

Proyecto Educativo, Informativo y Didáctico, Sobre la Etapa de Perforación en el Área de
Deepwater, Aplicable a la Industria Colombiana

Edwin Alexander Garzón Cáceres

Johan Armando Sarmiento Sánchez

Trabajo de Grado para Optar el Título de Ingeniero de Petróleos

Director

Wilson Raúl Carreño Velasco

Msc. en Diseño, Gestión y Dirección de Proyectos

Codirector

Edwin Felipe Ríos Fuentes

Msc. Petroleum Engineering enfocada en Well Engineering

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Fisicoquímicas

Escuela de Ingeniería de Petróleos

Bucaramanga

2018

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis padres, por haberme dado la vida y la formación que me ha permitido llegar hasta este suceso importante dentro de mi carrera profesional, por ser pilares fundamentales en mi crecimiento como ser, por demostrarme su cariño, su apoyo incondicional, por enseñarme principios éticos y valores. Y a pesar de su distancia, siempre los sentí a mi lado, guiándome con su experiencia y conocimiento. A mis hermanos por ser partícipes en mi formación y por qué me han permitido ser guía en la de ellos. A mi universidad por mostrarme la realidad del mundo, por permitirme experimentar oportunidades en mi vida incomparables, por otorgarme un pensamiento crítico y la búsqueda de ser un profesional integro y sobre todas las cosas por permitirme hacer parte de ella y hoy con orgullo decir que soy un egresado UIS. A mis docentes que a partir de sus diversas formas de enseñar me incentivaron a la investigación, me guiaron en el camino correcto y me ayudaron a desempeñar cabalmente todas mis metas. A mis compañeros, personas multidiversas que me mostraron otra realidad del mundo.

Finalmente dedico y agradezco a mis camaradas por enseñarme la necesidad de multiplicar el grito de los humildes, por demostrarme que el canto no es un accesorio sino un brazo en las luchas de los pueblos, porque juntos determinamos que la conciencia es lo que nos salva, vimos que a través de la educación consiente, cooperativa y participativa podíamos superar cualquier obstáculo y aprendimos a contemplar la belleza oculta, aquella que nos plantó en el rostro una sonrisa; dando como resultado un nuevo motor para nuestra existencia palabra que juntos entonamos como bandera.

Edwin Alexander Garzón Cáceres

AGRADECIMIENTO Y DEDICATORIA

Primeramente, agradezco a Dios por darme vida y salud para poder efectuar satisfactoriamente este proyecto y cada uno de mis logros y metas desarrolladas, seguidamente al ingeniero Wilson Raúl Carreño Velasco por el apoyo y la guía en esta tesis, por su ayuda y el compromiso incondicional aportado, y al ingeniero Edwin Felipe Ríos Fuentes por aportar conocimiento y material que nos sirvió para completar este trabajo de grado.

Seguidamente, dedico este proyecto de tesis a mis padres quienes han estado conmigo en cada paso que doy, apoyándome, cuidándome y aportándome fortaleza en cada decisión tomada de mi vida, velando por mi crecimiento personal y dando un voto de fe y confianza en cada objetivo logrado sin dudar de mí inteligencia. Hoy soy quien soy, gracias a ellos.

Johan Armando Sarmiento Sánchez

Tabla de Contenido

| | Pág. |
|---|-------------|
| Introducción | 16 |
| 1. Descripción y planteamiento del problema..... | 18 |
| 2. Objetivos | 19 |
| 2.1 Objetivo general..... | 19 |
| 2.3 Objetivos específicos | 19 |
| 3. Principios de la explotación en aguas profundas | 20 |
| 3.1 Definición de aguas profundas..... | 20 |
| 3.3 Localización de reservas en aguas profundas en el mundo | 21 |
| 3.4 Cuencas petroleras off shore en Colombia | 23 |
| 3.4.1 Cuenca choco off-shore. | 23 |
| 3.4.2 Cuenca Guajira off-shore..... | 24 |
| 3.4.3 Cuenca Sinú-Urabá off-shore. | 25 |
| 3.4.4 Cuenca Tumaco off-shore..... | 25 |
| 3.4.5 Cuenca Colombia..... | 26 |
| 3.4.6 Cuenca pacífico profundo colombiano. | 26 |
| 3.5 Exploración de hidrocarburos en aguas profundas | 26 |
| 3.5.1 Exploración | 26 |
| 3.5.1.3 Estudios sísmicos..... | 27 |
| 3.5.2 Medio Ambiente | 28 |
| 3.6 Marco legal | 29 |
| 4. Perforación en aguas profundas | 30 |
| 4.1 Plataformas de perforación offshore..... | 31 |
| 4.1.1 Unidades soportadas en el fondo | 32 |

| | |
|---|----|
| 4.1.2 Unidades Flotantes..... | 36 |
| 4.1.3 Componentes para perforar..... | 40 |
| 4.1.4 Equipos de perforación marina..... | 46 |
| 4.2 Operaciones de instalación de tubería conductora..... | 47 |
| 4.2.1 Jetting..... | 48 |
| 4.2.2 Apoyo de martillo hidráulico..... | 49 |
| 4.2.3 Vía torpedo..... | 49 |
| 4.3 Instalación de equipo en el lecho marino..... | 50 |
| 4.3.1 Cabezal de pozo..... | 50 |
| 4.3.2 Preventor..... | 50 |
| 4.4 Métodos de perforación en aguas profundas..... | 50 |
| 4.4.1 Perforación con riser de perforación..... | 51 |
| 4.4.2 Perforación con BOP superficial..... | 53 |
| 4.4.3 Perforación sin Riser..... | 54 |
| 4.6 Aspectos ambientales de la construcción offshore..... | 55 |
| 4.6.1 Profundidades y distancias..... | 55 |
| 4.6.2 Presión Hidrostática y flotabilidad..... | 56 |
| 5. Proyectos Offshore Internacionales Aplicables en Colombia..... | 56 |
| 5.1. Proyectos en Colombia..... | 57 |
| 5.2. Proyectos extranjeros..... | 58 |
| 6. Aplicativo móvil..... | 60 |
| 6.1 Desarrollo del aplicativo móvil..... | 60 |
| 6.1.1 Cinema 4D..... | 60 |
| 6.1.2 Rhinoceros V8..... | 64 |
| 6.1.3 Lumion..... | 65 |

| | |
|--|----|
| 6.1.4 WIX..... | 67 |
| 6.2 Características y usos del aplicativo móvil..... | 67 |
| 6.3 Manejo del aplicativo..... | 68 |
| 6.4 Proyecto pionero para enseñanza de perforación offshore en universidades | 73 |
| 7. Resultados..... | 73 |
| 8. Recomendaciones | 75 |
| 9. Conclusiones..... | 76 |
| Bibliografía | 77 |

Lista de Tablas

| | Pág. |
|--|-------------|
| Tabla 1. Parámetros de aguas profundas en diferentes países. | 20 |
| Tabla 2. Ventajas y desventajas del uso de riser | 54 |

Lista de Figuras

| | Pág. |
|---|-------------|
| Figura 1. Regiones offshore en el mundo. | 21 |
| Figura 2. Unidades flotantes de perforación. | 31 |
| Figura 3. Plataforma sumergible. | 32 |
| Figura 4. Plataforma en el ártico. | 33 |
| Figura 5. Jack up. | 35 |
| Figura 6. Traslado de una plataforma semisumergible. | 36 |
| Figura 7. Plataforma semisumergible. | 37 |
| Figura 8. Drill Ship. | 38 |
| Figura 9. TLP. | 39 |
| Figura 10. SPAR. | 40 |
| Figura 11. Modelado del top drive. | 61 |
| Figura 12. Texturizado y detallado de ambiente en desarrollo de imágenes. | 62 |
| Figura 13. Conjunto de imágenes que describen lo manejable de cada objeto. | 62 |
| Figura 14. Malacate hecho y usado en la aplicación móvil | 63 |
| Figura 15. Malacate real usado en la industria petrolera. | 63 |
| Figura 16. Construcción de la broca de perforación en Rhinos. | 64 |
| Figura 17. Broca de perforación con múltiple detallado. | 64 |
| Figura 18. Plataforma flotante semi-sumergible con contraste de colores. | 65 |
| Figura 19. Detallado de ambiente marino en la perforación offshore con uso de Lumion. | 66 |
| Figura 20. Sombreado obtenido con detalles en el lecho marino. | 66 |
| Figura 21. Creación de la aplicación móvil con el uso de la plataforma WiX. | 67 |
| Figura 22. Identificación del Menú de la aplicación. | 69 |
| Figura 23. Pestañas del menú | 69 |

| | |
|---|----|
| Figura 24. Ventana abierta después de presionar el título del menú. | 70 |
| Figura 25. Subdivisión en la pestaña plataformas. | 71 |
| Figura 26. Acceso al modelo 3D | 72 |
| Figura 27. Interacción con el modelo | 72 |

Glosario

| | |
|-------|--|
| AP | Aguas Profundas |
| Mts | Metros |
| Km | Kilómetro |
| ANH | Agencia Nacional de Hidrocarburos |
| API | American Petroleum Institute |
| Bbl | Barril |
| ONGC | Oil and Natural Gas Corporation Limited |
| COT | Carbono Orgánico Total |
| BP | British Petroleum |
| AHT | Anchor Handling Tug |
| AHTS | Anchor Handling Tug Supply |
| PSV | Platform Supply Vessel |
| TLP | Tension Leg Platform |
| BOP | Blow Out Preventer |
| AHV | Anchor Handling Vessel |
| ROV | Remote Operated Vehicle |
| LMRP | Lower Marine Riser Package |
| MODU | Mobile Offshore Drilling Unit |
| 2D | Dos Dimensiones |
| 3D | Tres Dimensiones |
| PC | Personal Computer |
| GPCG | Giga Pies Cúbicos de Gas |
| MMBPE | Millones de Barriles de Petróleo Equivalente |

Resumen

TITULO: Proyecto Educativo, Informativo y Didáctico, Sobre la Etapa de Perforación en el Área de Deepwater, Aplicable a la Industria Colombiana*

AUTORES: Edwin Alexander Garzón Cáceres**
Johan Armando Sarmiento Sánchez**

PALABRAS CLAVE: Costa afuera, Aplicación móvil (app), aguas profundas, plataformas de perforación.

DESCRIPCIÓN:

La implementación de las tecnologías como parte del plan educativo de la industria de perforación costa afuera permite formar profesionales íntegros con conocimientos de esta rama que le permitan generar avances dentro de la industria colombiana, a su vez facilita la recepción y análisis de estos datos.

Este proyecto comprende un desarrollo progresivo de diferentes etapas que inicia con una recopilación de datos de la industria offshore en Colombia y el mundo, dando a conocer los distintos equipos y herramientas empleados. Así como su modo de empleo, su funcionamiento y los parámetros de selección. Y terminando con el estudio de proyectos recientes de explotación offshore y el desarrollo de un aplicativo móvil.

Se realizó un análisis de proyectos offshore implementados en otros países, evaluando el tipo de plataforma, equipos, condiciones climáticas, profundidades de perforación, variables litologías y económicas. Presentando que a partir del gran potencial del país en pozos offshore la gran viabilidad para incursionar en estos proyectos.

Por último, se emplea la tecnología móvil a partir de una aplicación para presentar esta recopilación de datos, de forma interactiva y sencilla, que cuenta con representaciones gráficas de modelos en tres dimensiones. Con el propósito de llegar a estudiantes y profesionales y que estos adquieran un conocimiento para que desde el inicio de su carrera contemplen la posibilidad de incursionar en investigación y desarrollo de nuestra industria.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de ingeniería de petróleos. Director: Wilson Raúl Carreño Velasco, Msc. en Diseño, Gestión y Dirección de Proyectos.

Abstract

TITLE: Educational, informative and didactic project, about the Drilling stage in the Deepwater Area, applicable to Colombian industry.*

AUTHORS: Edwin Alexander Garzón Cáceres**
Johan Armando Sarmiento Sánchez**

KEYWORDS: Offshore, mobile application (app), Deepwater, drilling platforms

DESCRIPTION:

The implementation of technologies as part of the educational plan of the offshore drilling industry allows training integral professionals with knowledge of this branch of industry that allows them to generate advances within the Colombian industry, in turn facilitates the reception and analysis of these data.

This project includes a progressive development of different stages that starts with a collection of data from the offshore industry in Colombia and the world, revealing the different equipment and tools used. As well as its way of use, its operation and the parameters of selection. And ending with the study of recent projects of offshore exploitation and the development of a mobile application.

An analysis of offshore projects implemented in other countries was carried out, evaluating the type of platform, equipment, climatic conditions, drilling depths, lithology and economic variables. Presenting that from the great potential of the country in offshore wells the great viability to venture into these projects.

Finally, mobile technology is used from an application to present this data collection, in an interactive and simple way, which has graphic representations of models in three dimensions. With the purpose of reaching students and professionals and that they acquire a knowledge so that from the beginning of their career contemplate the possibility of venturing into research and development of our industry.

* Bachelor Thesis

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de ingeniería de petróleo. Director: Wilson Raúl Carreño Velasco, Msc. en Diseño, Gestión y Dirección de Proyectos.

Introducción

La demanda energética ha ido en aumento con el crecimiento de la densidad poblacional, el petróleo actualmente es la principal fuente de energía a nivel mundial y es uno de los recursos no renovables más importantes. La industria del petróleo tuvo sus inicios en tierra, pero la capacidad de producción ha ido menguando y esta fuente de energía es la que actualmente mantiene la actividad en nuestra civilización por eso se presentó como alternativa la búsqueda del hidrocarburo en el mar, creando así una nueva rama dentro de la industria que a pesar de las similitudes operacionales y de los equipos usados en la industria onshore existen ciertas diferencias que generan retos. Diversos estudios en geología y geofísica, así como los avances tecnológicos han permitido encontrar y explotar estos yacimientos de petróleo.

Esta industria se ha ido expandiendo a nivel mundial y Colombia siendo un país productor inicio a incursionar también en esta rama, sin embargo los conocimientos dentro de esta materia en el país son muy limitados ya que no existen operadoras colombianas enfocadas directamente con estas actividades y a su vez las instituciones de educación superior aún no incluyen programas orientadas en la investigación y aprendizaje de esta rama, generando una falta de conocimiento en el profesional e impidiendo su evolución ingenieril.

Debido a esto es necesario empezar a incursionar en la industria offshore y llevar conocimiento a los nuevos profesionales desde los fundamentos básicos hasta los temas más complejos. Para esto se ha planteado una ayuda educativa fortaleciendo otras estrategias pedagógicas para iniciar a solventar esta falta de conocimiento y ayudar al progreso de la industria local.

Una de las posibilidades de universalizar el conocimiento es a través del uso de las nuevas tecnologías, como lo son las aplicaciones móviles para dispositivos electrónicos. Ya que la información relacionada a la industria petrolera offshore es todavía compleja de entender

y sus avances se han dado en otros países, fue necesario recopilar información relacionada a la industria con diversos autores, analizando desde su evolución histórica y conceptos técnicos el desarrollo de nuevas tecnologías que permitieron este avance ingenieril. Para así compilarlos y darle más claridad a los tópicos presentes.

