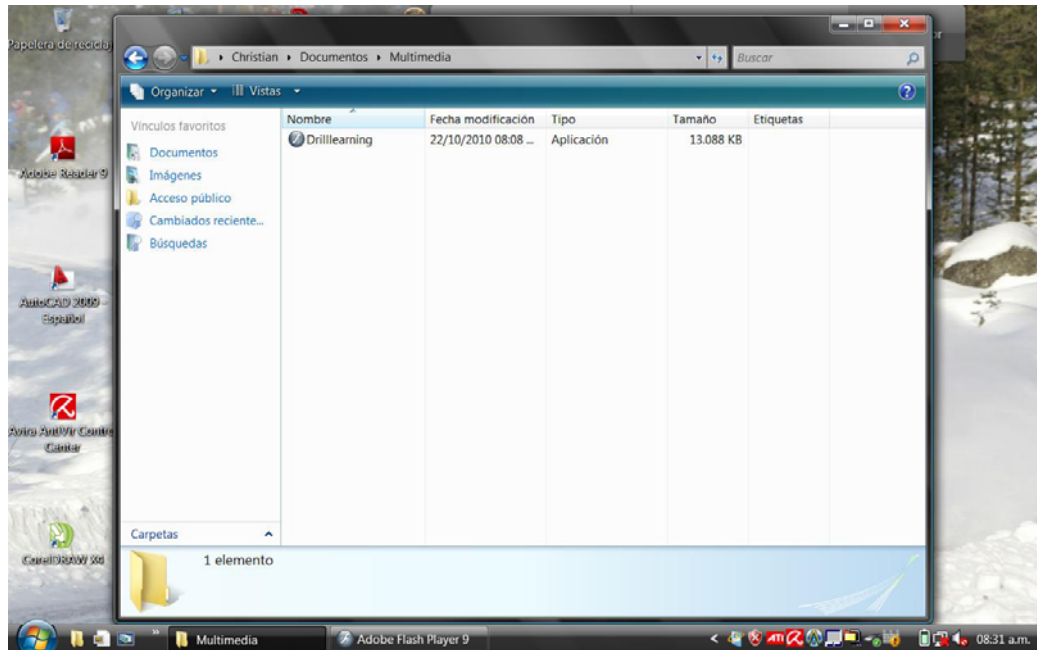


Figura 20. Ventana de visualización de la introducción.



4.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA

A continuación se dará a conocer en forma general cada uno de los componentes de la herramienta multimedia DrillLearning, así como el procedimiento para el acceso a la información.

4.2.1 Interfaz de Inicio. La interfaz de la página de inicio o de entrada al sitio aparece una vez se ha pasado el proceso de introducción descrito en el numeral anterior, en esta página se visualizarán tres botones principales, como se puede apreciar en la Figura 21.

Figura 21. Ventana de visualización de la página de inicio.



Los tres ítems principales en esta página son:

- ✓ Perforación de pozos: en esta sección se tendrá acceso a toda la información acerca de la perforación de pozos de petróleo. Esta información incluye el equipo de perforación, los fluidos utilizados en perforación, hidráulica de perforación, técnicas de perforación y completamiento de pozos. El tipo de información incluye texto, imágenes, animaciones y videos.
- ✓ Sistema de Evaluación: en esta sección se tiene acceso a un Test de conocimientos con el fin de evaluar lo aprendido por el usuario durante su proceso de aprendizaje.
- ✓ Ayuda: en el menú de ayuda puede tenerse acceso a documentos relacionados con Las Tecnologías de Información y comunicación (TICS) y al manual de usuario, así como también a las referencias bibliográficas utilizadas para el desarrollo de la herramienta.

4.2.2 Sistema de Contenido. El contenido de la herramienta multimedia DrillLearning contiene información textual, gráfica y animada distribuida en seis secciones principales, éstas se visualizan una vez se ingresa en el módulo Perforación de pozos, como se aprecia en la Figura 22.

Figura 22. Contenido de la sección Perforación de pozos.



