

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

PERFORACIÓN COSTA AFUERA: ESTADO DEL ARTE

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Bachiller: Betancourt A., Gonzalo E.
Para optar al Título de
Ingeniero de Petróleo

Caracas, 04 de Diciembre del 2007

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

PERFORACIÓN COSTA AFUERA: ESTADO DEL ARTE

TUTOR ACADÉMICO: Profa. Lisbeth Miranda

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Bachiller: Betancourt A., Gonzalo E.
Para optar al Título de
Ingeniero de Petróleo

Caracas, 04 de Diciembre del 2007

Caracas, 04 de Diciembre del 2007

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería de Petróleo, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el bachiller Betancourt A., Gonzalo E. titulado:

“PERFORACIÓN COSTA AFUERA: ESTADO DEL ARTE”

Considerando que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudio conducente al Título de Ingeniero de Petróleo, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.

Prof. Pedro Martorano
(Jurado)

Profa. Jenny Graterol
(Jurado)

Profa. Lisbeth Miranda
(Tutor Académico)

DEDICATORIA

Este Trabajo Especial de Grado se lo dedico especialmente a mi Dios, por permitirme disfrutar de su compañía en todo momento dándome la fuerza para lograr siempre todo lo que me propongo.

A mi madre y a mi padre por estar siempre a mí lado, por darme siempre su amor sincero e incondicional sin importar nunca lo que pase; por confiar en mí y preocuparse por mí, no tengo con que pagarles todo lo que han logrado en mí; los amo muchísimo . A mis tres hermanas que las quiero y las adoro hasta el infinito, a pesar de que a veces sea su tormento y fastidio dentro de la rutina de cada una de ellas.

A mis abuelos, que un momento de mi vida colocaron su granito de arena dentro de mi formación como persona; y en especial a mi abuelo Gonzalo figura que es ejemplo para mí y lo amo incondicionalmente, ¡te quiero mucho abuelo!

Al ser que pequeño en tamaño es inmensamente grande de corazón y sentimientos, mi novia; por tu apoyo, por tener infinita paciencia, por tu presencia, y brindarme amor y muchas cosas más.

Al tiempo y a mi mismo, por demostrarme que el saber esperar las cosas, no es sentarse a contar minutos si no; activar ideas y lograr la sinergia perfecta para que estas deslumbren un escenario de ideas brillantes.

Gonzalo Betancourt

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme la fortaleza para seguir a pesar de todo los obstáculos a lo largo de mi carrera, gracias por estar siempre allí sin abandonarme.

Agradezco a la Universidad Central de Venezuela, institución que colaboró con mi formación profesional; casa de estudio que me brindo albergue en sus aulas llenas de ideas, dudas e inquietudes; y que de la mano de su personal humano y el espíritu que se respira en ese recinto, fueron fuente de inspiración para seguir adelante rumbo a la meta final. “Gracias a la Universidad Central de Venezuela, y en especial a mi querida Escuela de Ingeniería de Petróleo”. A la Profesora Lisbeth Miranda, por la atención y ayuda prestada para la realización de este Trabajo Especial de Grado y a todo el cuerpo profesoral de la Escuela de Ingeniería de Petróleo de la U.C.V.

A mis padres por permitirme y apoyarme en ser quien soy, y labrar junto a mí; muchas de mis metas. Gracias a ustedes estoy aquí; que a pesar de muchas cosas me han sabido guiar y aconsejar sin que me de cuenta, los admiro, los respeto y son mis mejores amigo.

A mi novia y amiga Priscila “Muñi”, gracias por tenderme una mano y brindarme tu compañía cada vez que lo necesite. Por amor sincero; ¡te amo mucho! A mis hermanas, la “Dotora” quien ha estado a mi lado toda mi vida; “Mayi” que con sus acciones a veces nos equilibra a todos, y mi hermanita menor “La Mini”, con quien me siento muy comprometido; a las tres las quiero mucho.

A todos mis compañeros de estudio y amigos, cosechados durante la carrera; por brindarme parte de su tiempo durante esas largas noches y madrugadas de estudio y dedicación. ¡Lo logramos!

Gonzalo Betancourt

Betancourt Alvarado., Gonzalo E.

“PERFORACIÓN COSTA AFUERA: ESTADO DEL ARTE”

Tutores Académicos: Profa. Lisbeth Miranda. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería de Petróleo. Año 2007, 162 p.