Haciendo uso de un aplicativo móvil que reúne la información de la industria se desea llegar a los nuevos y antiguos profesionales, para que completen sus conocimientos en las técnicas, instrumentación y equipos relacionados a la perforación offshore de pozos petrolíferos. Para que después de incursionar en esta rama generen alternativas de explotación en las aguas colombianas, y aumentar nuestros volúmenes de reservas para seguir manteniéndonos como un país productor y que sea capaz de solventar sus necesidades energéticas.

1. Descripción y planteamiento del problema

Se hace necesario hacer énfasis y fortalecer estrategias pedagógicas en el proceso de enseñanza y aprendizaje para garantizar que el estudiante o profesional posea conocimiento acerca del área de Perforación Off-shore, por ende, es importante implementar diversas herramientas pedagógicas que permitan al interesado enriquecer su conocimiento en el tema.

Hablando del aprendizaje obtenido por el estudiante en el aula de clase, es importante fundamentar y complementar el conocimiento adquirido ya que en muchos casos no hace parte del contenido de las materias, el cual hoy en día es una rama importante dentro de la industria que continua en desarrollo, por lo que es inaceptable que el estudiante como futuro ingeniero de petróleos no posea un conocimiento claro acerca de esta importante rama.

Por ello, es de vital importancia crear un aplicativo móvil a modo de proyecto educativo donde se explique y se dé a entender de forma básica y fácil de comprender los procesos realizados en los proyectos Off-shore en aguas profundas, esto con el fin de que el interesado adquiera conocimientos y competencias que debe poseer un ingeniero de petróleos.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Diseñar un aplicativo móvil de carácter educativo, informativo y didáctico, enfocado en la etapa de perforación del área Deepwater, aplicable a la industria petrolera colombiana.

2.3 Objetivos específicos

- Identificar proyectos con alternativas de perforación Off-shore en Deepwater que puedan servir de base para ejecutarse en Colombia.
- Analizar los proyectos con alternativas de perforación Off-shore en Deepwater más adecuados para ejecutarse en Colombia.
- Caracterizar un aplicativo móvil, basado en el proceso de perforación Off-shore en aguas profundas, que sea de alcance educativo, informativo y didáctico para la comunidad académica petrolera.

3. Principios de la explotación en aguas profundas

3.1 Definición de aguas profundas

El termino aguas profundas (AP) dentro de la industria petrolera es utilizado en dos sentidos, el primero hace referencia a los procesos de flujo gravitacional de sedimentos marinos y su depósito. El segundo es la definición ingenieril, que hace referencia a la profundidad del cuerpo de agua a profundidades mayores de 500 metros, siendo esta la profundidad a la cual los equipos convencionales de perforación y desarrollo no pueden ser utilizados.

Los proyectos son catalogados como aguas profundas o ultra profundas dependiendo el sistema de regulación que se ha establecido en el país, teniendo en cuenta detalles técnicos, económicos y ambientales. En Colombia, según la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) se considera Aguas profundas, a aquellas que se encuentran entre 300 y 1000 metros de profundidad. Y a Aguas Ultra-Profundidad las que se encuentra a más de 1000 metros de profundidad.

Tabla 1. Parámetros de aguas profundas en diferentes países.

| País | Aguas someras (mts) | Aguas Profundas (mts) | Aguas ultra profundas (mts) |
|----------------|---------------------|-----------------------|-----------------------------|
| México | <500 | 500-1500 | ≥1500 |
| Brasil | <400 | 400-2000 | ≥2000 |
| Estados Unidos | <305 | 305-1524 | ≥1524 |
| Noruega | <300 | 300-1500 | ≥1500 |
| Colombia | <300 | 300-1000 | ≥1000 |

Nota: Adaptado de Fundamentos y operaciones de la industria petrolera en aguas profundas, 2013. Por Daniela Cárdenas y Víctor García

3.3 Localización de reservas en aguas profundas en el mundo

Existen en el mundo regiones de aguas profundas que son de gran importancia debido a su potencial de producción. La mayoría de los descubrimientos de yacimientos se dio a partir de los 90's, en distintos países alrededor del mundo.

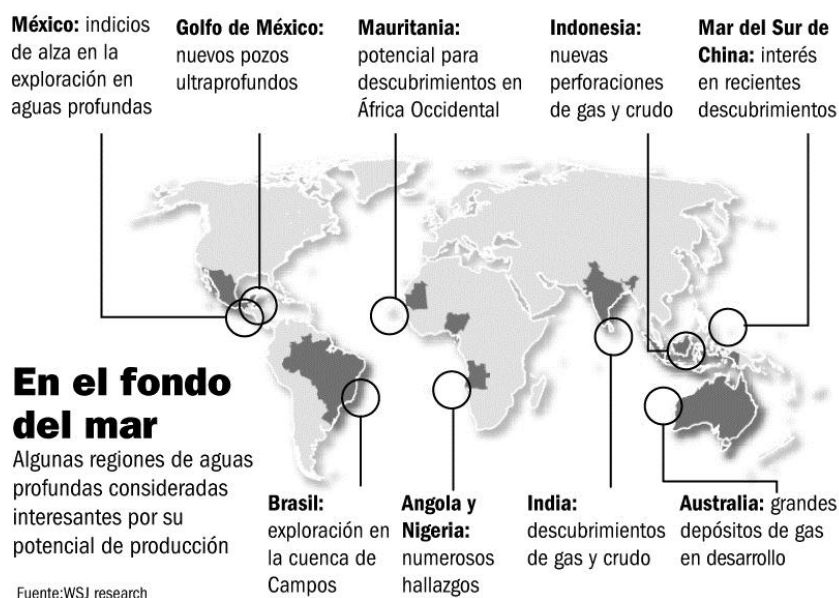


Figura 1. Regiones offshore en el mundo. Adaptado de aguas profundas del territorio mexicano, 2014. Por Karen Ricardez.

Nigeria

Las primeras licitaciones en aguas profundas se realizaron en 1990, pero fue en 1996 que se descubrió Abo, el primer campo off-shore, y otros campos, pero estos permanecieron inactivos hasta el año 2003 cuando los precios iniciaron el ascenso. Los yacimientos se hallan a profundidades entre 550 mts y 800 mts. En este país hay dos campos gigantes en aguas profundas, Bonga a cargo de Shell, con una producción diaria de 200 mil barriles diarios y Usan que inicio su producción en 2012.

Angola

El primer hallazgo fue en 1996 con el campo Girasol que inicio su producción en el 2001 con una producción por día de 200 mil barriles a una profundidad de 1360 metros, en 1998 se

descubrió el campo rosa con unas reservas probadas que hacen a los 370 millones de barriles.

India

Cuenta con 4 campos en aguas profundas, iniciando su producción de gas en el año 2009 con el campo Krishna por medio de la petrolera estatal Oil and Natural Gas Corporation Limited (ONGC)

Australia

Cuenta con campos descubiertos desde los 80's, pero no se llevó su producción debido a la inexistencia de un mercado de gas lo que impedía su desarrollo fue hasta el año 2006 con el campo Enfield y 2007 con el campo Stybarrow que inicio la producción en Australia por medio de la compañía BHP Billiton.

Filipinas

Importador neto, en el año 2001 inicio su producción en aguas profundas con el campo de gas Malampaya-38 con la compañía Shell.

Malasia

En 2002, la compañía Murphy Oil Corporation, realizó el primer descubrimiento con el campo Kikeh, a finales de 2007 se alcanzó una producción de 100 mil barriles diarios. En este espacio se instaló un equipo llamado SPAR, que comprende un proyecto de 20 pozos con 20 pozos inyectoros de agua.

Indonesia

A pesar de que sus primeros campos se descubrieron desde los años 90, fue hasta 2003 con el campo West Seno que se iniciaron operaciones, combinando un sistema de plataformas marinas con equipos de proceso en tierra, con una plataforma TLP, dos unidades flotantes y oleoductos que transportan el hidrocarburo a tierra; actualmente cuenta con 20 pozos y produce 40 mil barriles diarios.

Brasil

Debido a la escasez de petróleo en tierra se aventuró por la perforación en aguas profundas logrando su explotación en los años 90, su primer campo se llama Marlin a 835 metros de profundidad. Brasil cuenta ya con 38 campo en aguas profundas.

México

PEMEX había elaborado un programa sobre el Golfo de México para perforar 11 pozos exploratorios entre 2002 y 2007, y debido al alza de los precios se propuso perforar 47 pozos entre 2007 y 2012. Los primeros campos descubiertos fueron Lakach, Nab, Noxal, Lalani y Tomil, en esta área se han descubierto reservas de 2.4 billones de pies cúbicos.

3.4 Cuencas petroleras off shore en Colombia

Colombia esta estratégicamente ubicada en la esquina noroeste de sur América con un área de 1.14 millones de kilómetros cuadrados. Es el único país en Suramérica con dos costas el pacífico (1300km) y el atlántico (1600km), gracias al contacto con estos dos grandes cuerpos de agua se delimito seis cuencas petroleras off-shore.

3.4.1 Cuenca choco off-shore. Localizada a lo largo del ángulo arqueado del noroeste de Colombia, limitando al norte con la frontera de panamá. Esta cuenca se extiende desde el oeste de la línea costera actual hasta la trinchera de la zona de subducción actual, al sur el límite se aproxima al rastro del sistema de fallas de Garrapatas. Cuenta con un área 37773 Km² y porosidades hasta del 42%, siendo potencial el petróleo y gas en la zona.

La roca fuente es la formación Iró, La presencia de rocas generadoras en las subcuencas San Juan y Atrato está documentada con base en la caracterización geoquímica de la Formación Iró, en el sector del alto Istmina Condoto. Del modelamiento de generación de hidrocarburos basados en esta formación y crono estratigráficamente correlacionable con las formaciones

Salaquí y Clavo, se infiere que estas alcanzaron importantes procesos de generación y expulsión de hidrocarburos durante el Mioceno tardío-Plioceno.

3.4.2 Cuenca Guajira off-shore. El límite noreste de esta cuenca es el frente de deformación de la faja deformada del caribe sur originada por la intersección entre la placa sudamericana y la placa caribe; al este, el límite es hasta la frontera con Venezuela, al sudoeste, la cuenca sigue el trazo costero de la falla Oca y al sureste limita con la costa continental de la guajira. Posee un área de 52860 Km², se han perforado 48 pozos de los cuales en 3 se ha descubierto gas.

La cuenca cuenta con varios descubrimientos importantes de gas de los cuales destacan los campos Chuchupa (3500 GPCG), Ballena (1257GPCG) y Riohacha (92 GPCG); el potencial de hidrocarburos por descubrir es de 2800 MMBPE, con un 70% de gas y un 30% de petróleo.

Las formaciones de roca generadora son la Luna, Colon, Cogollo, Castilletes y Jimol. y el tipo de hidrocarburo es gas termogénico y petróleo; Se identifica con capacidad de generar hidrocarburos en shales, limolitas calcáreas y calizas de la formación la luna, como en el pozo PGG-1 y al este de la depresión de cocinetas en Venezuela, también hay potencial en el Paleógeno y Neógeno, con querógeno tipo III, es decir generadora de gas. Los reservorios principales corresponden a las calizas y areniscas de las formaciones Macareo y Siamana la generación y migración de hidrocarburos se incrementó por la configuración estructural, la cual se enfocó en patrones de migración de una fuente termogénica temprana en la parte profunda costa afuera hacia los reservorios Chuchupa, Ballena y Riohacha.

3.4.3 Cuenca Sinú-Urabá off-shore. Ubicada en el mar Caribe, está estructurada por una serie de pliegues relacionados con la falla de contracción del noroeste y diapiros de barro asociados, limita al noroeste con la falla Oca, al noreste, con la línea que separa el empuje frontal de sedimentos de la corteza caribeña también denominado frente de deformación del cinturón deformado del Caribe sur; al sudoeste el límite es al este de la costa de la cuenca de Urabá y al sudeste es la línea costera actual.

En el año 2007 Halliburton compilo los datos del pozo Urabá 1629-1X, los cuales indicaban bajos valores de contenido de materia orgánica (%COT) entre 0.6 y 2,11%, bajos contenidos de hidrógeno entre 17 y 166 mg HC/g COT indicativos de querógeno tipo III. De esta misma manera los datos de madurez térmica corresponden a temperatura máxima que varía entre 357 y 425°C, lo que indica que la secuencia aún es inmadura, aunque puede aún así haber presencia de gas.

3.4.4 Cuenca Tumaco off-shore. Se encuentra en la región marina suroeste de Colombia en el Océano Pacífico. La configuración tectónica de esta cuenca es el antebrazo del complejo de subducción del cretácico superior. Limita al norte con el sistema de fallas de Garrapatas, al sur con la frontera ecuatoriana, al este con la línea frontera actual y al oeste con la pared interior de la trinchera de la zona de subducción actual. La cuenca tiene un cinturón de diapiros de barro que se extienden paralelamente a la costa.

La ANH clasifica las Cuencas en tres grupos: 1) Cuencas inexploradas o tectónicamente complejas; 2) Cuencas sub-exploradas y 3) Cuencas exploradas. La Cuenca Tumaco, es una Cuenca inexplorada casi en su totalidad, razón por la cual la Agencia y la UIS se encuentran interesados en coordinar diferentes estudios con el ánimo de evaluar y desarrollar estrategias de exploración que permitan conocer la geología del subsuelo presentes en este sector del país.

Por esta razón se va a realizar la perforación del pozo estratigráfico ANH-BVTURA-1- ST-P, con el fin de conocer la estratigrafía predominante en este sector del país.

3.4.5 Cuenca Colombia. Esta es una cuenca de aguas profundas ubicada en el mar caribe. Su límite noroeste se considera la Escarpa de Hess, un rasgo importante que se extiende desde Centroamérica hasta la española, el límite sudoeste, son los límites marítimos de Costa Rica y Panamá, el límite suroeste está ubicado en el frente de la deformación de la faja deformada del caribe sur, al oriente limita con la frontera venezolana y limita en el norte con los límites marítimos de Jamaica, Haití y República Dominicana. Debido a su geología el hidrocarburo en esta zona aún se desconoce.

3.4.6 Cuenca pacífico profundo colombiano. Cuenca más occidental de Colombia, está compuesta principalmente por rocas volcánicas oceánicas y sedimentos marinos profundos. Limita al norte con Panamá, al sur con la frontera ecuatoriana, hacia el este con la zona de subducción del pacífico colombiano y al oeste con Costa Rica y el límite de Colombia.

3.5 Exploración de hidrocarburos en aguas profundas

3.5.1 Exploración. En los inicios de nuestra industria, la exploración del hidrocarburo usualmente era realizada en las cercanías de emanaciones de petróleo o en las cercanías de pozos ya descubiertos, ya que esto aumentaba la probabilidad de encontrar hidrocarburo reduciendo su riesgo, hoy en día se ha complicado más este proceso para encontrar el hidrocarburo, y los reservorios que son muy profundos en superficie no muestran ninguna evidencia, ahora bien las operaciones de exploración costa afuera es aún más complicada ya que los mares y océanos cubren el suelo marino, y encontrar petróleo depende únicamente de métodos científicos.

El uso de estos métodos científicos depende de las rocas, ya que tienen diferentes propiedades, con la ayuda de dispositivos sensibles podemos medir y registrar estas propiedades y localizar formaciones que pueden contener hidrocarburos, en los procesos de

exploración se realizan cuatro pasos en la zona de interés. Primero, Se corre realiza un estudio magnético. Segundo, se hace un estudio gravimétrico. Tercero, se corre un registro sísmico y, por último, si los estudios resultan favorables se procede a perforar y producir el pozo.