Al hacer click en cada uno de estos botones se tendrá acceso a la información referente a:

1. Rig de Perforación: Equipo y herramientas básicas utilizadas durante la perforación de un pozo.
2. Fluidos de Perforación: Principales tipos de fluidos de perforación, sus funciones y propiedades reológicas.
3. Hidráulica de Perforación: Regímenes de flujo, modelos reológicos, diseño hidráulico.
4. Técnicas de Perforación: Convencional, horizontal, direccional, perforación offshore.
5. Completamiento de Pozos: Casing, cementación, completamiento, registros

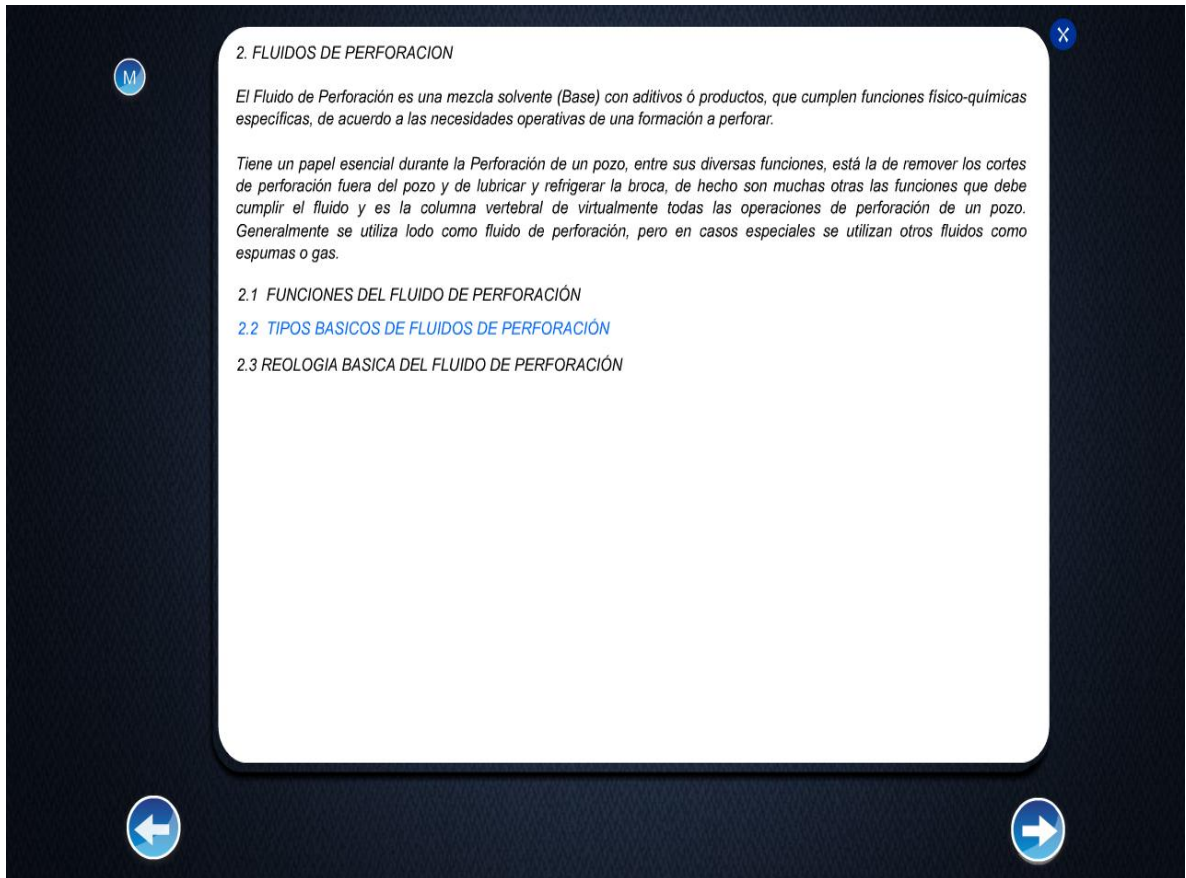
6. Problemas Operacionales: Problemas en la formación y la estabilidad del pozo, pérdida de circulación, patadas y reventones, pega de tubería, vibraciones en la sarta de perforación, washouts.