Palabras Claves: Perforación Costa Afuera, Plataformas Marinas de Perforación, Pozos Costa Afuera, Sistemas Costa Afuera, Operaciones Costa Afuera.

Resumen: Por medio de la culminación de este Trabajo Especial de Grado, la Escuela de Ingeniería de Petróleo de la Universidad Central de Venezuela contara en su inventario de material didáctico para la formación profesional, con un manuscrito de carácter documental, el cual recoge, gran parte de las generalidades en la perforación de pozos de hidrocarburos ubicados costa afuera, presentado en idioma español. En este se desarrollan los aspectos más fundamentales de la perforación costa afuera, como: la definición perse de la operación de perforación de pozos petroleros ubicados en espacios acuáticos o marinos, factores ambientales y de la geomorfología submarina, seguimiento cronológico de las fases de una perforación estándar, definición técnica y clasificación de las diferentes unidades de perforación, descripción de cada una de estas instalaciones de perforación costa afuera, algunos avances y desarrollos tecnológicos en esta área de la industria petrolera, así como también los aspectos relacionados con la influencia del factor humano y la seguridad operacional durante las operaciones de perforación costa afuera y por ultimo, se presenta como complemento los aspectos fundamentales en la jurisprudencia de espacios acuáticos, con la cual se rigen las operaciones e instalaciones de perforación marina costa afuera en Venezuela; aunado a esto se tiene que la perforación en espacios acuáticos se concibe como un proyecto de gran envergadura operativa, en el cual se debe el control de todos los aspectos relacionados con la misma, siguiendo las normativas establecidas en los estándares operacionales de la industria de pozos costa afuera.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
RESUMEN.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	10
ÍNDICE DE FIGURAS.....	11
INTRODUCCIÓN.....	14
CAPÍTULO I, FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	17
I.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	17
I.2 OBJETIVOS.....	19
I.2.1 Objetivo general.....	19
I.2.2 Objetivos específicos.....	19
CAPÍTULO II, METODOLOGÍA.....	20
II.1 DEFINICION DE LA INVESTIGACIÓN.....	20
II.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	21
II.3 DESCRIPCIÓN DE LAS FASES DE LA INVESTIGACIÓN.....	22
II.3.1 Fase i, selección de tópicos y esquematización de la investigación....	22
II.3.2 Fase ii, búsqueda y recopilación de material documental.....	23
II.3.3 Fase iii, selección y clasificación del material documental recopilado	25
II.3.4 Fase iv, análisis y discusión del material documental recopilado.....	26
II.3.5 Fase v, elaboración y redacción del informe final de trabajo especial de grado.....	26
CAPÍTULO III, RESULTADOS.....	27
III.1 ESTADO DEL ARTE.....	27
III.1.1 Fase heurística.....	28
III.1.2 Fase hermenéutica.....	28
III.2 PERFORACIÓN DE POZOS COSTA AFUERA.....	30
III.2.1 Medio ambiente marino costa afuera.....	34
III.2.2 Profundidad marina y parámetros geológicos.....	36

III.3 PERFORACIÓN COSTA AFUERA	42
III.3.1 Unidades/plataformas de perforación costa afuera	45
III.3.2 Clasificación de las unidades/plataformas de perforación costa afuera, de acuerdo a movilidad operativa	50
III.3.2.1 Unidades de perforación fijas.....	51
III.3.2.2 Unidades de perforación móviles.....	52
III.3.3 Clasificación de las unidades/plataformas de perforación costa afuera, de acuerdo a rango de profundidad operativa	54
III.3.4 Clasificación de las unidades/plataformas de perforación costa afuera, de acuerdo a rango de independencia operativa.....	56
III.4 DESCRIPCIÓN DE UNIDADES / PLATAFORMAS DE PERFORACIÓN COSTA AFUERA	58
III.4.1 Barcasas o gabarras de perforación.....	58
III.4.2 Unidad de perforación sumergible	61
III.4.3 Plataforma fija o fixed jacket	64
III.4.4 Estructuras de concreto o concrete gravity based structure (GBS)....	65
III.4.5 Plataforma de base flexible o compliant tower platform (CPT)	68
III.4.6 Plataformas semi-fijas o jack-up.....	71
III.4.7 Unidad de perforación semi-sumergible	80
III.4.8 Plataforma de base tensionada o tension leg platform (TLP)	87
III.4.9 Barcos perforadores o drillship.....	91
III.5 SECUENCIA OPERACIONAL ESTÁNDAR, PERFORACIÓN COSTA AFUERA	98
III.5.1 Preparación de la localización o área de perforación.....	99
III.5.2 Movilización del taladro y anclaje de la unidad instalaciones.....	100
III.5.3 Preparación del equipo de perforación, aparejo y demás sistemas ..	101
III.5.4 Corrida y colocación temporal de base guía de perforación (TGB) 102	
III.5.5 Bajar herramienta de perforación, apertura de hoyo de 36” hasta 160’ (BSB)	103
III.5.6 Corrida de revestidor estructural de 30”, guía base permanente y cementación de revestidor estructural de 30”	105
III.5.7 Bajar herramienta de perforación, perforación de hoyo de 26” hasta 1500’ TVD	107
III.5.8 Corrida y cementación de revestidor de 20”, bajado y colocación de cabezal de pozo 18 ¾”	108
III.5.9 Corrida y colocación de válvula impide reventones (BOP) 18 ¾” ..	110
III.5.10 Bajar herramienta de perforación, perforación de hoyo de 17 ½” hasta 7003’ TVD	112
III.5.11 Corrida y cementación de revestidor de 13 ¾”	114