Estos cuatro procesos en zonas de costa afuera suceden simultáneamente por un buque que carga un gran equipo que le permite realizar estos estudios al tiempo.

3.5.1.1 Estudios magnéticos. Para realizar este estudio se monta en el bote un equipo muy sensible llamado magnometro, que mide y registra las fuerzas magnéticas de las rocas, si las rocas son homogéneas el registro será uniforme al resultado magnético, pero, si el magnometro registra una distorsión del campo magnético se le considera una anomalía. Estas distorsiones nos identifican que se encontró rocas que contienen minerales magnéticos, siendo estas rocas un área prometedora.

3.5.1.2 Estudios gravimétricos. El objetivo de este estudio es identificar las densidades de la roca, si el equipo pasa por rocas densas el valor en el registro crece, por consiguiente, si pasa por rocas poco densas el registro decrece, cuando se identifican anomalías en los registros como cambios abruptos en las mediciones, se toman estas zonas como zonas de interés y se relacionan con otros registros para corroborar la información.

3.5.1.3 Estudios sísmicos. Proveen una amplia información de las formaciones, detalles como la cantidad, espesores, la estructura geológica entre otras, este estudio sísmico se analiza junto con los anteriores estudios, para determinar las zonas más indicadas para hallar el hidrocarburo, el proceso básicamente consiste en la detonación de explosivos y dependiendo el tipo de roca nos refleja las ondas, luego estas ondas son interceptadas por receptores y nos van configurando por el tiempo de llegada las capas de las formaciones, en estudios sísmicos en costa afuera los buques están equipados con un generador de sonido especial, que genera sonidos de baja y alta frecuencia, Las ondas de sonido de baja frecuencia viajan a través del

agua hasta entrar en contacto con el lecho marino y continúa viajando a través de miles pies entre las distintas capas, a medida que atraviesa una nueva capa refleja una onda que viaja de regreso hasta que los intercepta los hidrófonos, que están conectados al bote y se puede luego hacer el estudio para definir las capas y estructuras geológicas.

Luego de recopilar y analizar toda la data obtenida por estos estudios se determinan las zonas prospectivas y se destina un lugar para iniciar la siguiente etapa y así traer al lugar los equipos de perforación, ubicando la plataforma con geoposicionamiento satelital.

3.5.2 Medio Ambiente. Es uno de los temas más importantes, ya que puede tener una implicación directa con el medio ambiente, debido a la disposición de desechos, derrames y cuidado de la vida marina, por esto las empresas que están involucradas en estos procedimientos y prácticas, poseen un amplio conocimiento y son auditados constantemente por autoridades competentes bajo las normas legales del país en esta materia.

En todas las etapas la explotación de hidrocarburos offshore, se usan diversas embarcaciones, que asisten operativamente y nos ayudan al control y obtención de datos para la defensa del medioambiente, como los son datos meteorológicos, de marea, de corrientes marinas, y densidades de agua, que son la base en la toma de decisiones y planificaciones para evitar los riesgos ambientales. Cabe señalar que estos estudios son realizados periódicamente desde la etapa de exploración hasta la etapa de abandono, ya que también es necesario conocer el impacto ocasionado por cerrar un pozo.

Dentro de las consideraciones de impacto ambiental que se tienen esta la turbidez que se puede generar durante los procesos, el ruido, explosiones, drenaje, deposición de sedimentos en el lecho marino, derrame de aceite, químicos tóxicos, transporte de sedimentos y el cuidado de la vida marina.

3.6 Marco legal

Los procesos de exploración y producción en la industria tienen una normativa mundial, así como nacional. Que rige desde los procesos de exploración hasta los de producción y posterior abandono del pozo sin importar el tipo de hidrocarburo (gas o Petróleo), o que se extraiga en tierra (onshore) o en alta mar (offshore). Este sistema de licencias está gestionada por autoridades especiales.

Las licencias son otorgadas por un periodo y se distinguen dos tipos

- Licencias de exploración: Son para el operador y permite exploraciones no intrusivas, es decir, la adquisición de datos necesarios para definir la viabilidad del proyecto como datos sísmicos, gravimétricos y magnéticos. Y la posibilidad del desarrollo de un pozo exploratorio
- Licencias de producción: Estas permiten a la compañía la perforación del lecho marino para la obtención del Hidrocarburo desde el yacimiento. Se distribuye en cuadrantes, los cuadrantes son de un grado de latitud por un grado de longitud- Y cada cuadrante está dividido en bloques de 10 x 12 minutos, aproximadamente la superficie de cada bloque es de 250 Km².

Una vez la compañía operadora tiene todos los permisos procederá a la ejecución de los contratos. Sin embargo, estas compañías que cuentan con los permisos no pueden costear ya sea por recursos o equipos toda la operación por lo que es normal subcontratar otras empresas que harán parte del proyecto como lo son:

- Compañía de operaciones. Es la que obtiene los derechos de exploración del recurso y son las encargadas de subcontratar otras compañías especializadas en otras áreas. Algunos nombres de compañías operadoras son: ExxonMobil, BP, Shell, Repsol, Chevron, entre otras.

- Compañía de perforación y exploración. Estas compañías adquieren los trabajos específicos de exploración, perforación y preparación económica del pozo. Aportando los recursos técnicos, equipos y talento humano para llevar a cabo la operación. Algunos nombres de estas compañías son: Transocean, Aker Drilling, Atwood Oceanics, entre otras.
- Compañías de servicios. Proveen infraestructuras y equipos de propiedad intelectual, así como sus servicios que sean necesarios. Se reconocen compañías de servicios como: BJ Services, Baker Hughes, Halliburton, Schlumberger, Technip, entre otras.
- Compañías de suministros. Encargadas de proveer toda clase de servicios y suministros específicos como servicios de catering, dragado, alojamiento en alta mar, buques de suministros y remolque. Como por ejemplo Prosafe; que posee buques para acomodación offshore o Bourbon; que tiene buques de soporte offshore, AHT, AHTS, PSV.

Todas estas especificaciones están bajo la normativa legal contemplada en la constitución, a partir la resolución 40048 del 26 de enero del 2015 y la resolución 40687 del 18 de julio del 2017, por las cuales se establecen las medidas en materia de exploración y explotación, así como los criterios técnicos para proyectos de perforación de hidrocarburos costa afuera en Colombia.

4. Perforación en aguas profundas

Gracias a los procesos de exploración se logran identificar los lugares donde se presenta la mayor posibilidad de encontrar un yacimiento y proceder a la etapa de perforación, siendo esta etapa una de las más riesgosas, en su diseño, ejecución y control ya que debe ser una actividad muy precisa, o un error puede ocasionar pérdidas humanas, ambientales y económicas. Los

equipos de perforación están conformados por quipos como tuberías de perforación, barreras, llaves, cuñas, elevadores, sargas de perforación, herramientas de pozo, tubería de trabajo, entre otras; y todos estos elementos deben cumplir con normas y estándares en su mayoría regidos por los estándares API (American Petroleum Institute).

4.1 Plataformas de perforación offshore

Las plataformas de perforación son sofisticadas piezas de mecánica e ingeniería, sus inicios eran diseños más sencillos a los que hay actualmente, ya que las primeras torres eran usadas cerca a las costas o lagos, la tecnología que poseían era muy similar a la usada en tierra firme, estas técnicas fueron útiles durante un tiempo sin embargo se hizo necesario llevar procesos en aguas más profundas, lo cual generó una evolución en la ingeniería, hoy en día la mayoría de las plataformas son portátiles, a pesar de estos grandes avances aún se continúa un desarrollo para la seguridad tanto del trabajador, integridad de los equipos y cuidados ambientales. Se clasifican en unidades soportadas en fondo y unidades flotantes.

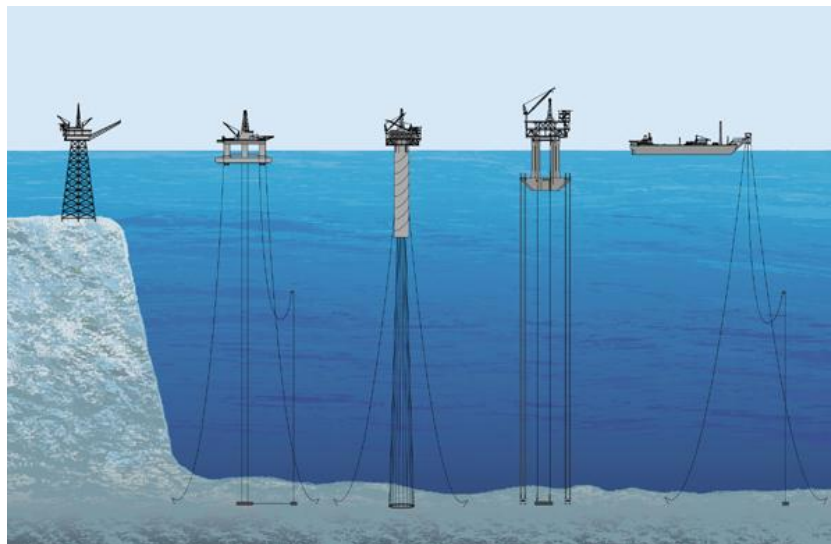


Figura 2. Unidades flotantes de perforación. Adaptado de Cantidad de proyectos petroleros demandantes de sistemas flotantes de producción alcanza su máximo histórico, 2012. Por Fundación Nuestro Mar.

4.1.1 Unidades soportadas en el fondo. Son unidades fijas que tienen contacto con el lecho marino durante sus operaciones. Están las plataformas sumergibles y la plataforma auto elevable. Las columnas soportan todos los equipo e instalaciones de producción. Se asientan donde la vida del pozo va a ser prolongado. Son muy estables ya que poseen poco movimiento por acciones meteorológicas y oceanográficas. No son rentables para profundidades mayores de 400 metros ya que las subestructuras de la unidad serían muy pesadas y largas

4.1.1.1 Sumergibles. Son plataformas construidas sobre columnas apoyadas en el fondo del mar. Son fáciles de maniobrar y estables al ser remolcadas, sin embargo, su transporte en grandes distancias es muy costoso, son ideales cuando desde un punto se efectúan varios procedimientos sin necesidad de cambiarla de posición continuamente. Son usados en aguas poco profundas como ríos y bahías, profundidades de 50 metros.



Figura 3. Plataforma sumergible. Adaptado de Plataforma petrolífera Scarabeo 9 estrena instalaciones de Astican en el Reina Sofía Sur, 2016. Por Redacción noticanarias

Las unidades sumergibles tienen dos cascos. El casco superior se le conoce como piso de perforación “Texas” y es usado para alojar la tripulación y el equipo. La perforación es desarrollada a través de una abertura en la parte rígida con una estructura voladiza (cantilever). El casco inferior es el área de balastras y se usa también como cimiento mientras se perfora. (Pedro Gil, 2015, P.22).

4.1.1.2 Plataforma sumergible tipo botella. Unidades de cuatro cilindros altos de acero (en forma de botella) en cada una de las esquinas. Las botellas se llenan con agua lo que genera que la plataforma se sumerja al fondo marino.

Tuvieron un auge en los años 60 perforando en aguas de 45 metros, actualmente, debido a sus costos de producción fueron desplazadas por plataformas auto-elevables que a su vez permiten alcanzar mayores profundidades; se han hecho algunas modificaciones con el fin de operar como plataformas semi-sumergibles.

4.1.1.3 Plataforma sumergible tipo ártico. Diseñadas para soportar las condiciones extremas de los árticos, deben soportar grandes fuerzas producto del contacto con cuerpos, como lo son icebergs, témpanos o bloques de hielo, estos se encuentran en movimiento por las corrientes marinas. Debido a estos grandes esfuerzos no es permitido usar otras unidades como las auto-elevables o barcazas.

Estas unidades poseen cascos reforzados y colocados sobre hormigón, y alcanzan pocas profundidades. Son remolcadas por barcos cuando no hay hielo en temporada de verano, el fuerte casco de esta unidad permite desviar los témpanos para que las actividades sigan en marcha.



Figura 4. Plataforma en el ártico. Adaptado de Rusia desarrolla reactores autónomos sumergibles para el Ártico. Por Sputnik News.

4.1.1.4 Plataforma tipo jacket. Su nombre es debido a que su estructura sirve de recubrimiento y de guía para los pilotes que fijan la unidad flotante en el lecho marino, la estructura tiene una altura de 400 metros junto a sus pilotes. Debido a su tamaño es imposible el uso de grúa por lo que para su instalación se sueltan controlando su hundimiento, hasta quedar alineadas en una plantilla en el fondo

4.1.1.5 Plataforma GSB. Gravity Based Structures por sus siglas en inglés o estructuras de gravedad. Son estructuras que se sostienen gracias a su propio peso, construidas de hormigón reforzado con acero, lo que ayuda a controlar el efecto de boyanza

4.1.1.5 Plataforma auto elevable (Jack-UP). Usadas para la perforación y reparación de pozos ya sea en pozos exploratorios o de desarrollo, son movilizadas por medio de remolcadores o auto propulsión.

Para instalar la plataforma se bajan las piernas hasta alcanzar el fondo marino en la ubicación deseada, las columnas son de sección triangular o circular que en el inferior poseen un sistema de zapatas aisladas o losa de cimentación. Pueden ser construidas desde 3 hasta catorce piernas todo está en función del tipo de oleaje y las corrientes marinas que se presenten durante la perforación. Las plataformas llamadas Monópodas (una sola pierna) son usadas en zonas especiales.

Una vez asentadas las piernas la cubierta es elevada por encima del nivel de agua hasta lograr su estabilidad, puede posicionarse en la altura que requiera y soporta sobre si todos los demás equipos.

Se usan para perforar en aguas de 120 metros de profundidad y logran alcanzar perforaciones de hasta 10.000 metros. Existen dos categorías básicas.

- Con piernas independientes: usadas donde el lecho marino es firme, existen arrecifes o fondos marinos irregulares

- Con plancha de apoyo: Usadas donde se presenta cizallamiento en la tierra donde las presiones de asentamiento son bajas.

Una ventaja de las plataformas auto elevables con plancha de apoyo contra la de piernas independientes es que tienen una menor penetración en el fondo marino como se aprecia en la Figura 5, por ejemplo una plataforma con plancha de apoyo penetra solo 2 metros, por 12 metros que penetran las de piernas independientes, por lo tanto las plataformas con plancha de apoyo necesitan menos piernas que las de piernas independientes para la misma profundidad de agua, pero necesitan un nivel del suelo marino limpio y parejo, soportando hasta 1.5° de inclinación en el lecho marino. (Pedro Gil, 2015, P.27).



Figura 5. Jack up. Adaptado CP-375 Jack-up -Rig. Por Habo

Se deben tener los siguientes parámetros antes de elegir este tipo de plataforma: Tipo y resistencia del suelo marino, profundidad de perforación, capacidad de operación un soporte mínimo, desplazamiento, profundidad del agua, medioambiente, limitaciones operacionales y de remolque.

4.1.2 Unidades Flotantes. En esta categoría se incluye las unidades semisumergibles, barcos perforadores, plataformas con piernas tensionadas (TLP) y las unidades SPAR. Las unidades semisumergibles y las TLP son más estables que los barcos perforadores pero los barcos cargan equipos más robustos y pueden trabajar en aguas profundas.