Para los numerales 2 al 6, el acceso a la información es simple y tan solo basta con ingresar en cada ítem para lograrlo, en el numeral *Rig de Perforación* se accede a un nuevo menú que se describirá más adelante.

Cada una de estas secciones posee la información distribuida en páginas. La navegación a través de éstas se logra por medio de un menú numerado que se encuentra en la parte inferior de la ventana de visualización (Figura 23). Por medio de éste el usuario puede seleccionar la página que desee consultar, según el lugar donde se encuentre el objeto de su consulta.

Además al inicio de cada sección el usuario cuenta con el menú de los principales temas que se tratan en dicha sección, para que seleccione el que necesite consultar y el proceso de navegación sea más cómodo.

Figura 23. Ventana de visualización del contenido.



4.2.3. Videos, Gráficos y Animaciones. La herramienta multimedia DrillLearning, cuenta con un material variado que además de texto, como se mencionó anteriormente, incluye gráficos, esquemas, videos y animaciones. Los videos y animaciones se encuentran distribuidos en todo el contenido, y para visualizarlos, simplemente basta con pasar el cursor del mouse por encima de los botones de visualización (Figura 24); para dejar de verlos, se retira el cursor del botón y automáticamente la ventana de visualización del video o animación. Algunos gráficos, esquemas y ecuaciones, que a simple vista son poco visibles, aumentan su tamaño con solo pasar el cursor por encima de los mismos.

Figura 24. Visualización de videos y animaciones.

M

1.1. SISTEMA DE ROTACION

1.1.1. MESA ROTARIA Y KELLY

CUADRANTE O JUNTA KELLY

La Kelly es una sección tubular... Su propósito principal es el paso del fluido de perforación... del Kelly Sub ó Saber sub, su propósito es más económico de



hexagonal y su longitud varia de 40 a 50... rta de perforación, además permite el... r de la tubería de perforación por medio... onectar y desconectar de la tubería ya

Ver video

FIGURA 1. JUNTA KELLY Y KELLY BUSHING (TOMADO DE WWW.NEWARENERGY.COM)

La Kelly se encuentra conectada a la mesa rotaria mediante la Kelly Bushing, lo que le permite girar y transmitir su movimiento a toda la sarta. El movimiento vertical de la Kelly es posible gracias a los rodamientos que tiene en todas sus caras tanto en sección cuadrada como hexagonal y que contactan exactamente

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22

4.3. ACCESO A LA INFORMACIÓN

Para acceder a la información textual, gráfica y animada de la herramienta multimedia *DrillLearning*, es necesario tener claro, cuál es el tema que se desea consultar. Para ello el usuario puede consultar el contenido del software diseñado en el Capítulo 3 de este libro. Una vez seleccionado el tema puede proceder a ejecutar la aplicación y buscar el tema de consulta en la sección Perforación de Pozos. Para efectos prácticos se mostrará el procedimiento a seguir para acceder a la información concerniente al Sistema de Prevención de Reventones de un Rig de perforación.

- Se accede a la herramienta multimedia *DrillLearning*, ejecutando la aplicación *DrillLearning.exe* previamente guardada en el equipo.

- Una vez se ha accedido a la herramienta, seleccionar en el menú principal la opción – Perforación de Pozos.
- En la ventana de visualización que aparece a continuación, hacer click en el botón – Rig de Perforación-.
- Aquí se muestra una nueva ventana, en la cual se aprecia el mapa interactivo del Rig de perforación, y en el margen izquierdo se despliegan los sistemas que componen el mismo. Seleccione la opción Sistema de Prevención de Reventones.
- Finalmente el usuario tiene acceso a toda la información del sistema de prevención de reventones, en la cual se describe su función y se describen detalladamente cada uno de sus componentes.