III.5.12 Bajar herramienta de perforación, perforación de hoyo de 12 ¼” y corrida de revestidor de 9 5/8”	116
III.5.13 Desplazamiento de fluidos de perforación base aceite y restos de fluidos de cementación.....	116
III.5.14 Bajar herramienta de perforación, perforación de hoyo de producción de 8 ½” hasta la profundidad total	116
III.5.15 Corrida y cementación de liner de producción de 7”	117
III.6 NUEVAS PROPUESTAS TECNOLOGICAS EN PERFORACION COSTA AFUERA ..	118
III.6.1 Riser o tubo vertical marino.....	118
III.6.2 Sistema impide reventones submarino o bop submarino.....	120
III.6.3 Sistema de vehiculo operado a control remoto (rov), en el fondo marino	122
III.7 PERSONAL DE OPERACIONES DE PERFORACION COSTA AFUERA (OFF-SHORE), ENTRENAMIENTO OPERATIVO DEL PERSONAL	125
III.7.1 Personal de operaciones costa afuera.....	125
III.7.2 Adiestramiento del personal y aspectos de seguridad operacional en operaciones de perforación costa afuera	131
III.7.3 Programa de seguridad para operaciones de perforación costa afuera	137
III.8 REGULACION Y ASPECTOS LEGALES DE LAS PLATAFORMAS MARINAS COSTA AFUERA	140
III.8.1 Regulacion internacional de las plataformas marinas costa afuera..	140
III.8.2 Naturaleza juridica de las plataformas costa afuera en Venezuela ..	142
III.8.3 Inscripcion de las instalaciones y plataformas marinas en el registro naval venezolano (REVAVE)	145
III.8.4 Proceso de certificacion y documentacion, en el estado venezolano	146
III.8.5 Cumplimiento de la normativa ambiental	147
CONCLUSIONES	149
RECOMENDACIONES	152
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	154
BIBLIOGRAFIA	158

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla III.1 Fuerzas Hidrodinámicas del medio ambiente marino; de dos zonas de alto impacto en las operaciones de perforación costa afuera con condiciones diferentes.....	36
Tabla III.2 Clasificación de las estructuras o plataformas de perforación costa afuera.....	50
Tabla III.3 Clasificación de las unidades de perforación costa afuera, según su rango de profundidad operativa.....	55
Tabla III.4 Plataformas de perforación costa afuera, según su rango de independencia operativa.....	58
Tabla III.5 Características técnicas de una unidad <i>Jack-Up</i> , con capacidad de manejar una profundidad operativa de 100 m. (328 pies).....	79
Tabla III.6 Características técnicas de una plataforma semi-sumergible, de configuración de 6 columnas de soporte).....	86
Tabla III.7 Características técnicas de una plataforma TLP, de configuración de 6 columnas de soporte o cuerpos tubulares flotante).....	91
Tabla III.8 Características técnicas de un barco de perforación.....	98
Tabla III.9 Secuencia y cronograma de desarrollo y planificación de un pozo costa afuera.....	100