4.1.2.1 Plataformas semisumergibles. Embarcación especial que esta soportada en grandes estructuras llamadas pontón, que se encuentran sumergidas en el mar, El pontón es una estructura rectangular de acero, largo, estrecho y hueco, al encontrarse sumergidos ayuda a sustentar la estructura y evitar resonancia con el oleaje.

Se pueden trasladar de dos maneras, ya sea por un sistema propio de propulsión con turbinas, acarreándolas con barcos (Figura 6) o sobre barcasas. Para transportar a grandes distancias se usan barcasas; donde se retira el agua de los pontones haciendo que emerja toda la estructura y se montan sobre el barco.



Figura 6. Traslado de una plataforma semisumergible. Adaptado de Titanes del mar. Por Aberrón

Reciben este nombre debido a que no tienen contacto con el suelo marino, estos equipos son más estables que los barcos perforadores. Son capaces de soportar temporales y perforar en aguas de más de 2500 metros de profundidad, sus cubiertas principales son más grandes que un campo de fútbol.

La plataforma cuenta con sistema de posicionamiento independiente en los pontones, lo que le permite mantenerse dentro de un radio de tolerancias determinado a partir de los equipos, contrarrestando el accionar de olas, corrientes marítimas y vientos. Este sistema cuenta con dos elementos fundamentales: sistema de anclaje y sistema de posicionamiento dinámico.

El sistema de anclaje consta de 8 a 12 líneas de cables con sus anclas que sirven para soportar las fuerzas que desestabilizan la unidad permitiendo mantenerlo dentro del radio de operación óptimo.

El sistema de posicionamiento dinámico consta de turbinas sujetas en los pontones, son controladas por ordenadores en el caso de la unidad, y la mantienen fija, el costo de propulsión es alto por lo cual se tiene muy en cuenta, sin embargo, no existe relación física entre el lecho marino y la plataforma para seleccionar este sistema. El oleaje es el que causa más movimiento a la unidad y por ende es un gran inconveniente y se controla por medio del sistema de posicionamiento y el control de llenado de pontones para darle más sumergencia a la unidad dando como resultado una mayor estabilidad de la plataforma.

Para seleccionar esta unidad se tiene en cuenta lo siguiente: Profundidad, el alcance máximo de perforación, criterios de seguridad y ambientales, movimiento (olas, viento, corrientes marinas) y movilidad.



Figura 7. Plataforma semisumergible. Adaptado de Sauer compressors. Por Sauer.

4.1.2.2 Barcos perforadores. Es un sistema flotante de perforación, posee una gran movilidad y cascos aerodinámicos, útiles para llegar a zonas muy remotas y de gran profundidad. La forma y capacidad de cubierta le permite cargar con todo el equipo y material para perforar. Algunos operan entre 300 y 900 metros y los más modernos alcanzan los 12.000 metros. Estos buques poseen dimensiones de 260 metros de popa a proa y 30 metros de anchura.

Se mantienen fijos por medio de anclas, aunque también cuentan con posicionamiento dinámico. Durante la perforación el barco debe mantenerse quieto en posición, el movimiento vertical producto del oleaje es su mayor problema debido al área de contacto con el mar. Son versátiles en cuanto a movilidad respecto a otras unidades flotantes, pero su uso se determina por el estudio de olas y vientos que puedan afectarla.



Figura 8. Drill Ship. Adaptado de M&G, Buques para la perforación exploratoria y de producción costa afuera. Por M&G

4.1.2.3 Plataformas con piernas tensionadas (TLP). Se emplean para aguas con profundidades mayores a 600 metros. Están sujetas mediante cables con anclas al fondo marino y se mantiene en superficie por columnas flotantes.

Son de fácil instalación ya que no requiere barcasas grúa y posee gran estabilidad en condiciones adversas. Esta unidad no solo se emplea en perforación, también, se usan para recuperar y producir pozos de forma simultánea.

La TLP es un sistema semejante a la plataforma semisumergible, sólo que ésta se encuentra anclada al fondo por medio de elementos verticales, los cuales se mantienen en

tensión, debido al exceso de flotación en la plataforma. Presenta un comportamiento mixto, siendo tolerante con los grados de libertad horizontal, y a su vez, rígido con los grados de libertad vertical. Dado que el equilibrio vertical de la plataforma se logra al mantener los tensores templados por el exceso de flotación del casco, la carga de tensión es transferida al sistema de cimentación a través de los tensores que conforman su sistema de amarre. Los tensores se anclan al fondo marino por medio de una estructura fabricada a partir de acero estructural y cimentado mediante pilotes.



Figura 9. TLP. Adaptado de *Petróleo e Construção Naval*. Por Pedro Paixao

4.1.2.4 Plataforma SPAR. Las plataformas SPAR también están amarradas al lecho marino como el TLP. Pero mientras que los TLP tienen ataduras tensionadas verticales, el SPAR tiene líneas de amarre más convencionales. Los bastidores han sido diseñados en 3 configuraciones: el casco cilíndrico de una sola pieza "convencional", el "truss SPAR" donde la sección media está compuesta por elementos de armadura que conectan el casco flotante superior (llamado tanque duro) con el tanque inferior blando que contiene lastre, y el "espaciador celular" construido a partir de múltiples cilindros verticales. El SPAR puede ser más económico de construir para reservorios pequeños y medianos que el TLP. (Holmanger, Redda, 2010).



Figura 10. SPAR, Adaptado de Sector marítimo, las plataformas petrolíferas que operan a mayores profundidades. Por © 2016 Copyright Revista de Ingeniería Naval.

4.1.3 Componentes para perforar. El objetivo de estos componentes es atravesar las diferentes capas de roca para obtener un pozo por el cual extraeremos los hidrocarburos, por lo que el equipo a utilizar debe ser eficiente para la realización del trabajo. Podemos dividir los equipos en cinco sistemas principales.

4.1.3.1 Sistema de izaje. Por este sistema se aporta un medio para el movimiento vertical de la tubería dentro del pozo. Está conformado por:

- Torre o mástil: Es el soporte principal de toda la sarta de perforación y demás equipos. Tiene una forma piramidal y son construidos de materiales muy resistentes, pero de bajo peso, se clasifican de acuerdo a su capacidad de soportar cargas verticales, velocidad del viento que debe soportar y la altura que está en función de la altura de las secciones de tubos que se usan en el pozo, Estas secciones de tubos reciben el nombre de lingadas que vienen conformadas por 3 tubos que en total miden aproximadamente 27 metros.

Para que la carga este soportada todo el tiempo se usa un bloque de la corona para cuando se encuentra suspendida y cuando está en reposo se ajusta en la mesa rotaria.

- Subestructura: Es un conjunto de vigas muy resistentes que soportan todo el conjunto de herramientas y equipo utilizados para el manejo de la sarta de perforación. Se ubica

en la parte inferior de la torre y sobre el piso de perforación facilitando un área para el trabajo de otros equipos y el personal.

- El malacate: Consiste en un tambor que gira sobre un eje alrededor del cual se enrolla un cable de acero. El objetivo principal es izar e introducir la tubería en el agujero de perforación.

El cable es enrollado en el carrete permitiendo que este gire en la dirección que se requiere durante el procedimiento haciendo que el bloque viajero suba o baje.

Una de sus características principales es el sistema de frenos que alivia las cargas de la tubería de perforación, por seguridad los malacates tienen dos sistemas de frenos uno mecánico y el otro generalmente hidráulico, permitiendo controlar la velocidad de descenso de una carga. Posee también una transmisión para los cambios de velocidad, de 4 a 8 velocidades, al malacate lo atraviesa un eje con dos tambores uno cerca al perforador para que pueda usar las herramientas y el otro al otro extremo usado para enroscar y desenroscar la tubería.

- los bloques y cables de perforación: La polea viajera, el gancho, el bloque de la corona y el cable de perforación constituyen un conjunto cuya función es soportar la carga que está en la torre, mientras se introduce o se extrae la tubería del agujero. (Gil, 2015).

El cable de perforación está compuesto de hebras de alambre enrolladas helicoidalmente alrededor de un núcleo de fibra o filamentos de acero, con diámetros ente 1 1/8 a 1 1/2 pulgadas. Ayuda controlar las cargas de los equipos suspendidos por el gancho. Requiere una lubricación constante para prolongar su uso y evitar su deterioro.

El gancho se ubica debajo del bloque viajero y se conecta una barra cilíndrica para soportar la unión giratoria (swivel). El bloque de corona se ubica en el tope de la torre, es formado por un conjunto de poleas por donde pasa el cable de perforación para llegar

al bloque viajero, y es el encargado de soportar las cargas. Y el bloque viajero esta unido al bloque corona por el cable de perforación y soporta el gancho.

4.1.3.2 Sistema rotario. Su objetivo es proporcionar la acción rotaria a la broca para que perfora, existen tres tipos de mecanismos para brindar la rotación a las brocas: Sistema rotorio convencional, Top drive y bottom drive.

- Sistema rotatorio convencional: consiste en una mesa rotaria encargada de recibir la energía del malacate y produce un movimiento circular para que la maquinaria la transfiera a la tubería y a la broca, la mesa puede soportar el peso muerto de la tubería por lo que esta hecha de materiales resistentes. Contiene a su vez dos partes importantes la Kelly y las cuñas; estas últimas son usadas para suspenderla perforación momentáneamente. Las cuñas junto al buje maestro fijan la sarta de perforación a la mesa rotaria para transmitir el movimiento.

La Kelly es una pieza cuadrada o hexagonal ubicada en el extremo superior de la sarta de perforación, y su función es transmitir el giro proporcionado por la mesa rotaria.

La unión giratoria Swivel debe soportar el peso de la sarta de perforación, permitir que esta gire libremente y dar un sello hermético y un conducto para que se pueda bombear el lodo.

La sarta de perforación debe transmitir la rotación aplicada en superficie a la broca, vía de transporte del fluido de perforación y dar los medios para subir o bajar la broca dentro del pozo.

La tubería de perforación es una barra de acero hueca que se utiliza en operaciones de perforación, se le conoce como tubería de trabajo debido a los múltiples esfuerzos a los que se encuentra sometido.

Los casing son tubos lisos que proporcionan peso para que la broca pueda penetrar las rocas, unen la tubería de perforación con las brocas, también, soportan y dan rigidez a la parte inferior de la sarta y dan apoyo a la broca.

Las brocas son las herramientas de corte que se localizan en el extremo inferior de la sarta de perforación, y se utiliza para cortar o triturar las rocas de las formaciones, las hay de diversos diámetros y son seleccionadas según las características y grado de solidez de los estratos de la columna geológica.

- Motor elevable o top drive: equipo superficial que le da rotación a la sarta sin necesidad de usar una mesa rotaria. Este equipo es impulsado por un motor y se desliza por un riel en la torre. Posee un mayor rendimiento, es más fácil controlar su velocidad, es más compacta, de fácil transporte, requiere menos mantenimiento, aumenta la rentabilidad del equipo y mejora el control de la sarta ya que permite girar y circular mientras se desplaza por el pozo.
- Motor de fondo o bottom drive: a diferencia de los anteriores sistemas este solamente hace girar la broca. Es accionado mediante la circulación del lodo de perforación, ya que cuando el fluido pasa por el estator hace girar el rotor y por consiguiente la broca. Se usan más para perforación direccional ya que evita arreglos complicados.

4.1.3.3 Sistema de circulación de lodo. Su función principal es hacer circular el fluido de perforación hacia el interior y exterior del pozo, para que el fluido remueva los recortes de roca del fondo del pozo a medida que se va perforando, también, controla las presiones de la formación, sellan las formaciones permeables, lubrican la broca, transmite energía hidráulica a las herramientas en fondo de pozo y mantienen la estabilidad y control del pozo. Está compuesta por:

- Bombas de lodo, encargadas de mover grandes volúmenes de fluido a altas presiones

- Presa de lodo, lugar donde se mezcla el lodo con los aditivos secos con la ayuda de una tolva
- Zaranda vibratoria, se encarga de separar los recortes del lodo y los vuelca a una presa de desechos.
- Desarenador y deslimizador, remueven partículas pequeñas del lodo, para evitar que las arenas tornen más denso el lodo y que desgasten la tubería y los demás componentes.
- Desgasificador. Elimina los contaminantes gaseosos del fluido de perforación.

4.1.3.4 Sistema de energía Mecánicamente o eléctricamente, cada torre de perforación moderna utiliza motores de combustión interna como fuente principal de energía o fuente principal de movimiento. Un motor de una torre de perforación es similar a los motores de los coches, excepto que los de la torre son más grandes, más potentes y no usan gasolina como combustible. La mayoría de las torres necesitan de más de un motor para suministrar la energía necesaria para la perforación de pozos.

Los motores en su mayoría utilizan diésel, porque el diésel como combustible es más seguro de transportar y de almacenar a diferencia de otros combustibles tales como el gas natural, el gas licuado del petróleo o la gasolina.

Para transmitir la potencia desde la fuente primaria hasta los componentes de la instalación existen dos métodos: el mecánico y el eléctrico. Hasta hace poco, casi todas las instalaciones eran mecánicas, o sea, la potencia de los motores era transmitida a los componentes por medios mecánicos; actualmente, las instalaciones diésel-eléctricas reemplazaron a las mecánicas. (Gil, 2015).

4.1.3.5 sistema para el control de pozo. Es necesario contar con un equipo para mantener un control sobre el pozo y evitar dificultades. Estos equipos son de vital importancia y poseen un amplio programa de inspección, se realizan también, simulacros para saber cómo reaccionar ante una emergencia. Este sistema de control se compone de:

- Preventoras ó Blow Out Preventer (BOP), su función es la de controlar el paso de fluidos de la formación hasta superficie, por el espacio anular como dentro de las tuberías se clasifican en
 - De interiores, controla el fluido del interior de la tubería.
 - De ariete, usado para sellar el espacio anular.
 - Esféricos, para efectuar cierres herméticos a presión en cualquier cuerpo dentro del pozo.
 - Anular mecánico, usado donde hay pozos con bombeo mecánico.
- Acumuladores, son recipientes en forma de botella o esferas donde se tiene el fluido hidráulico con el que se operan las preventoras, soportan altas presiones y deben actuar rápidamente.
- Estranguladores o válvulas de alivio, son un juego de válvulas las cuales se conectan a las preventivas con la línea del estrangulador, permiten sacar el fluido invasor con un fluido de densidad mayor (fluido de control), el fluido invasor es producto de cerrar el pozo y es eliminado por medio de la línea de alivio.
- Separador de lodo y gas, este separador rescata el lodo útil que sale del pozo y retira el gas para ser quemado a una distancia segura, están hechos de una sección amplia de tubería con deflectores internos, el gas es retirado del lodo por un tubo de descarga y el lodo es enviado a la zaranda vibratoria.

4.1.4 Equipos de perforación marina. El equipo de perforación usado en costa afuera es similar a los usados en las operaciones de perforación terrestre ya que contiene elementos que se usan en ambas operaciones, sin embargo, hay unos equipos especiales que solo se usan en perforación costa afuera.

4.1.4.1 Guía de polea viajera. Debido al movimiento horizontal del equipo flotante producto del oleaje y corrientes marinas, ocasiona inconvenientes al bloque viajero, por lo que se instalan dos viguetas en el interior de la torre de perforación que guían el bloque viajero por medio de ruedas ajustando la polea y restringiendo el movimiento horizontal del gancho y la unión giratoria.