4.4. MAPA INTERACTIVO DEL RIG DE PERFORACIÓN

Este mapa interactivo se encuentra en la sección Rig de perforación y una vez se hace click en uno de los botones referentes a los sistemas aparece una ventana de visualización como se puede observar a continuación.

Figura 25. Visualización del Mapa Interactivo del Rig de Perforación.

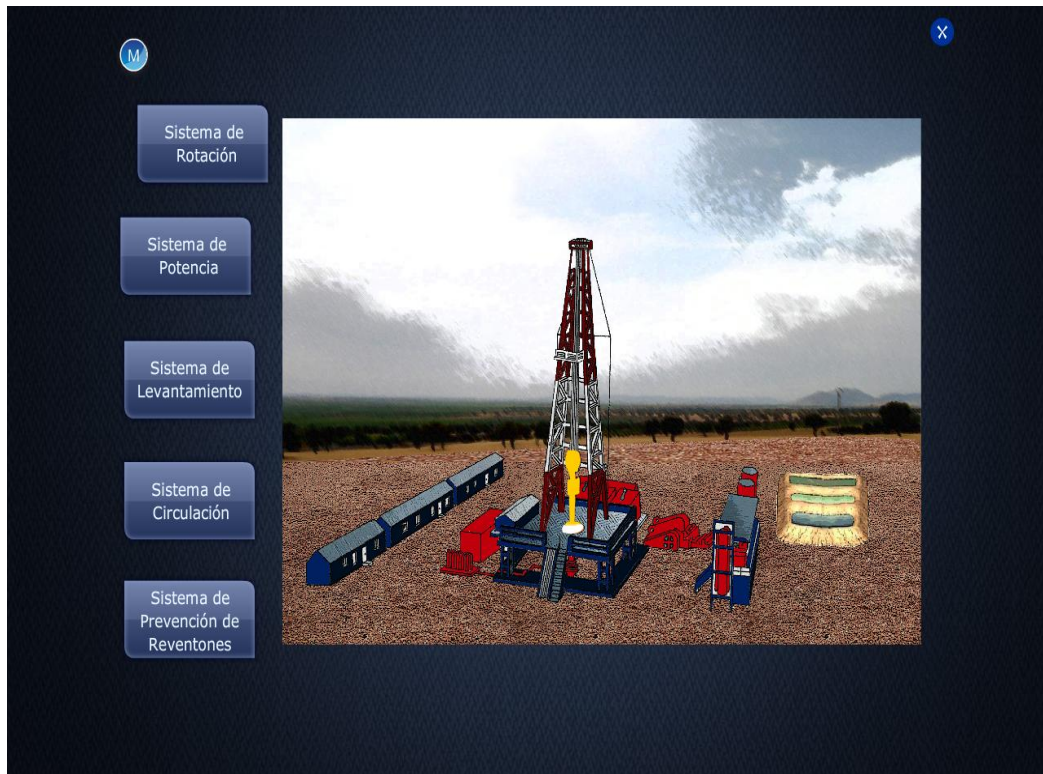


La Figura 25 muestra un rig de perforación en tierra, sobre esta imagen se puede apreciar en forma general, algunos de los componentes básicos del equipo. Sobre el margen izquierdo aparece el menú de los cinco sistemas principales del Rig de perforación:

1. Sistema de Rotación.
2. Sistema de Potencia.
3. Sistema de Levantamiento.
4. Sistema de Circulación.
5. Sistema de Prevención de Reventones (BOP).