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura II.1 Esquema metodológico, empleado para el desarrollo de la investigación.....	22
Figura II.2 Esquema de la FASE I, Selección de tópicos y esquematización de la investigación.....	24
Figura II.3 Esquema FASE II, Búsqueda y recopilación de material documental de la investigación.....	25
Figura II.4 Esquema FASE III, Selección y Clasificación de material documental de la investigación.....	27
Figura III.1 Ubicación de los principales campos de hidrocarburos localizados en aguas costa afuera y en aguas profundas.....	32
Figura III.2 Campos petroleros situados en aguas costa afuera profundas, agrupados por región y en función del tiempo.....	33
Figura III.3 Fuerzas hidrodinámicas sobre estructuras costa afuera.....	36
Figura III.4 Ambientes sedimentarios marinos.....	37
Figura III.5 Rangos de profundidad operativas de perforación de pozos localizados en zonas costa afuera y aguas profundas.....	39
Figura III.6 Levantamiento sísmico exploratorio en medio costa afuera.....	45
Figura III.7 Gabarra de perforación.....	47
Figura III.8 Plataforma de perforación de pozos costa afuera.....	47
Figura III.9 Plataforma de perforación costa afuera.....	49
Figura III.10 Unidad de perforación costa afuera en aguas lacustres, gabarra de perforación.....	60
Figura III.11 Unidad de perforación sumergible costa afuera.....	63
Figura III.12 Plataforma fija costa afuera.....	65
Figura III.13 Configuración de la colmena de tanques de almacenamiento en un <i>GBS</i>	67
Figura III.14 Plataforma fija de concreto o <i>Concrete Gravity Based Structure (GBS)</i>	67

Figura III.15 Configuración de la plataforma de base flexible o <i>Compliant Tower Platform (CPT)</i>	70
Figura III.16 Plataforma semi-fija o <i>Jack-Up</i>	72
Figura III.17 Plataforma semi-fija o <i>Jack-Up</i> , unidades de desarrollo de operaciones.....	73
Figura III.18 Sección superior, Plataforma semi-fija o <i>Jack-Up</i>	74
Figura III.19 Sección inferior, Plataforma <i>Jack-Up</i>	75
Figura III.20 Engranajes hidráulicos de las piernas de soporte de las plataformas <i>Jack-Up</i>	76
Figura III.21 Mecanismos hidráulicos de configuración triangular, en plataforma <i>Jack-Up</i>	76
Figura III.22 Mecanismos hidráulicos de configuración cilíndrica, en plataforma <i>Jack-Up</i>	77
Figura III.23 Unidad de perforación costa afuera semi-sumergible.....	81
Figura III.24 Corte lateral de disposición general de equipos en unidad semi-sumergible.....	82
Figura III.25 Planta de plataforma operacional superior y equipos en unidad semi-sumergible.....	83
Figura III.26 Planta de plataforma operacional inferior de equipos en unidad semi-sumergible.....	84
Figura III.27 Plataforma de base tensionada o <i>TLP</i>	89
Figura III.28 Imagen de Barco perforador, durante operación de perforación de pozo costa afuera.....	93
Figura III.29 Barco perforador, y división de sus diferentes niveles.....	93
Figura III.30 Cubierta o plataforma de operaciones principal, vista de planta de barco perforador.....	94
Figura III.31 Instalaciones ubicadas en el segundo plano de la cubierta en un barco perforador.....	95
Figura III.32 Secciones destinadas a tanques y áreas de almacenamiento ubicadas en el nivel inferior del barco perforador.....	95

Figura III.33 Guía base temporal de perforación (TBG), de configuración octogonal.....	104
Figura III.34 Perforación de hoyo inicial 36”.....	105
Figura III.35 Corrida revestidor estructural de 30”.....	107
Figura III.36 Perforación hoyo 26”.....	109
Figura III.37 Corrida de revestidor de 20”.....	110
Figura III.38 Corrida de válvula impide reventones (BOP) de 18 ¾”, hacia el cabezal el pozo.....	111
Figura III.39 Posicionamiento de válvula impide reventones (BOP) de 18 ¾”.....	112
Figura III.40 Equipos y herramientas empleadas para la desviación correspondiente en el KOP, antes de perforar el hoyo de 17 ½”.....	114
Figura III.41 Registros de Caliper, determinación del diámetro interno del pozo.....	115
Figura III.42 Equipos de registro y monitoreo del Caliper interno del pozo.....	116
Figura III.43 Configuración del impide reventones submarino o BOP submarino.....	122
Figura III.44 Vehículo operado a control remoto o ROV.....	124
Figura III.45 Organigrama de los staff operativos en una unidad de perforación costa afuera.....	129
Figura III.46 Sistemas de evacuación existentes en plataformas petroleras costa afuera.....	138