4.1.4.2 Compensadores de movimiento vertical. una de las principales razones del movimiento vertical es el choque de la broca con el fondo de pozo. Para compensar este movimiento y tener mayor estabilidad se usan amortiguadores, que se instalan por encima del casino, compensando así el movimiento vertical en la parte inferior de la sarta. Los amortiguadores son muy eficientes pero costosos, no solo por su adquisición sino también por su mantenimiento.

4.1.4.3 Riser. Es la unión entre la unidad flotante de perforación y el pozo en el lecho marino. Es de vital importancia, ya que da un medio de retorno del lodo y guía la sarta al interior del pozo, se encuentra en la parte inferior de los preventores submarinos y al equipo de perforación y tiene una longitud de 22 metros. Es un elemento muy vulnerable ya que debe ser capaz de soportar todos los esfuerzos que se aplican sobre él.

4.1.4.4 Sistema de tensión. Proporciona una tensión axial para mantener el riser rígido, debe soportar el peso del aparejo y las cargas generadas por el movimiento del equipo.

Debe ser capaz de proporcionar una rápida reacción al movimiento vertical de la unidad flotante para compensar los movimientos por mareas, ajuste de conexión y cambios en la posición del equipo.

4.1.4.5 sistema de flotación. La flotación tiene como propósito reducir el peso del riser y evitar que se flexione, por esto se utilizan módulos de flotación o cámaras de aire fijados alrededor del riser. Este sistema no elimina el uso de tensionadores, pero si ayuda a reducir las tensiones.

4.1.4.6 Sistemas de control submarino. Debe monitorear y manejar las operaciones de los componentes de la unidad. Estos son controlados eléctrica o hidráulicamente atreves de una señal enviada desde superficie, los más usados son: Hidráulico directo, Hidráulico con calculas piloto, Hidráulico secuencial, electrohidráulico y electrohidráulico multiplicado.

4.1.4.7 localización de las preventoras. Se usan dos técnicas para llevar a cabo una perforación desde una unidad flotante.

- Preventoras en superficie. Se ven limitadas para plataformas apoyadas en el fondo, es decir las plataformas fijas.
- Preventoras en el fondo del mar, son normalmente usados en unidades flotantes ya que ayudan a mitigar emergencias debido al movimiento de la unidad, como lo es el mal tiempo, y con los preventores y cabezales en fondo de mar se reduce el peligro de dañar el pozo y la unidad en superficie. Otra ventaja es permite una mayor tolerancia por desalineamientos entre la mesa y los preventores sin crear cargas excesivas y desgaste.

4.2 Operaciones de instalación de tubería conductora

Esta tubería es la primera en instalarse durante el procedimiento de construcción del pozo, siendo esta la primera barrera que existe entre el pozo y el exterior. Su función principal es dar

estructura y soporte a la tubería del revestimiento, preventor y árbol submarino. Esta tubería debe resistir la flexión producto de las operaciones de producción que son llevadas a cabo y esta no tiene contacto con los fluidos del yacimiento. Pero debe soportar la presión ejercida por el mar y los fluidos de perforación. Por esta tubería viaja la tubería hasta la zona productora.

La instalación de estos equipos depende de factores geotectónicos (tipo de suelo, estabilidad, relieve del lecho marino y tirante de agua). Estos factores ayudan a determinar un método de instalación adecuado. El diseño de estos equipos requiere del diseño de explotación, los equipos e instalaciones submarinas, la evaluación económica y técnica conjunta.

Durante el transcurso de esta operación es de sumo cuidado, ya que, algún tipo de desplazamiento o inclinación en las tuberías conductoras podría causar cambio en las trayectorias, diseño de ductos, jumpers, manifolds y demás herramientas para controlar la producción. Para su instalación se han desarrollado los siguientes métodos.

4.2.1 Jetting. Para realizar este procedimiento se debe tener configurado el equipo de perforación según la siguiente manera: la sarta de perforación se posiciona dentro de la tubería conductora que está unida al housing de baja presión del cabezal, la herramienta de corrida del cabezal del pozo estará sujeta a la sarta de perforación a una distancia tal que permita posicionar la barrena a la altura del extremo inferior de la tubería conductora o en algunos casos por debajo de esta altura, lo anterior depende de la necesidad de lavado del suelo marino antes de la penetración de la tubería conductora. (Cárdenas, García, 2013). El diámetro de la broca es tenido en cuenta ya que se debe dejar el espacio suficiente entre esta y la tubería conductora y evitar atascamientos.

Para los elementos elegidos se toma en cuenta parámetros de perforación y de funcionamiento del sistema de jetting, analizando primero diámetro y longitud de la tubería de perforación, así como también, la broca, casing, tuberías de perforación, centradores, Registros, entre otras herramientas.

Es una técnica muy utilizada ya que disminuye tiempo de operación y por ende reduce costos, especialmente en estratos no consolidados como las arenas. Esto es debido a que en los otros métodos primero se perfora el agujero y luego si se instala la tubería. El método jetting tiene limitaciones según el tipo de suelo que se encuentre ya que en suelos muy compactos o consolidados su aplicabilidad es complicada por la configuración de la tubería conductora y la broca, Los otros métodos en cambio como no tienen accesorios adicionales pueden operar en estas zonas más fácilmente.

4.2.2 Apoyo de martillo hidráulico. Para esto se requiere de barcasas de asistencia como la AHV (Anchor Handling Vessel) que remolcan la tubería y asiste en la instalación de los pilotes. Este procedimiento se realiza siguiendo las siguientes etapas.

1. Se posiciona el AHV junto a la barcaza que transporta las tuberías y se pasa el cable del AHV para bajar la tubería conductora al lecho marino.
2. Con el cable conectado a la tubería y a la herramienta de succión se procede a trasladar la tubería a la rampa donde será lanzada al mar
3. Se inunda la tubería por debajo del AHV hasta ser soportado por el cable de trabajo
4. Con ayuda de un vehículo operado remotamente (ROV, por sus siglas en inglés), se posiciona la tubería y con la ayuda de su propio peso esta penetra el lecho marino. Dependiendo el lecho puede alcanzarse profundidades de 12 a 14 metros.
5. Por último, se despliega un martillo hidráulico sobre el cabezal acoplado con el ROV. Para así alcanzar la profundidad de penetración requerida.

4.2.3 Vía torpedo. Consiste en dejar caer libremente pilares tubulares, que usan la energía generada por la caída. Es un método muy sencillo y optimiza tiempo y dinero.

4.3 Instalación de equipo en el lecho marino

Se deben instalar dos equipos en el lecho marino, el cabezal de pozo y un preventor.

4.3.1 Cabezal de pozo. Este da soporte, conecta y sella los preventores, riser y las tuberías de revestimiento y conductoras, así como todo el equipo necesario para la terminación del pozo. Este equipo está ubicado en el extremo superior de las tuberías conductoras a nivel del suelo marino y su instalación ocurre en dos etapas.

1. Conectar el extremo de la tubería conductora al housing de baja presión el cual da soporte al siguiente accesorio (Tubería conductora)
2. Se instala el housing de alta presión con la tubería de revestimiento dentro del housing de baja presión. Este conecta y sella el pozo y los preventores submarinos; por último, se conecta al árbol de producción.

4.3.2 Preventor. Los preventores pueden ser instalados en superficie o en el fondo del mar. Si está en superficie se ubica en la plataforma acoplado al riser de alta presión, por lo que requiere un equipo de tensión y soporte.

Si la preventora es submarina se realizan conexiones entre el LMRP (Lower Marine Riser Package) y el Riser, las líneas de estrangulación y las de matar. Luego se baja el equipo y se conecta al cabezal.

4.4 Métodos de perforación en aguas profundas

Las operaciones de perforación presentan ciertos desafíos debido a la profundidad en la que se encuentra nuestro pozo para exploración, evaluación y producción. Buscando asegurar la estabilidad del pozo y que está sea una operación segura.

4.4.1 Perforación con riser de perforación. Es una tubería que va desde la unidad de perforación hasta el conjunto de preventoras en el lecho marino. Proporcionando un ducto para manejar el lodo, la sarta y demás herramientas de perforación. Evitando así la contaminación del medio marino con los fluidos de la operación. Su diseño depende los factores ambientales y las condiciones de operación como lo son peso del lodo, diámetros de las líneas, presiones, corrientes marinas y desplazamiento del equipo. Posee los siguientes componentes.

- Sistema tensionador. Conjunto de líneas de acero empleadas para aplicar esfuerzos verticales desde la parte superior del riser de perforación y así controlar los esfuerzos y desplazamientos y evitando que todo el peso se recargue sobre el riser evitando la fatiga de los demás componentes.

Para hacer las elecciones de las líneas de tensión se considera la tensión máxima de trabajo evitando problemas de ruptura; En función de la resistencia de la línea se define el tiempo de vida, para prolongar la vida se ubican en diversos ángulos de flotación para disminuir la tensión horizontal y maximizar la vertical.

- Junta telescópica. Compensa los movimientos verticales entre el equipo y el conjunto de preventores, por el oleaje y corrientes marinas o de viento; se instala en la parte superior de riser.

Está formada por dos barriles que se deslizan uno sobre el otro. El barril extremo esta unido al riser. El barril interno permite el movimiento axial y está sujeto a la parte inferior del desviador de flujo. Se debe considerar:

- las cargas dinámicas. La junta soporta el peso del riser y el conjunto de preventores.
- La longitud de carrera según la longitud de los movimientos verticales.
- Capacidad del anillo tensionador

- Cuerpo del riser. La longitud del riser está entre 50 y 90 pies, debe ser de alta resistencia, no poseer soldadura y conectado directamente por uniones en los extremos. Las características de resistencia las define el diámetro, espesor de pared y calidad del acero. Para su selección se considera.
 - Rango de presión, para resistir las cargas combinadas de los movimientos del equipo, densidad del fluido de control, corrientes marinas y las tensiones que este aplica.
 - Diámetro interno, debe ser amplio para poder correr la tubería de revestimiento y otras herramientas.
 - Almacenamiento y manejo, para definir su longitud.
- LMRP, Conjunto marino inferior al riser. Proporciona un medio de conexión entre el riser y el conjunto de preventoras, así como, un control hidráulico de este conjunto. Se tiene en consideración para su selección.
 - Presión de los preventores y pozo, la presión del LMRP debe ser igual al de las preventoras.
 - Cargas de operación.
 - La profundidad de operación, ya que esto genera mayores presiones
 - Tipo de conexiones.
- Juntas Flexibles, Permite el movimiento entre el riser y el equipo y el movimiento angular entre riser y el conjunto de preventores, soportando juntas de hasta 10 grados. Ayuda también a reducir esfuerzos del riser, se debe considerar
 - Localización del riser.
 - Rotación angular y rigidez máxima.
 - Presión.
 - Carga máxima de tensión.

- Máximo torque.
- Línea de estrangular, matar y auxiliares. Se usan para controlar el flujo de fluidos provenientes del pozo a superficie. Las funciones que cumplen estas líneas se definen según su tipo.
 - Líneas mud boost, Conductos para el fluido de control.
 - Líneas de inyección de aire, suministran aire a las cámaras de flotación del riser
 - Líneas de suministro hidráulico, llevan el fluido hidráulico hasta las preventoras.

Para su selección se debe tener presente el diámetro interno de las líneas, el tipo de fluido a transportar, la presión de operación, los acoplamientos y los requerimientos para el control de H₂S.

4.4.2 Perforación con BOP superficial. Tiene ciertas modificaciones respecto al método tradicional, ya que el Preventor submarino es más pequeño, se debe usar un riser de alta presión acoplándole las líneas de matar. Esto le permite facilitar la operación de control de los dispositivos. Y se emplea el sistema de desconexión submarino que provee seguridad. Al ser más ligero se reduce el diámetro de la BOP dándonos ventajas como:

- Reducción de peso que debe soportar la MODU (Mobile Offshore Drilling Unit).
- Utilizar tubería de revestimiento como riser, mayores velocidades de desarme y armado.
- Control de los brotes más rápido y seguro.

Sin embargo, para usar esta técnica es necesario que las condiciones ambientales sean calmadas, ya que la tubería se encuentra muy tensionada, suele usarse junto a plataformas SPAR y TLP ya que estas son más estables que las otras unidades.

4.4.3 Perforación sin Riser. Cuando las operaciones de perforación se llevan en zonas muy profundas los equipos deben soportar mayores presiones haciendo inviable el uso de algunos equipos ya que estarían sobredimensionados, como el tamaño de la cabeza de pozo y el riser que incrementarían de tamaño y por ende el peso.

Consiste en un sistema que circula lodo sin la necesidad de usar riser, empleando bombas de lodo submarinas para bombear los fluidos de perforación del pozo hasta la superficie. Este método se conoce también como perforación con doble gradiente de presión, esto se debe a que la presión del cuerpo de agua es tan grande que ayuda a mantener el pozo sin colapso y a remover los recortes.

Tabla 2. Ventajas y desventajas del uso de riser

| Perforación | Ventajas | Desventajas |
|-----------------------------|---|---|
| Con riser | <ul style="list-style-type: none"> - Mayor control del agujero. - Facilidad de introducir herramientas. - Presenta una mayor flexibilidad. | <ul style="list-style-type: none"> - Requerimientos de mayor peso y espacio en la unidad de perforación. - Aumento de las tensiones - Mayor cantidad de tuberías - Dificultad para mantener la estabilidad. |
| Con riser y BOP superficial | <ul style="list-style-type: none"> - Manejo de altas presiones. - Menores costos - Acceso directo al pozo. | <ul style="list-style-type: none"> - Poco viable en ambientes difíciles. |
| Sin riser | <ul style="list-style-type: none"> - Pueden usarse más de una línea para el retorno de lodo de perforación - Menores costos - Menor espacio requerido. - No lo afecta la profundidad. - Reducción de la tubería. | <ul style="list-style-type: none"> - Tecnología nueva. - Depende del dispositivo de desvío submarino. |

Nota: Adaptado de Manejo del riser de perforación, 2009. Por Bravo Vallejo.

4.6 Aspectos ambientales de la construcción offshore

Los equipos de perforación offshore están sometidos a condiciones únicas dentro del ambiente, este ambiente único ha sido importante en el desarrollo y evolución de los equipos y estructuras que conforman la industria ya que los cambios se sienten hasta con la más mínima influencia, en el diseño de estas estructuras se tiene muy en cuenta la adaptación a los diversos ambientes, pues debe enfrentar problemas de corrosión, temperaturas extremas, fuerzas dinámicas, entre otras.

4.6.1 Profundidades y distancias. El desarrollo de la industria ha generado que nuestras plataformas y estructuras estén más lejanos de las costas, lo cual limita, y en otros casos impide el apoyo de operación desde tierra siendo cada vez más independiente.

La distancia es el aspecto que más cobra valor a la hora de determinar un método para posicionar con precisión la infraestructura. La distancia también afecta la comunicación, viéndose más limitada conforme se aleja de la costa, es necesario arreglos especiales de facilidades para entregar el crudo, transporte de personal y partes de repuesto. Requiere también un personal muy capacitado en lo técnico como en lo psicológico, teniendo la capacidad de interpretar e integrar todas las consideraciones que se presentan para así tomar la decisión más correcta, desarrollando su trabajo con sinergia y bajo situaciones estresantes y condiciones miserables.