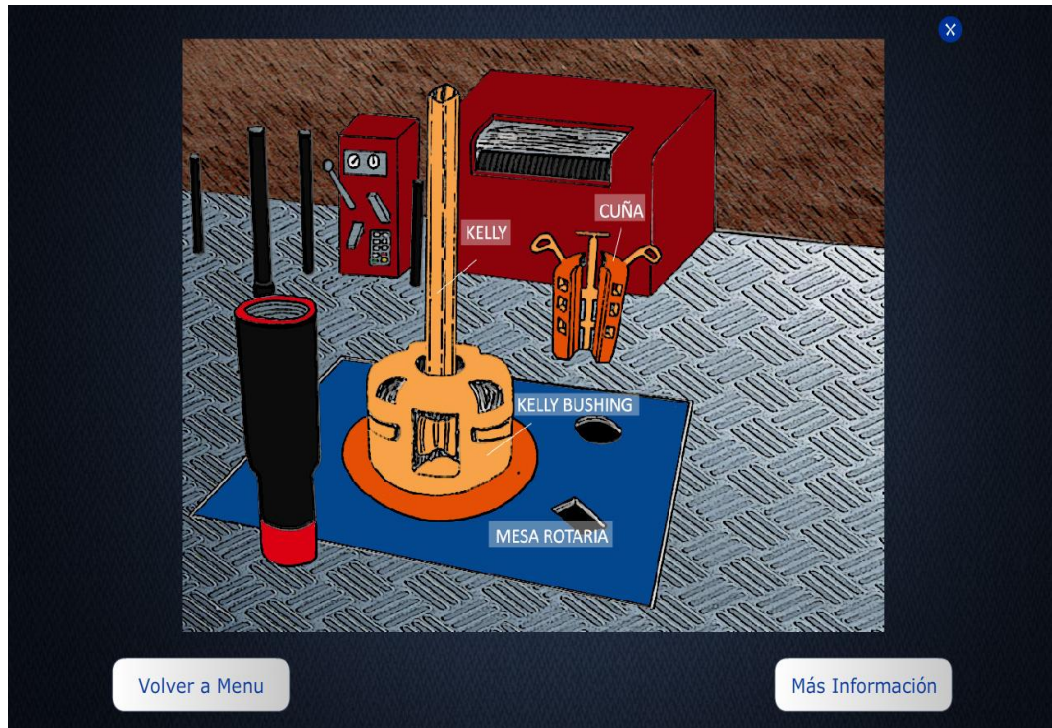
Al pasar el cursor del mouse sobre cada uno de los botones de los sistemas, se iluminará un segmento de la imagen haciendo referencia al sistema correspondiente, como se aprecia en la Figura 26, para el sistema de rotación.

Figura 26. Iluminación del Sistema de Rotación.



Al hacer click en cada uno de los botones se desplegara una nueva imagen en la ventana de visualización alusiva al sistema correspondiente, como se aprecia en la figura 27, como ejemplo se visualiza el sistema de rotación.

Figura 27. Ventana de visualización del Sistema de Rotación.



En esta ventana de visualización se aprecian en la parte inferior, dos botones que corresponden a:

- ✓ Volver a Menú: Permite al usuario regresar al menú de Rig de perforación para ver otro sistema.
- ✓ Más información: Permite al usuario ver toda la información textual, y animada correspondiente al sistema en el que se encuentra, incluyendo todos los mecanismos y herramientas que lo componen (Figura 23).

4.5. SISTEMA DE EVALUACIÓN

El modulo para acceder al sistema de evaluación puede encontrarse en la ventana de inicio (Numeral 5.2.1.). En este pueden encontrarse una serie de preguntas divididas según el tema a evaluar, de esta forma, se visualizará una ventana con seis Ítems (Ver Figura 28), los mismos que se pueden apreciar en la ventana de visualización de la sección Perforación de pozos.

Figura 28. Ventana de visualización del módulo de evaluación.



Aquí el usuario tiene la libertad de elegir el tema que desea evaluar mediante una serie de preguntas del tipo selección múltiple con única respuesta. Al seleccionar la respuesta, existe la opción correcta y la incorrecta; en el segundo caso, el sistema generará un aviso de Error y se mostrará la sección del material en la cual el usuario puede revisar, y llegar a la respuesta correcta, con el fin de reforzar el proceso de aprendizaje.

4.6. MÓDULO DE AYUDA

El módulo de ayuda está dispuesto para que el usuario tenga acceso a información complementaria de la herramienta multimedia DrillLearning. Aquí se tendrá acceso a tres ítems como se aprecia en la Figura 29.