INTRODUCCIÓN

El petróleo es la fuente de energía más importante de la sociedad actual, por lo que es la más utilizada, ya que cubre alrededor del 70% del consumo mundial. El perfil de producción futuro que se estima de la industria petrolera, entorno a los niveles de consumo de energía a nivel mundial, es totalmente dominado por las cuotas de producción acelerada que fijen los países productores y a su vez los países consumidores. En consecuencia, se requiere incrementar las reservas, ya sea mediante el mejoramiento de las técnicas de recuperación en los campos existentes y/o con el descubrimiento de nuevos yacimientos ubicados en tierra firme, como ha venido ocurriendo en esta última década, donde el desarrollo de la industria petrolera ha realizado mayor énfasis en las actividades costa afuera (*off-shore*).

Para lograr este fin, se hace necesario que el sector industrial petrolero y en especial las compañías dedicadas a la perforación de pozos y su subsiguiente explotación, establezcan procesos continuos de exploración y producción de nuevos yacimientos de hidrocarburos que permitan revalorizar o maximizar el valor económico a largo plazo de las reservas de hidrocarburos existentes en las distintas cuencas sedimentarias que se encuentran en el subsuelo; ya sean en tierra firme como en los yacimientos de ambientes marinos costa afuera, a sus vez garantizando la seguridad de las instalaciones existentes y del personal que las operan.

A través del desarrollo de las operaciones de perforación de pozos localizados en yacimientos costa afuera, se han tenido aciertos y desaciertos; los cuales en muchos casos han sido el resultado de llevar a cabo múltiples operaciones, las cuales posteriormente se analizan, discuten y se evalúan las técnicas aplicadas, lo cual permitirá la generación de información que sirva de respaldo a futuros estudios y desarrollo de nuevas e ingeniosas aplicaciones en las operaciones implicadas en el sector. Manteniendo este mismo orden de ideas y en especial en el área de operaciones de perforación costa afuera, dentro del sector petrolero; en

la cual los niveles de incertidumbres y riesgos son mayores, es necesario el desarrollo de nuevas tecnologías que permitan la optimización de los procesos; en especial, el área antes mencionada (perforación costa afuera), el cual es el interés de ésta investigación.

La disposición demostrada para el desarrollo y presentación de este trabajo de investigación documental, permitirá desarrollar una serie de tópicos relacionados con la perforación costa afuera (*off-shore*), los cuales permiten asentar los planteamientos principales que se han considerado en el proceso de selección, búsqueda y recopilación de información documental, y cumpliendo así con cada uno de los objetivos planteados en la investigación.

En el Capítulo I, se contempla el planteamiento del problema que consiste en establecer el por qué y para que se efectúa el trabajo de investigación y documentación, finalizando este con una interrogante de investigación; igualmente contempla la justificación del problema que lleva a la importancia del presente estudio; el objetivo general que es el tema a desarrollar con sus correspondientes objetivos específicos que contemplan las metas a efectuar delimitándonos en un tiempo y lugar específico.

En el Capítulo II nos presenta la metodología a aplicar referente al proceso de investigación y documentación con un nivel de estudio explicativo que conlleva técnicas bibliográficas, revisión de documentación técnica, entrevistas, internet, fichaje y demás procedimientos a seguir

El Capítulo III, presenta un desarrollo de planteamientos y tópicos que generalicen la descripción de la operación de perforación en ambientes marinos costa afuera; tratando tópicos como: la definición y descripción de la operación de perforación costa afuera, identificación de estructuras e instalaciones empleadas en el desarrollo de la operación de perforación costa afuera, identificación y descripción de nuevas tecnologías y desarrollos empleados en la ingeniería de perforación costa afuera, evaluación de variables del tipo

operacional y de factor humano en el desarrollo de las actividades de perforación costa afuera; así como también un sondeo e interpretación del tipo jurídica y regulatoria (en Venezuela) que domina este tipo de operaciones de perforación en ambientes marinos costa afuera.

La culminación de este trabajo de documentación, permitirá establecer una serie de conclusiones directas y recomendaciones para el desarrollo de trabajos relacionados con la perforación de pozos costa afuera; con lo que se destaca la intención de realizar un trabajo bibliográfico que permita a la población estudiantil o interesada en el tema, la obtención de un material de fácil entendimiento y viable acceso.