El área para operaciones offshore se extiende desde la costa hasta el océano profundo, es necesario para las operaciones de construcción contar con un cuerpo de agua de al menos 300 metros de profundidad. Para operaciones de exploración desde los 2.000 metros y pruebas mineras en columnas de agua con mayor longitud. La profundidad promedio del océano es de 4000 metros sin embargo la zona más profunda mide alrededor de 10.000 metros.

Las condiciones de estas infraestructuras son muy inhóspitas y oscuras, se requiere equipamiento especial de herramientas, y procedimientos para la localización, control,

operación y comunicación. Con esta industria se ha llevado un increíble avance en el desarrollo de la tecnología debido a lo que demandan estos ambientes, como lo son vehículos operados remotamente, fibra óptica, imágenes acústicas y gases especiales para buceo.

4.6.2 Presión Hidrostática y flotabilidad. La presión ejercida por el agua a la estructura y todos otros los elementos se le conoce como presión hidrostática. Esta es ejercida en todas las direcciones y aumenta con la profundidad. Esta presión está ligada con el concepto de boyanza que es el que permite la flotabilidad de los objetos.

5. Proyectos Offshore Internacionales Aplicables en Colombia

Colombia ha venido avanzando desde hace años en nuevos proyectos exploratorios Offshore los cuales le apuntan a abrir al país una nueva perspectiva en materia de petróleo y gas. Los proyectos offshore abren el espacio para la llegada de nueva inversión, los hallazgos que hasta la fecha se han hecho demuestran que hay un volumen y una calidad de hidrocarburos importante, por otro lado, el éxito de varios de estos proyectos se ve ligado a la coyuntura y el apoyo de países y mercados internacionales, los cuales sirven de base para el desarrollo óptimo y el éxito en la exploración y producción de los campos costa afuera de nuestro país. Los datos recopilados desde Repsol, portafolio, el tiempo y el observatorio petróleo sur muestra los proyectos recientes de perforación offshore.

5.1. Proyectos en Colombia

A continuación, se recopiló información de hallazgos, el avance Offshore en Colombia y así mismo, algunos de los campos más importantes de otros países que podrían servir de base para la ejecución de proyectos en Colombia:

Para finales del 2016 Ecopetrol reportó el hallazgo de un yacimiento petrolero en el pozo Warrior, que se encuentra en aguas profundas del Green Canyon, en el golfo de México (EE. UU.). Este fue el quinto descubrimiento de petróleo que la empresa colombiana ha hecho en ese país y que, según los cálculos, podría generar hasta 12.000 barriles diarios, esta perforación se hizo a través de una capa de agua de 1.263 y 6.953 metros por debajo del lecho marino, y el hallazgo equivale a más de 210 pies netos (64 metros) de petróleo de alta calidad en múltiples reservorios de la época del Mioceno, éste resultado hace parte de la estrategia en la que la empresa nacional se asocia con extranjeras con el objetivo de diversificar el riesgo y así incrementar la exploración.

Recientemente, en el año 2017, Ecopetrol comenzó la perforación del pozo offshore Molusco, con operación 100% directa, en asocio con la compañía ONGC, siendo la primera vez en que la petrolera colombiana asume el reto de manejar un proyecto de hidrocarburos costa fuera. El pozo Molusco está ubicado en una de las cuencas más importantes en la nueva estrategia de exploración de Ecopetrol, más exactamente a 10 kilómetros de los principales yacimientos de gas, Ballena y Chuchupa, en aguas del departamento de La Guajira. El pozo Molusco es un proyecto en aguas someras, con una profundidad de 62 metros, y un calado total de perforación aproximado de 1.830 metros (o 6.000 pies) y su punto de operación se encuentra próximo a Chuchupa y Ballena, como fue la primera vez que Ecopetrol hizo una operación de estas características, conformó un equipo con capacidades técnicas específicas en Colombia y que contó con el apoyo de profesionales de Ecopetrol America Inc. en Houston (EE. UU.). La operación se desarrolló con una plataforma tipo Jack-Up o plataforma de elevación.

Por otro lado, también para el año 2017 el pozo exploratorio Gorgon-1 mostró la presencia de gas en aguas profundas en el sur del Caribe colombiano, en zonas ubicadas entre los 3.675 y los 4.415 metros de profundidad bajo el nivel medio del mar. Este descubrimiento prueba la existencia de gas en una estructura localizada en el mismo tren geológico del campo Kronos. Gorgon-1 está ubicado a 27 kilómetros al norte del pozo Purple Angel-1, que recientemente confirmó la extensión del yacimiento de gas descubierto con el pozo Kronos-1 en agosto de 2015. El pozo estableció un récord para el país, pues atravesó la mayor lámina de agua en la historia de la perforación costa afuera de Colombia, 2.316 metros. Fue perforado con un buque de alta tecnología llamado Bolette Dolphin. Entre los 3.675 y 4.415 metros de profundidad (a más de 1,3 kilómetros por debajo del lecho marino) y se encontraron intervalos de arena neta gasífera, que de acuerdo con los resultados preliminares, suman entre 80 y 110 metros (260 a 360 pies).

Así mismo, Ecopetrol participa en la perforación del pozo Warrior-2 en el Golfo de México (Estados Unidos), en asocio con Anadarko, luego de haber anunciado un descubrimiento en 2016 con el pozo Warrior-1, como se mencionó anteriormente.

5.2. Proyectos extranjeros

El offshore de Brasil es una de las más importantes áreas de crecimiento en reservas de hidrocarburos del mundo, el pozo Pão de Açúcar está ubicado en el bloque BM-C-33, tiene una lámina de agua de 2.800 metros, similar a la columna de agua hallada en Gorgon-1 cuya columna fue de 2316 metros y, según las primeras evaluaciones, contiene un gran potencial de recursos de alta calidad con unas tasas excelentes de flujo de petróleo. Las pruebas de producción dieron como resultado 5.000 barriles de petróleo al día de crudo ligero y 807.349 metros cúbicos al día de gas, es calificado como uno de los 10 mayores descubrimientos del mundo. Se hace uso de plataforma FPSO, la cual podría ser implementada en Colombia pues

al tener columnas de agua similares, hace tentativo la implementación de esta plataforma marítima en aguas colombianas.

El yacimiento Troll es el principal yacimiento de gas noruego, descubierto en 1979 en la región del centro-Este del Mar del Norte. Consta de dos tanques estructuralmente distintos, pero en comunicación. Situada a 80 km al noroeste de Bergen, en el Mar del Norte, la plataforma extraterritorial (offshore) de gas Troll sigue siendo la estructura más grande hasta ahora de este tipo del mundo jamás construida. De un gigantismo absoluto, mide cerca de 500 metros de altura (472 mts más concretamente). Troll Vest posee cantidades de gas menores. Los dos depósitos presentan una gran columna de petróleo: de 12 a 14 metros para Ost, de 22 a 27 metros para Vest.

Finalmente, hablando de avances tecnológicos y de infraestructura, hay actualmente 128 plataformas de distintas características en Sudamérica, y al menos cuatro plataformas planificadas o en pedido. De las plataformas existentes, 91 fueron contratadas. La mayoría de las plataformas sin contrato son cold stacked o barcasas de perforación fuera de servicios y barcasas de apoyo logístico (tender barge) en Venezuela. Otras plataformas están en camino: Noble Dave Beard, semisumergible de Noble; Sedco 706, semisumergible de Transocean, y West Eminence, esta última plataforma es una unidad semisumergible cuyo diseño tiene un sistema de posicionamiento dinámico y una profundidad de agua de hasta 3000 metros, lo cual lo hace viable en perforaciones offshore Colombianas, puesto que la mayor columna de agua perforada actualmente es del orden de 2316 metros, se debe pensar en invertir tecnológicamente ya que estos equipos de última generación aumentan la eficiencia de la extracción de hidrocarburos en Colombia.

6. Aplicativo móvil

6.1 Desarrollo del aplicativo móvil.

Con el fin de dar a conocer de una manera didáctica y fácil todo este amplio proceso de perforación costa afuera. Se decidió desarrollar un aplicativo móvil, el cual mediante imágenes en 3D (manipulables) y textos se mostrarán los fundamentos necesarios para lograr entender los procesos de perforación Offshore. Esta aplicación podrá ser descargada en el dispositivo móvil o acceder a ella desde un computador.

Este aplicativo móvil está abierto para todo aquel que esté interesado en comprender esta rama de la industria, aunque es recomendable para la comunidad con conocimientos afines a la industria petrolera.

Para el desarrollo de las imágenes en dos y tres dimensiones de las plataformas y equipos de perforación presentes en la aplicación se hizo uso de:

1. Cinema 4d
2. Rhinoceros v8
3. Lumion

6.1.1 Cinema 4D. Es un software de creación de gráficos en dos y tres dimensiones, permite el modelado, la texturización y la animación. Otorga la facilidad para generar modelos en 3D de todas las plataformas de perforación Offshore y sus equipos. Por otro lado, permite observar con detalles cada gráfico gracias a sus herramientas que son capaces de crear objetos los cuales pueden ser ejecutados en diversos dispositivos.

Algunas otras funciones que permite realizar son:

- Modelado: Incrementa fácilmente el nivel de detalle en cualquier objeto con el sistema de esculpir de Cinema 4D. Se logró moldear los equipos de perforación con extremo

detalle como se aprecia en la figura 11. el top drive, la cual es una unidad mecánica completa y compleja.

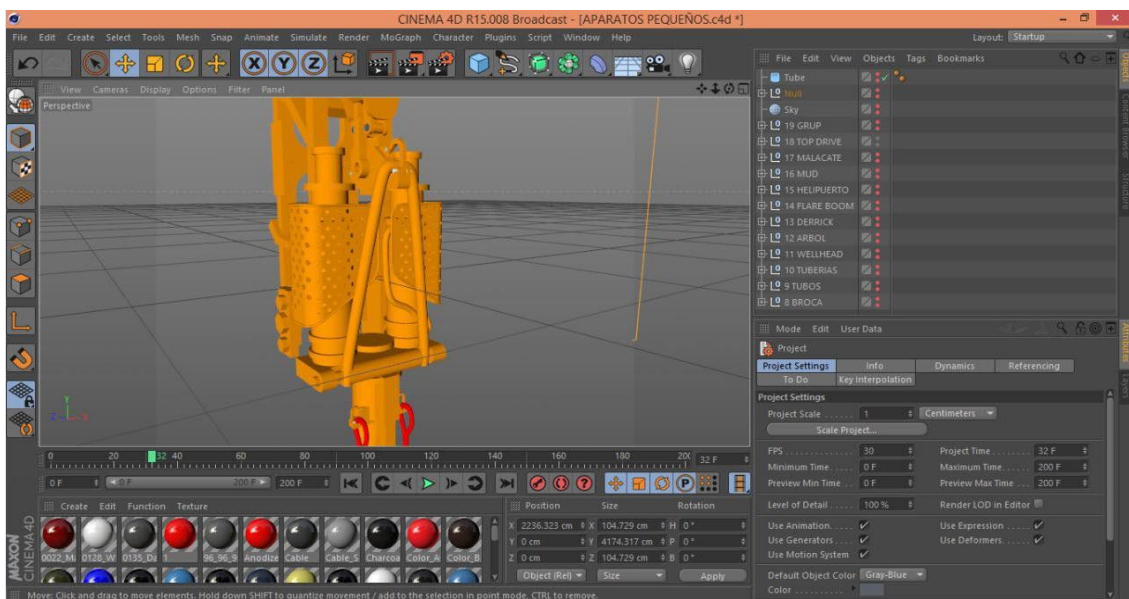


Figura 11. Modelado del top drive

- Texturizado: Empleado para definir rápidamente la superficie de los modelos 3D. Genera materiales de calidad fotográfica con reflexiones multicapa o efectos abstractos usando múltiples canales de material.

En el presente proyecto se logra generar una textura y apariencia real de cómo es cada una de estas plataformas y equipos en la vida real. Esto con el fin de que el usuario se lleve una idea de cómo podría ser cada objeto agregado. Así mismo, no solo se consigue ajustar la textura de cada imagen, sino que también la luminosidad del entorno, en este caso, el mar.

El propósito de definir detalles en cuanto a textura de los objetos y la luminosidad del entorno es para hacerse una idea muy cercana de cómo se observa todo este proceso de perforación.

En la figura 12. se puede observar cómo se puede dar apariencias reales, con detalles de textura en los objetos (plataforma, base de la plataforma, mar), y en el ambiente.

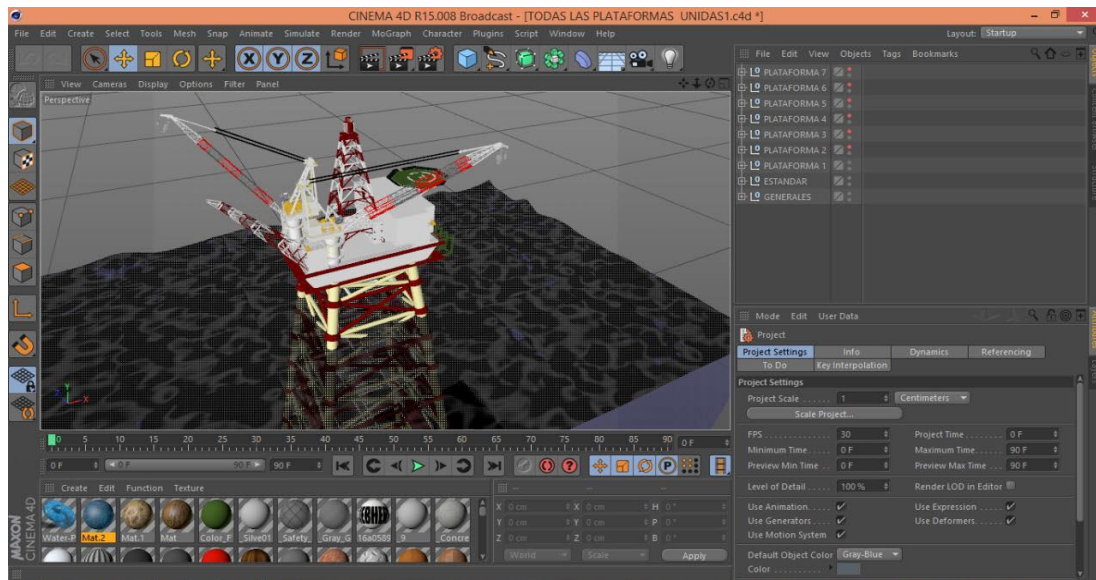


Figura 12. Texturizado y detallado de ambiente en desarrollo de imágenes.

- Animación: Se decide hacer cada imagen interactiva, es decir, el usuario podrá relacionarse con cada imagen. Está permitido observar todos los objetos desde el ángulo que se desee, esto con el fin de identificar todos los detalles y hacerse una idea más cercana y detallada del modo en que se vería en campo petrolero una plataforma marítima con sus respectivos equipos de perforación.

Se puede observar en la figura 13. un conjunto de imágenes de una plataforma, donde se detalla cómo se puede manipular cada objeto, en este caso la plataforma marítima desde cualquier ángulo y observar sus detalles.