Figura 29. Visualización del módulo de Ayuda.



- ✓ Un documento en versión PDF sobre Tecnologías de Información y Comunicación (TICS) en caso que el usuario desee información adicional del tema.
- ✓ El manual del usuario de la herramienta multimedia DrillLearning (Versión PDF).
- ✓ Referencias Bibliográficas utilizadas para el desarrollo de la herramienta.

4.7. BOTONES COMPLEMENTARIOS

La Herramienta Multimedia DrillLearning, posee una serie de botones que le permiten al usuario acceder a diversas funciones dentro del programa, como, acceder al menú principal, ir a la página anterior, entre otras, que hacen más cómoda la navegación y el proceso de consulta.

- Inicio

Figura 30. Botón Inicio.



El Botón Inicio está ubicado en la parte inferior derecha de la ventana de visualización, y permite al usuario ir al inicio de la herramienta en el momento en el que desee hacerlo, al oprimir el botón, inmediatamente se dirigirá al intro de la herramienta.

- Acceder al Menú Principal

Figura 31. Botón Acceso a Menú.



Este botón le permite al usuario acceder al menú principal desde cualquier parte donde se encuentre dentro de la herramienta, sin embargo, si esta en consulta en

la sección *Rig de Perforación*, éste primero lo enviará al menú de dicha sección y, si lo utiliza nuevamente irá al menú principal de forma inmediata.

- Página Anterior

Figura 32. Botón Página Anterior.



Este botón le permite al usuario retroceder la página mientras se encuentre consultando información textual y gráfica dentro de la herramienta multimedia DrillLearning.

- Siguiete Página

Figura 33. Botón Página Siguiete.



Este botón le permite al usuario avanzar la página mientras se encuentre consultando información textual y gráfica dentro de la herramienta multimedia DrillLearning.

- Botón de Salida

Figura 34. Botón de Salida.



Permite al usuario salir de la herramienta multimedia DrillLearning de forma inmediata, sin generar problema alguno por el hecho de salir abruptamente, es decir, el usuario puede salir en el momento en el que desee hacerlo.

5 CONCLUSIONES

- La herramienta multimedia desarrollada cumple con los requisitos mínimos de contenido en la asignatura de perforación de pozos en ingeniería de petróleos.
- La interfaz de la herramienta permite que el contenido pueda ser estructurado de tal forma que el usuario pueda estudiar cada una de las temáticas por separado, razón por la cual se refuerza la asimilación de conceptos individuales, para que posteriormente sean aplicados en temáticas diferentes.
- La interfaz interactiva de la herramienta multimedia proporciona un refuerzo conceptual a medida que el usuario explora los contenidos, pues le permite asociar una serie de conceptos a un ítem específico facilitando su proceso de aprendizaje.
- Esta herramienta proporciona al estudiante una fuente de información disponible en cualquier momento y lugar favoreciendo la eficiencia en el manejo de su tiempo y su proceso de autoaprendizaje.
- El contenido audiovisual de la herramienta favorece la asimilación del conocimiento teórico obtenido ya sea en el aula de clases, o en la herramienta misma, facilitando la comprensión de procedimientos, conceptos, y en general incrementando la posibilidad de un aprendizaje de mayor calidad en el estudiante.
- El desarrollo de este tipo de tecnologías de la información y la comunicación en la universidad proporciona caminos a seguir para el cumplimiento del plan institucional de tecnologías de información y comunicación, adicionalmente incentiva la creación de más herramientas en temáticas diferentes de todos los programas académicos existentes.

- La creación de nuevas herramientas, y el mejoramiento de las ya existentes favorece el trabajo interdisciplinario en la universidad además proporciona a sus creadores conocimientos diferentes a los que se imparten durante el curso de su programa académico.