CAPÍTULO I

FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

En este capítulo se presentan los argumentos que sirven de premisa para el desarrollo de este Trabajo Especial de Grado, en la cual se contempla la problemática de la situación estudiada y como ésta se aborda, con la finalidad de suministrar la solución de la misma; de igual manera se exponen los objetivos que se aspiran cumplir.

I.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Como en el estudio de toda materia, el tiempo es un factor fundamental y en muchos casos se convierte en un factor determinante, para la asimilación de los contenidos de la misma. Frecuentemente, surgen dudas sobre temas que, aunque resulten ser simples, requieren de largas exposiciones, las cuales son objetos muchas veces de controversias entre los diferentes autores que presenten la información y a su vez, de la persona que desarrolla el proceso de dicha interpretación. Tradicionalmente siempre ha sido un problema en las distintas áreas de estudios que abarca la ingeniería, la carencia de algún tipo de material bibliográfico que le permita al estudiante o persona interesada en algún tópico el desarrollo del mismo. En el seno de la Escuela de Ingeniería de Petróleo de la U.C.V., se hace un hecho particular y con mayores agravantes por tratarse de un entidad de alto grado de especialización.

En la actualidad en la Escuela de Ingeniería de Petróleo de la Universidad Central de Venezuela, la cantidad de ejemplares bibliográficos de referencia y documentales que hacen referencia a la “Ingeniería de Perforación Costa Afuera” es muy escasa o literalmente no existe; los principales factores que se valoran como causantes de este problema y escenario dentro de la institución, es el alto costo de las literaturas y textos especializados en la materia y la existencia de pocas referencias bibliográficas referentes al tema en el idioma español. Esta

situación fue planteada con anterioridad en diferentes cátedras de dicha escuela, en las cátedras de Ingeniería de Producción I, Ingeniería de Producción II y la cátedra de Pozos II; por los Ingenieros Francisco Cestari, Raiza García, Félix Vera, Frank Simanca, Daniel Paz y Juan Guerra; ellos consideraron que las herramientas bibliográficas o libros de textos técnicos, de apoyo para esas cátedras eran escasas o no existían.

El enfoque que sustenta nuestro interés en la elaboración de este manual teórico, que describe el “Estado del Arte de la Perforación Costa Afuera”, parte de la perspectiva de que dicho problema se considera multidimensional considerando que la magnitud de esta situación incide negativamente en el desarrollo y rendimiento académico de los estudiantes de dicha escuela, y en el nivel de enseñanza/aprendizaje de las misma.

Debido a lo anteriormente expuesto y a la carencia dentro del seno de la Escuela de Ingeniería de Petróleo de la Universidad Central de Venezuela, de una fuente de información que recoja de manera completa y detallada los aspectos referentes a la ingeniería de perforación costa afuera, que permita al estudiantado la obtención de un material bibliográfico o de referencia adecuado para la optimización del tiempo en la indagación y estudio del tema; se plantea la necesidad de realizar un estudio del estado del arte que cubra y desarrolle los objetivos específicos planteados en este trabajo.

La importancia de este Trabajo Especial de Grado radica en que a través de éste, se comenzará a llenar el vacío existente en esta materia, y servir de base para futuros trabajos de investigación bajo condiciones similares, además de contribuir con desarrollo del tema de la perforación costa afuera, como materia dentro del pensum académico formando parte así de la formación del estudiante de nuestra institución. Para el cual se plantea realizar un estudio del arte, acerca de las tecnologías clásicas y de avanzadas aplicadas al proceso de la perforación de pozos productores de hidrocarburos, que se encuentran situados geográficamente en ambientes marinos; basado en la búsqueda, recopilación, revisión de

información referente al proceso de la perforación costa afuera y de sus técnicas y tecnologías de avanzadas; y su posterior descripción y evaluación de aplicabilidad.

I.2 OBJETIVOS

A continuación se presentan los objetivos que se pretenden cumplir para dar respuesta a la problemática antes planteada.

I.2.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar un estudio del arte de las técnicas y tecnologías de avanzada aplicadas a la perforación y construcción de pozos de hidrocarburos en el área costa afuera.