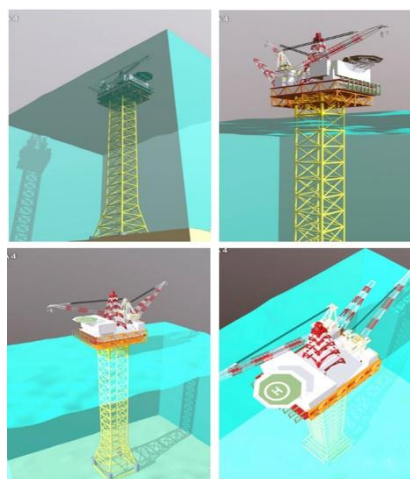


Figura 13. Conjunto de imágenes que describen lo manejable de cada objeto.

- **Renderizado:** Cuando se hace alusión a la palabra renderizado se refiere a un término que describe el proceso de generar una imagen fotorrealista partiendo de un modelo 2D o 3D que permite procesar fácilmente color, sombra, reflexión y otros efectos; todo esto con el fin de hacer una simulación realista del comportamiento tanto de luces, texturas de estructuras físicas verosímiles y materiales. Como lo es el agua de mar donde se hace todo el proceso de la perforación. El objetivo con los objetos planteados en el aplicativo es generar una simulación de condiciones físicas y lumínicas que sea lo suficientemente realista. La figura 14. muestra un malacate de perforación después de ser renderizado, teniendo como objetivo asemejarse lo más posible en la realidad a uno real de la industria petrolera (figura 15).

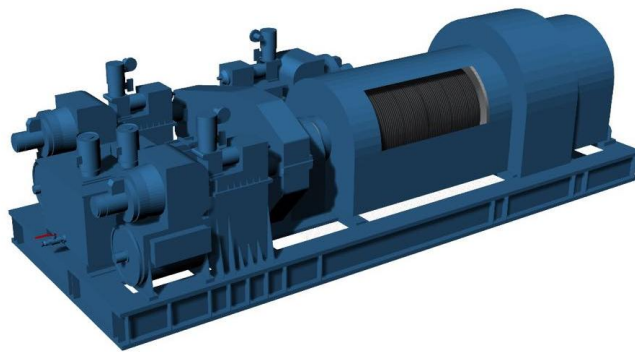


Figura 14. Malacate hecho y usado en la aplicación móvil



Figura 15. Malacate real usado en la industria petrolera. Adaptado de Manejo de petróleo y gas en superficie. Por Cinzia Zullian.

6.1.2 Rhinoceros V8. Es un software de Dibujo Asistido por Computadora que permite hacer modelos 3D con mucha facilidad. Es más usado para el diseño industrial, la arquitectura, el diseño naval, el diseño de joyas, el diseño automotriz, prototipado rápidos, ingeniería inversa, así como en la industria del diseño gráfico y multimedia.

Este programa facilita crear imágenes de manera más rápida, Por ejemplo, en la figura 16 se construye la broca de perforación con detalles como cortadores, dando como resultado la figura 17; se pretende que quede con la mayoría de detallado posible cada imagen para mostrar una aplicación útil para aquellas personas que no poseen conocimiento de la industria petrolera.

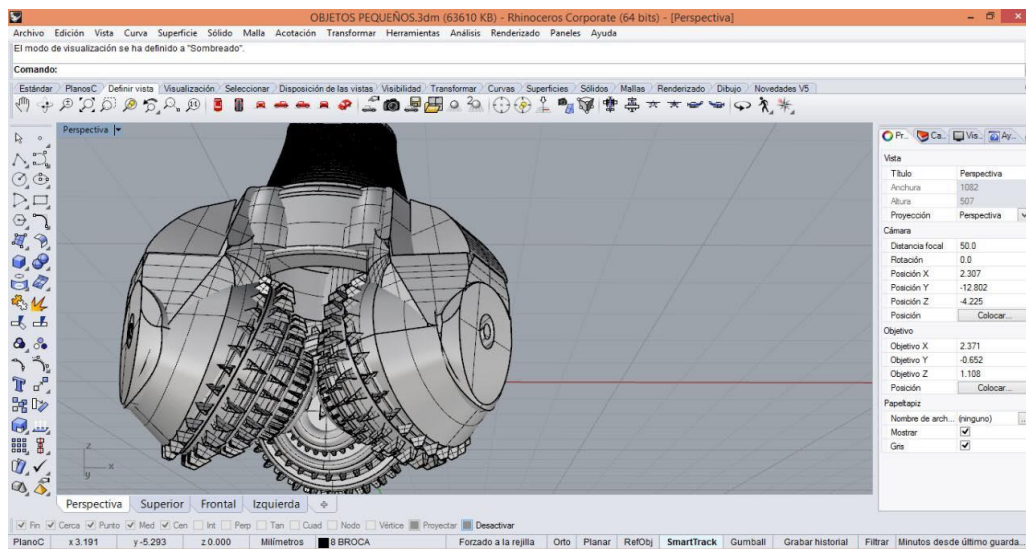


Figura 16. Construcción de la broca de perforación en Rhinos.

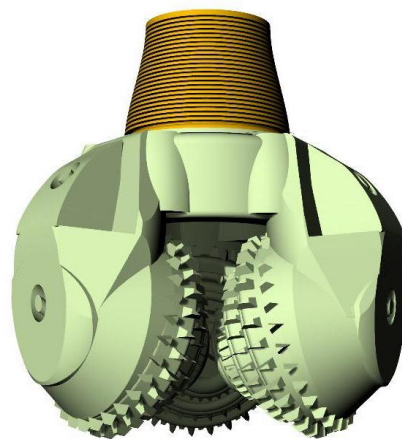


Figura 17. Broca de perforación con múltiple detallado.

- **Presentación:** Con el fin de mostrar una imagen clara al momento de subirla a la aplicación, mediante los valores predeterminados se incluyeron las imágenes con un fondo blanco y un plano de suelo ajustado y sombras suaves e iluminación de grandes paneles de luz. A su vez se busca que el contraste de colores sea óptimo y exista la mayor definición de cada equipo o plataforma.

La figura 18 muestra una unidad de perforación petrolera flotante semisumergible con un fondo blanco y contraste de colores precisos acorde con detalles reales.

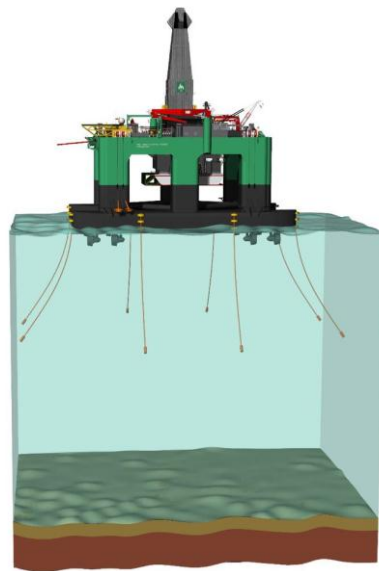


Figura 18. Plataforma flotante semi-sumergible con contraste de colores.

6.1.3 Lumion. Es un software de visualización. Se adapta perfectamente al flujo de trabajo existente y permite convertir rápidamente diseños o imágenes 3D en videos.

Mediante el uso de este poderoso Software lo que se pretende es recrear un ambiente real dentro y fuera del agua, no solo mostrando el mar como una película de un tono azul claro, sino mostrando un escenario que parezca realmente agua y recree el sitio, con detalles como las olas hechas por el mar y profundidades reales como se aprecia en la figura 19.

Se permite darle vida a un diseño al agregar ambiente, iluminación, objetos, oleaje del mar y efectos convincentes, lo cual cataloga esta la aplicación no solo como una ayuda visual sino un modo de aprender e instruirse institucionalmente en esta rama de la Ingeniería de Petróleos.

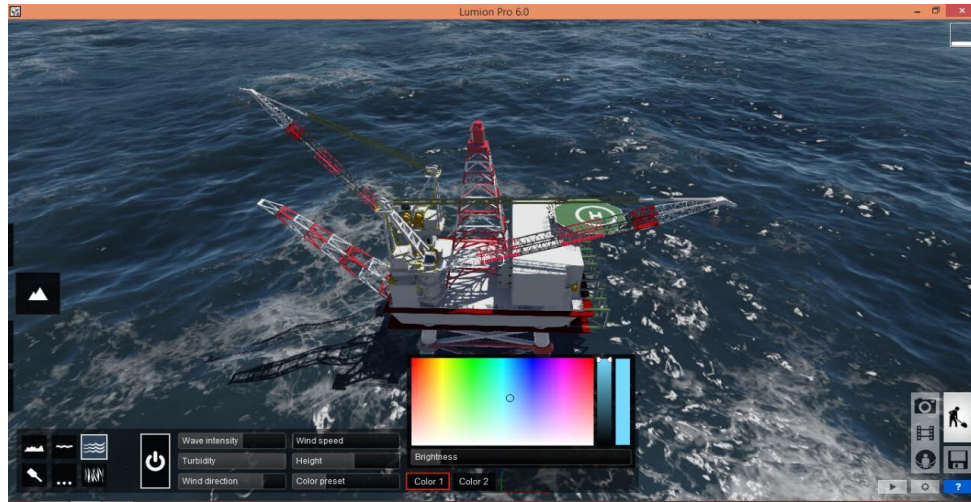


Figura 19. Detallado de ambiente marino en la perforación offshore con uso de Lumion.

Sombras suaves y detalladas: También se detallan sombreados para más realismo y se enfatiza en los colores reales del lecho marino tal cual se observa en la figura 20. la cual logra proveer imágenes con mayor penumbra, cientos de sombras detalladas que muestran una profundidad muy realista que penetra en la imagen.



Figura 20. Sombreado obtenido con detalles en el lecho marino.

6.1.4 Wix. Finalmente, para la ejecución y creación del aplicativo móvil se hizo uso de WiX, la cual es una plataforma que permite a los usuarios crear sitios web y sitios móviles de forma práctica y sencilla, como se observa en la figura 21. Se ubica el texto e imágenes o animaciones.

WiX permite el acceso desde un dispositivo móvil o desde un ordenador PC, tomando las animaciones, imágenes o videos que se crearon en los programas descritos anteriormente y organizarlas a modo de mostrar una aplicación de perforación Offshore mediante uso de imágenes manipulables, videos, y textos que describen de forma detallada y precisa lo que se observa en cada imagen o animación.

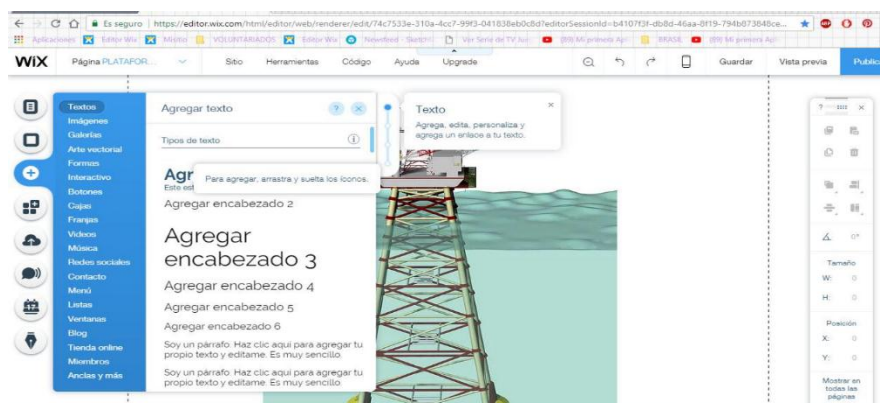


Figura 21. Creación de la aplicación móvil con el uso de la plataforma WiX.

6.2 Características y usos del aplicativo móvil

Es indispensable resaltar la importancia del aplicativo mediante las siguientes características y usos.

- Fácil acceso, al ser un proyecto institucional educativo lo que se pretende lograr es que todo el personal interesado pueda obtener de forma gratuita esta app. De tal modo enriquecer el uso de herramientas tecnológicas en todas las instituciones que carecen de información acerca de la perforación Offshore.
- Es interactiva, es bien sabido que existen textos que describen procesos amplios de la Ingeniería de Petróleos, pero la mayoría de las veces no se logra generar una idea clara

de ciertos procesos, ya que no se tiene una guía visual; mediante el uso de “offshor3d” se podrá observar e interactuar con imágenes 3D y hacerse una idea detallada de cada plataforma marítima, de los equipos usados y de cómo se lleva a cabo la perforación Offshore en campo petrolero.

- Al no ser solo una aplicación interactiva sino principalmente educativa, se buscó el modo de medir el conocimiento obtenido al final de revisar toda la aplicación; esto mediante un cuestionario también incorporado dentro de la aplicación, que va a proveer al usuario mediante una serie de preguntas, evaluando su aprendizaje en la perforación offshore, de este modo se pretende enfatizar en el aprendizaje de todo aquel personal interesado y el entendimiento de esta rama de la perforación petrolera.

6.3 Manejo del aplicativo

Aquí se encontrará una breve descripción del instructivo general, el cual va a proveer información del modo de usar la aplicación y lo que hay en ella. Para tener acceso a la aplicación web se debe ingresar a <https://offshor3d.wixsite.com/misitio>.

Menú: Se identifica el menú donde se encontrará el contenido de la aplicación. Se encuentra en la parte superior derecha encerrado en un cuadro rojo, tal cual se observa en la Figura 22.

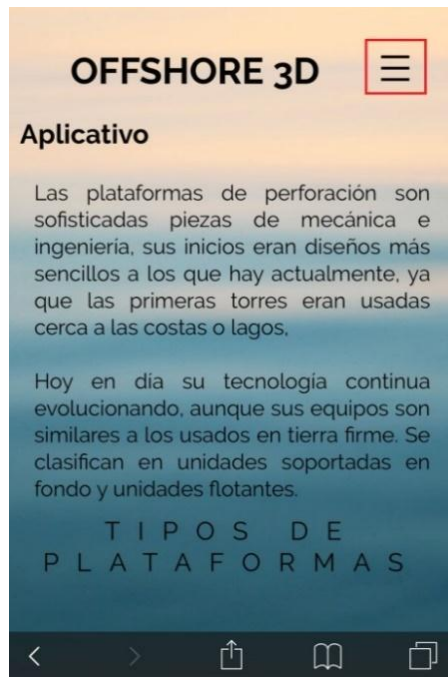


Figura 22. Identificación del Menú de la aplicación.

Dentro del menú se puede identificar el contenido de la aplicación, donde se hallará mediante un listado la información necesaria para entender el proceso de perforación en mar. Se divide en cinco pestañas, tal cual se observa en la Figura 23.



Figura 23. Pestañas del menú

Lo que se encuentra en cada pestaña es descrito a continuación:

Primera pestaña, da acceso a información sobre las Cuencas Colombianas y su localización en el territorio Colombiano. Al presionar sobre el título CUENCAS, se abrirá una ventana con la descripción dicha anteriormente. (Esto para cada uno de los títulos del menú).