6 RECOMENDACIONES

- El mayor nivel de acceso a la herramienta a menor costo podrá ser obtenido al implementarla en el espacio web de la Universidad, para este fin es necesario que todos los Assets utilizados por la herramienta sean retirados de la misma y se les haga un llamado externo en la página web.
- La finalidad de la herramienta multimedia DrillLearning es proporcionar al estudiante de Ingeniería de petróleos una fuente de información de calidad disponible en cualquier momento para favorecer su proceso de aprendizaje, se recomienda que su uso no sea para una adquisición del conocimiento completamente autodidacta, pues es necesaria la guía de un docente que facilite como voz de la experiencia una correcta transmisión de la información y la solución de las inquietudes del estudiante.
- Para mejorar la calidad del contenido audiovisual de la herramienta es necesario establecer mecanismos de adquisición propia del material en un equipo perforador de pozos. Al recurrir al material audiovisual proporcionado por las empresas del sector no se puede ofrecer el punto de vista que se requiere ya sea por limitaciones en las variaciones del equipo utilizado por una u otra empresa, o por la finalidad con la que ese material se ha generado.
- Es necesario identificar los posibles problemas y desventajas que puedan surgir de la implementación de este tipo de tecnologías para los estudiantes que cursan la asignatura perforación de pozos con el fin de asegurar la integridad del proceso de enseñanza-aprendizaje que se imparte en la universidad.
- El sistema de evaluación de la herramienta multimedia se ha desarrollado con propósitos de refuerzo del conocimiento que se intenta transmitir al usuario, no debe ser tomado como una fuente de evaluación con fines de aprobación de la asignatura impartida en la universidad.

- Actualizar continuamente la información tanto conceptual como audiovisual de la herramienta, particularmente en lo que atañe a nuevas tecnologías de perforación de pozos en Ingeniería de Petróleos.
- Es necesario el desarrollo de herramientas similares como soporte académico para otras asignaturas del programa académico de Ingeniería de Petróleos
- Se aconseja el uso de un lenguaje de programación en web (HTML, Java) para la realización de otras herramientas multimedia, la interactividad alcanzada mediante el uso de Adobe Flash ® es notorio, a pesar de lo anterior se han encontrado incompatibilidades para la incorporación satisfactoria de algunos elementos como imágenes de gran tamaño y ecuaciones principalmente.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADELAIDE BIANCHINI, Metodología para el desarrollo de aplicaciones educativas en ambientes multimedios, Universidad Metropolitana de Caracas, 10/1992. [Publicación en línea] [<http://www ldc.usb.ve/~abianc/mmm.html>] [Revisado en: Octubre 2010]
- BAKER HUGHES INTEQ. Drilling Engineering Workbook. A Distributed Learning Course. Diciembre 1995.
- CUEVA CARRIÓN, SAMANTA PATRICIA. PACHECO MONTOYA, EMMA PATRICIA. RODRIGUEZ MORALES, GERMANIA DEL ROCÍO. SANTOS DELGADO, ANA ALEXANDRA. Tecnologías de información y comunicación (TIC's) en la educación superior. Universidad Técnica Particular de Loja. Enero 2009
- ERTMER, PEGGY A. NEWBY, TIMOTHY J. Behaviorism, Cognitivism, Constructivism: Comparing Critical Features from an Instructional Design Perspective [Documento en Línea] [Traducido por: Nora Ferstadt y Mario Szczurek Editado por: Pablo Ríos. Universidad Pedagógica Experimental Libertador Instituto Pedagógico de Caracas] [http://ares.unimet.edu.ve/programacion/psfase3/modII/biblio/CONDUCTISMO_%20COGNITIVISMO_%20CONSTRUCTIVISMO.pdf] [Revisado en: Octubre 2010]
- GARCIA, ALEJO. El Taladro y sus Componentes. Publicación en Línea] Disponible en <<http://www.scribd.com/doc/23998740/El-Taladro-y-sus-Componentes>> [revisado en Agosto – 2010].
- GARRIDO CASTRO, JUAN LUIS. Teorías de aprendizaje. Actividades de Evaluación. [Documento en Línea] [Disponible en: <http://www.uco.es/grupos/ecoagra/juanluis/aprend.htm>] [Revisado en: Octubre 2010]