I.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Describir la influencia de parámetros geológicos y ambientales en la perforación costa afuera.
2. Clasificar las principales instalaciones y equipos de perforación costa afuera; según los criterios de selección de la unidad de perforación.
3. Indagar nuevas propuestas tecnológicas aplicadas a operaciones de perforación costa afuera.
4. Describir las operaciones típicas de apoyo logístico en actividades de perforación costa afuera.
5. Determinar aspectos generales, como; personal de operaciones, entrenamiento de personal, seguridad operacional, fiabilidad y error humano en operaciones de perforación costa afuera.
6. Indagar sobre legislación y regulaciones inherentes al sector petrolero en perforación costa afuera en Venezuela.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

Plantear el desarrollo de cualquier tema de investigación, parte de la presencia de una necesidad de información adicional, o generación de información que no existe en el medio documental.

En consecuencia a esto expuesto anteriormente; se puede definir la necesidad de información como: “El posible reconocimiento de una carencia o la aceptación de un estado irregular del conocimiento” ^[2], ya sea por parte del usuario final de ese conocimiento o por otros medios actuantes en la generación de información.

La ejecución de cualquier proyecto de investigación, requiere del cumplimiento de un estudio documental previo o estudio del arte; que permita el desglose y desarrollo de toda la investigación del área que se esta investigando. Para establecer el alcance de este tipo estudio de documentación o estado del arte, se deben contemplar:

- El logro de los objetivos definidos por la investigación.
- Establecer los medios y recursos disponibles para acceder al material informativo que sirva de fuente documental.
- Identificar y establecer la procedencia o el origen y tipo de estos medios y recursos; lo cual permita establecer una relación directa entre estos y los resultados obtenidos, por medio de la presentación de la información documental de forma retrospectiva y las tendencias del tema en estudio.

II.1 DEFINICION DE LA INVESTIGACIÓN

Con el propósito de satisfacer el objetivo principal de este Trabajo Especial de Grado, se plantea la implementación de una metodología de carácter documental o de estado del arte, que permita el desarrollo de un material de investigación

bibliográfica o manual de estudio; que facilite al usuario su acceso y sea de carácter bibliográfico para los interesados en el tema de la perforación de pozos costa afuera. La elaboración de un manual de estudio de esta índole, el cual describa el estado del arte de este tipo de operaciones aplicadas a la ingeniería petrolera; requiere de un amplio proceso de revisión bibliográfica y el planteamiento del diseño de una serie de fases o pasos de investigación documental.

II.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Bajo la implementación de la técnica de revisión bibliográfica, como técnica base para el proceso de documentación y desarrollo de este Trabajo Especial de Grado; se planifico el cumplimiento de cinco fases de investigación (ver Figura II.1), las cuales poseen características muy demarcadas según el avance de cada fase, sin embargo cada una de las fases se encuentran estrechamente relacionadas entre sí.

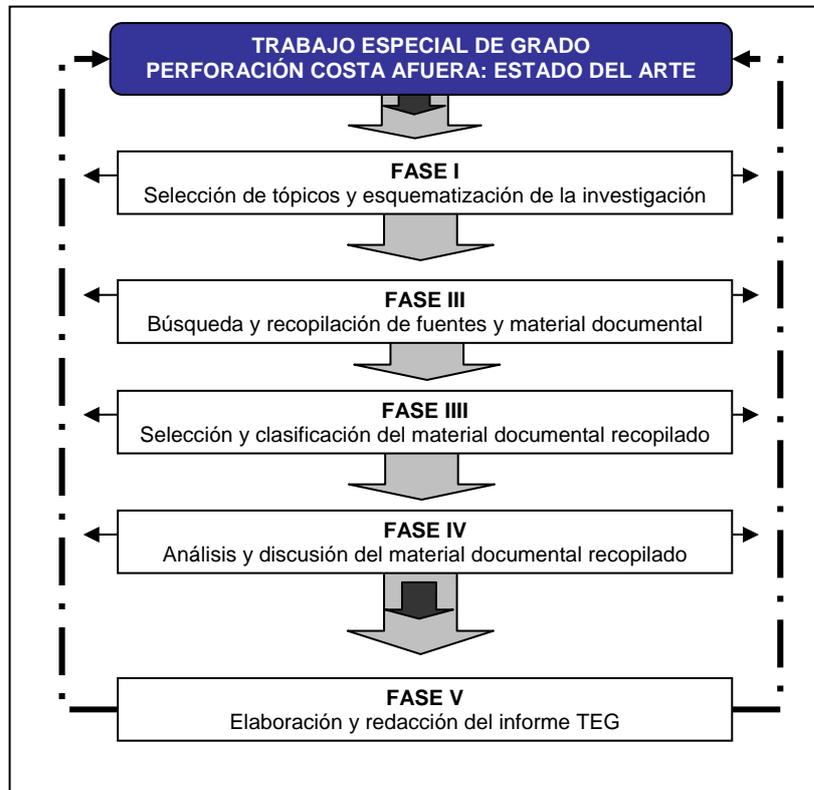


Figura II.1. Esquema metodológico, empleado para el desarrollo de la investigación.