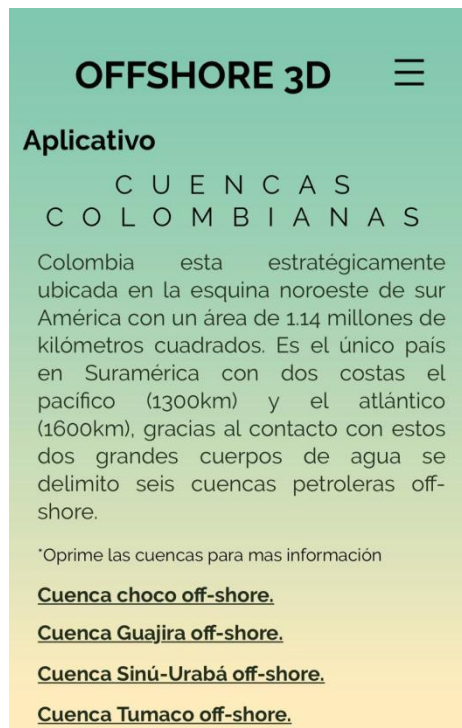


Figura 24. Ventana abierta después de presionar el título del menú.

Segunda pestaña, se encontrarán dos videos, los cuales ilustran el modo como se perfora en el mar. Para entrar en materia y entender de manera general el proceso de perforación.

La tercera pestaña, clasifica y describe los tipos de plataformas de perforación marítimas que se encuentran en la industria petrolera, es preciso recalcar que tanto ésta pestaña y la número cuatro tienen un signo + a la izquierda como lo muestra la figura 25. El cual al seleccionarlo muestra en un sub-menú la clasificación de cada pestaña.



Figura 25. Subdivisión en la pestaña plataformas.

Dentro de este submenú, se desglosa la clasificación ya sea de las plataformas o equipos de perforación. En la ventana abierta se encontrará una descripción de cada figura y también se encontrará el modelo 3D, la cual se abre presionando dos veces sobre ella. Ya abierta ésta, el usuario podrá interactuar con la imagen moviéndola, acercándola, alejándola, etc., como se observa a continuación (este proceso es igual para todas las imágenes 3D):

*Se hizo el ejemplo seleccionando la plataforma Tipo TLP.

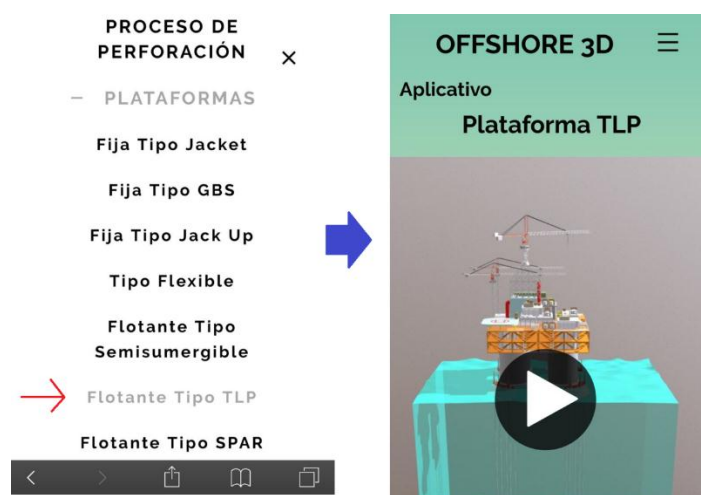


Figura 26. Acceso al modelo 3D

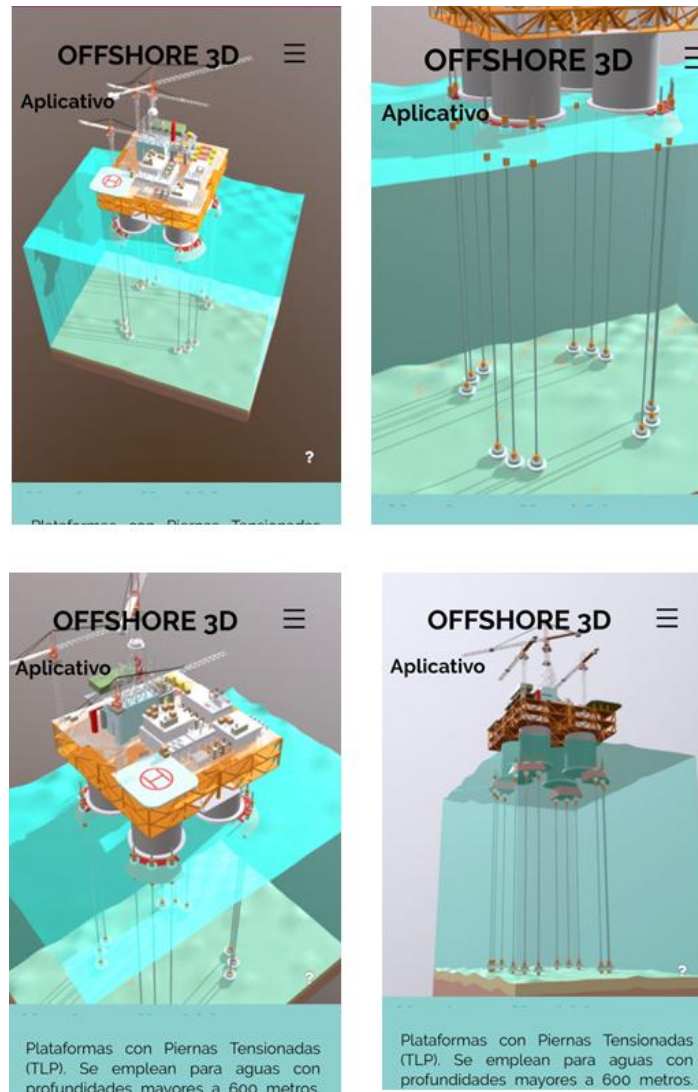


Figura 27. Interacción con el modelo

Finalmente, La pestaña número cuatro muestra los equipos de perforación y su funcionamiento y en la última pestaña la aplicación incorpora un cuestionario con sus respectivas respuestas y un enlace que va a llevar a una aplicación informativa, esto con el fin de afianzar y complementar toda la información de perforación offshore encontrada en “Offshor3d”.

6.4 Proyecto pionero para enseñanza de perforación offshore en universidades

Como es bien sabido, Colombia ha incorporado nuevas tecnologías y grandes inversiones en la perforación offshore, el consumo diario de hidrocarburos y el agotamiento de las reservas petroleras ha obligado a perforar en zonas remotas como mar abierto.

La exploración costa afuera es una actividad de alto riesgo y costo, pero con mucho mayor potencial de producción que las onshore, por tal modo, se espera que la gran cantidad de reservas próximas y futuras en Colombia estén en el mar. Es por esto que este proyecto resulta pionero para la postulación de nuevas materias incorporadas en el pensum de las universidades que tienen carreras acordes a la industria petrolera. Ya que las instituciones educativas carecen de bibliografía y personal que enseñe esta rama de perforación.

Por tal razón, otro fin de esta aplicación es generar un valor agregado para futuras materias abiertas en universidades colombianas y del mundo, que sirva como fuente de apoyo didáctico y de enseñanza.

7. Resultados

Al desarrollar este proyecto se consiguió entender el modo de cómo se da el proceso de perforación en aguas profundas, también, se logra identificar que esta rama de la perforación de hidrocarburos a pesar de ser un proceso de alto costo y riesgo tiene mucho potencial de exploración y producción, no solamente en Colombia sino en varios países del mundo.

Por otro lado, se hizo investigación en proyectos de perforación offshore en otros países que logran servir de base para aplicarse en Colombia, ya que en nuestro país aún existe mucha carencia de tecnologías avanzadas ya implementadas en otras partes del mundo. La viabilidad

de estos proyectos está ligada a la disponibilidad de las unidades perforadoras y es necesario una mayor capacitación de nuestros ingenieros en la industria offshore.

Finalmente, se creó una aplicación para dispositivos móviles, la cual tiene como base fundamental instruir al usuario interesado en cómo se da este proceso de perforación offshore, los equipos usados y los tipos de plataformas marítimas con las que se puede llevar a cabo la perforación en costa afuera.

8. Recomendaciones

El proyecto solo trató uno de los procesos que se encuentran en la ingeniería de petróleos, por tal razón, esta tesis queda abierta para futuros trabajos de grado que quieran enfatizar y complementar otro proceso que abarque la industria petrolera.

Es necesario dar inicio a la capacitación de los profesionales desde las instituciones de educación superior, mediante el uso de las nuevas tecnologías para así lograr un mayor desarrollo en nuestra industria Offshore. Logrando así una evolución que permita generar nuevos proyectos dentro de esta; la cual ha sido poco explotada y que según los cálculos y estudios tiene mucho potencial de extracción y producción de hidrocarburos a futuro.

Convertir la aplicación móvil en herramienta didáctica dentro del plan de estudios del curso de perforación de pozos de la escuela de ingeniería de petróleos de la Universidad Industrial de Santander.

9. Conclusiones

Actualmente Colombia cuenta con solo seis años de reservas recuperables, por tal motivo es fundamental apostarle al Offshore, pero sin descuidar la explotación Onshore, debido a que estos proyectos en costa afuera abren el espacio para la llegada de nuevas inversiones y abre al país a una nueva perspectiva en materia de petróleo y gas. Por tal razón, la explotación Offshore en Colombia requiere de nuevas tecnologías y recursos de alta calidad, lo que va asociado a costos mayores en inversión y costos de operación, pero que favorecen al crecimiento económico y tecnológico de la industria petrolera colombiana.

Al identificar y analizar los proyectos de perforación deepwater en otros países, se puede decir que Colombia es capaz de adaptar muchas de las tecnologías más avanzadas usadas internacionalmente, puesto que las costas Colombianas cuentan con características litológicas y estratigráficas parecidas a las de países donde se está extrayendo hidrocarburos en aguas profundas.

La implementación de un aplicativo móvil da pie para que se empiece a tomar conciencia en instituciones educativas de que existe otra rama de la perforación (Offshore), quizá con mayor potencial de extracción a la que comúnmente se conoce como Onshore, en la cual no se ha hecho énfasis en abrir materias en ninguna de las universidades colombianas y que es de vital importancia para el desarrollo de la industria petrolera colombiana a futuro.

Bibliografía

- [Anonimo]. (2018). Especial offshore Colombia, la búsqueda de petróleo en los mares está en auge: recuperado de https://www.dimar.mil.co/sites/default/files/attach/10_especial_offshore_colombia.pdf
- [Anonimo]. (2018). Estructuras offshore sometidas a la acción del oleaje: recuperado de: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4791/fichero/2.Estructuras+Offshore.pdf>
- [Anonimo]. (2018). Repsol realiza un gran descubrimiento de petróleo en la Cuenca de Campos, *Repsol*. Recuperado de <https://www.repsol.com/es/sala-prensa/notas-prensa/2012/02/27/gran-descubrimiento-petroleo-en-la-cuenca-de-campos.cshtml>
- Aberrón. (2007). Titanes del mar, Fogonazos. Recuperado de http://www.fogonazos.es/2007/02/titanes-del-mar_08.html
- Baker, R. (1998). A primer of offshore operations, Houston, United States: Petroleum extension service.
- Barbero, J. M. (2014). *Dimensionamiento de una plataforma semi-sumergible para perforacion offshore* (tesis de pregrado). Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, Colombia.
- Bravo, I. A. (2009). *Manejo del riser de perforación* (tesis de pregrado). Instituto Politécnico Nacional, México D.F, México.
- Caballero, J (2014). *Ingeniería costa afuera orientada al diseño estructural de una plataforma marina fija tipo jacket, para tirantes de aguas someras, instalada en el golfo de México* (tesis de pregrado). Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F, México.
- Crawford, J. (1998). Offshore installation practice, Cambridge, UK: Butterworths.
- Deus, O (2018). Etapas operatorias offshore: recuperado de www.nuestromar.org/adobe/Etapas_Operatorias_Offshore_Deus.pdf

- Fundación Nuestromar. (2012). Cantidad de proyectos petroleros demandantes de sistemas flotantes de producción alcanza su máximo histórico, NUESTROMAR. Recuperado de <http://www.nuestromar.org/noticias/16-08-12/cantidad-proyectos-petroleros-demandantes-sistemas-flotantes-produccion-alcanza-su-maximo-historico>
- Gerwick, B. C. (1986). *Construction of offshore structures*, Berkeley, United States: John Wiley & sons.
- Gil, P. (2015). *Plataformas petrolíferas y procesos para la extracción del petróleo* (tesis de pregrado). Universidad de la Laguna, San cristobal de la laguna, España.
- Habo. (2015). CP-375 Jack-up Rig, Shanghai Habo offshore engineering CO, LTD. Recuperado de <http://www.habochina.com/span/productshow.php?cid=29&id=21>.
- Hernández, D. & García, V. (2013). *Fundamentos y operaciones de la industria petrolera en aguas profundas* (tesis de pregrado). Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F, México.
- Holmanguer, M. (Ed). (2010). *OffshoreBook an introduction to the offshore industry*: Offshore Center Danmark.
- Lopez, A. (2018). Molusco, el pozo ‘offshore’ con sello de Ecopetrol, *Portafolio*. Recuperado de www.portafolio.co/negocios/empresas/molusco-el-pozo-offshore-de-ecopetrol-503235
- M&G. (2018). Buques para la perforación exploratoria y de producción costa afuera, M&G Mar&Gerencia. Recuperado de <https://marygerencia.com/2010/05/13/buques-para-la-perforacion-exploratoria-y-de-produccion-costa-afuera/>
- Pacheco, H. (2018). Perspectivas: Actualidad de la industria ‘offshore’ en América Latina, *Observatorio Petrolero sur*. Recuperado de

<https://opsur.wordpress.com/2009/08/23/perspectivas-actualidad-de-la-industria-‘offshore’-en-america-latina/>

Paixao P. (2015) Tipos de plataformas offshore Parte 3- Plataformas mistas, Petróleo e construção naval. Recuperado de <http://petrogasenaval.blogspot.com/2015/07/tipos-de-plataformas-offshore-parte-3.html>

Redacción el Tiempo. (2018). Ecopetrol reveló hallazgo petrolero en el golfo de México, *El Tiempo*. Recuperado de www.eltiempo.com/economia/sectores/hallazgo-petrolero-de-ecopetrol-en-el-golfo-de-mexico-31949

Redacción Noticanarias. (2016). Plataforma petrolífera Scarabeo 9 estrena instalaciones de Astican en el Reina Sofía Sur, Noticanarias Periódico online. Recuperado de <https://www.noticanarias.com/2016/10/02/plataforma-petrolifera-scarabeo-9-estrena-instalaciones-astican-reina-sofia-sur/>

Revista de ingeniería naval. (2012). Las plataforma petrolíferas que operan a mayores profundidades, Revista del sector marítimo Ingeniería Naval. Recuperado de <https://sectormaritimo.es/las-plataformas-petroliferas-que-operan-a-mayores-profundidades>

Ricardez, K. (2014) Aguas profundas del territorio mexicano. Recuperado de <http://7profunmexaguasexpl.blogspot.com/>

Sauer. (2017). Compensación de la mar de fondo en plataformas semisumergibles, Sauer Compressors. Recuperado de <http://www.sauercompressors.com/es/gas-y-petroleo/compensacion-de-la-mar-de-fondo-en-plataformas-semisumergibles/>

Sputnik. (2016). Rusia desarrolla reactores autónomos sumergibles para el Ártico, Sputnik News. Recuperado de <https://sptnkne.ws/cmDj>

Zullian C. (2013). Generalidades de perforación Sistemas de perforación rotaria, Manejo de petróleo y gas en superficie. Recuperado de

<http://manejodepetroleoygas.blogspot.com/2013/12/generalidades-de-perforacion.html>.