- HAWKER, DAVID. VOGT, KAREN. ROBINSON, ALLAN. Procedimientos y operaciones en el pozo. Datalog, Versión 3.0 Marzo 2001.
- HUIDOBRO, Jose Manuel. Tecnologías de información y comunicación. [Publicación en línea] [<http://www.monografias.com/trabajos37/tecnologias-comunicacion/tecnologias-comunicacion.shtml#cuales>] [Revisado en: Octubre 25 de 2009]
- HUMES, L. R. (2010). The State of Technology in Higher Education: A Conversation with The Campus Computing Project's Kenneth Green. IMS Global Learning Consortium Series on Learning Impact. March 2010. From <http://www.imsglobal.org/articles/1mar2010Green.cfm>
- LAPEYROUSE, NORTON J. Formulas and Calculations for Drilling, Production, and Workover. 2002
- LEINONEN, Teemu. "(Critical) history of ICT in education – and where we are heading?" [Publicación en línea]. [<http://flosse.bloggning.fi/2005/06/23/critical-history-of-ict-in-education-and-where-we-are-heading/>] [Revisado en: Octubre 20 de 2009]
- MCGRUFF, STEVEN J. Instructional Systems, College of Education, Penn State University 09/2000 [Publicación en línea]. [disenoinstrucional.files.wordpress.com/2007/09/addiemodel.doc] [Revisado en: Octubre 2010]
- OJEDA BRAVO, YOHANA ISABEL. Desarrollo de un sistema de información sobre la evolución de la cartografía como apoyo al aprendizaje de la geociencia. Universidad Industrial de Santander. Facultad de ingenierías fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Civil. Bucaramanga. 2005
- PINEDA RUGELES, HERNAN – CASTRO VILLADIEGO, JUAN CARLOS. Herramienta multimedia para el estudio y diseño de facilidades de superficie

en la industria de los hidrocarburos. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 2010

- WILEY, David A. Connecting learning objects to instructional design theory: A definition, a metaphor, and a taxonomy. Utah State University. 2001.
- RAMOS JIMENEZ, Hernán. OPERACIÓN NIVEL III – Curso de Capacitación y Desarrollo de Habilidades en Actividades de Perforación y Mantenimiento de Pozos. PEMEX.
- Apuntes Básicos de Perforación – [En línea] <Disponible en <http://www.scribd.com/doc/35413559/Apuntes-Basicos-de-Perforacion>> [Revisado en: Octubre 2010]
- BAROID DRILLING FLUIDS INC. Manual de fluidos. 1998
- COMISIÓN DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS, Comunicación de la comisión al consejo y al parlamento europeo. Tecnologías de la información y de la comunicación en el ámbito del desarrollo. El papel de las TIC en la política comunitaria de desarrollo. Bruselas, 14.12.2001
- DATALOG - Procedimientos y operaciones en el pozo. Versión 3.0 Marzo 2001.
- OPERACIÓN NIVEL III Curso de Capacitación y Desarrollo de Habilidades en Actividades de Perforación y Mantenimiento de Pozos – PEMEX [En Línea] <Disponible en <http://descarga-gratis-libros.com/perforacion-y-mantenimiento-de-pozos-petroleros>>
- PEMEX. Diseño de la Perforación de Pozos.. [En línea] <Disponible en <http://www.scribd.com/doc/20113691/Diseño-de-la-Perforación-de-Pozos>>
- UNESCO. What exactly is ICT?. [Publicación en Línea]. Palabras Clave, [What exactly is ICT] Disponible en: <<http://www.unesco.org/knowledgebase/questions/23/What+exactly+is+ICT%3F>> [revisado en Octubre 20 de 2009]

- UNESCO. Technologies for Education, Potentials, Parameters, and Prospects. Disponible en:
<http://www.unescobkk.org/fileadmin/user_upload/ict/e-books/TechEdBook.pdf> [revisado en: Junio 30 de 2010]