Una fase inicial, la cual abarca un proceso de selección de los tópicos y esquematización de la investigación, posteriormente se plantean cuatro fases de desarrollo de la investigación documental; iniciándose, con una segunda fase la cual comprende la búsqueda y recopilación de información, una tercera fase correspondiente a selección y clasificación de la información documental recopilada, la cuarta fase comprende el análisis y entendimiento de la documentación recopilada; y por ultimo una quinta fase, en la cual se elaboró la redacción del informe final del Trabajo Especial de Grado.

II.3 DESCRIPCIÓN DE LAS FASES DE LA INVESTIGACIÓN

Como se explicó, el desarrollo de la metodología, se basa en la consecución de cuatro fases; las cuales serán descritas a continuación:

II.3.1 FASE I, SELECCIÓN DE TÓPICOS Y ESQUEMATIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Esta fase inicial comprende la discusión y selección de los tópicos adecuados que permitan realizar un desarrollo del tema de investigación y que los mismos cumplan con el logro de los objetivos planteados en la investigación. La selección de tópicos se basó, en el desarrollo de los objetivos específicos. Posteriormente, se elaboró un proceso de esquematización de la investigación; basado en el desarrollo de los tópicos seleccionados para la consecución de la investigación; como se plantea en el siguiente esquema (ver Figura II.2).

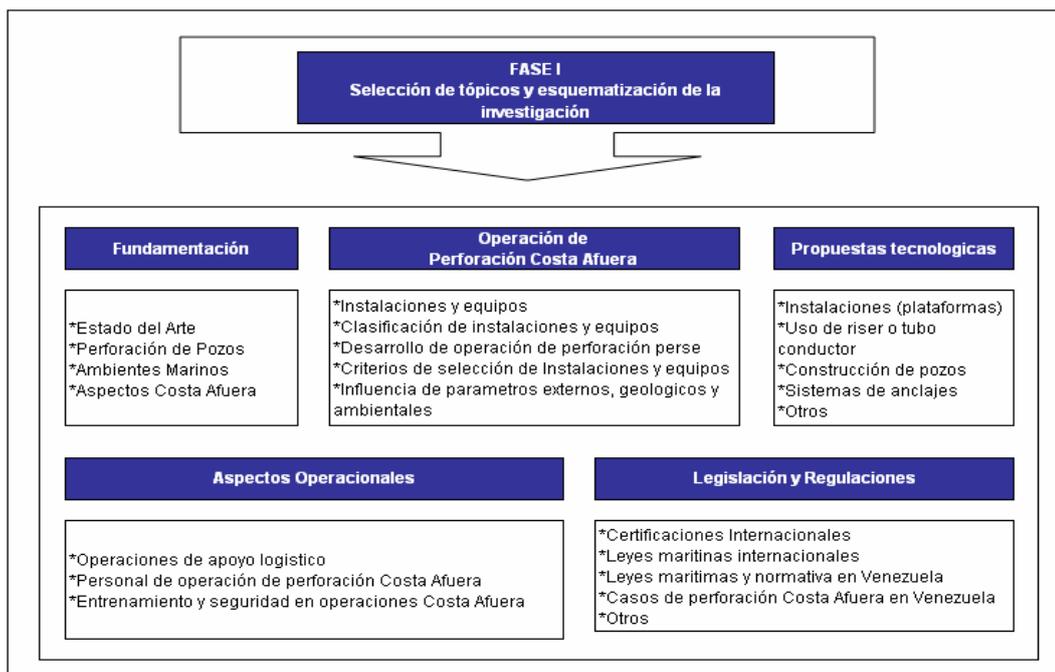


Figura II.2. Esquema de la FASE I, Selección de tópicos y esquematización de la investigación.

A esta fase de la investigación se le puede asignar un alto nivel de importancia; ya que a partir de esta será posible establecer los campos de búsqueda dentro de las fuentes de información existente para la documentación bibliográfica. Y de esta forma se puede establecer una optimización del tipo de búsqueda como el tiempo empleado en la misma.

II.3.2 FASE II, BÚSQUEDA Y RECOPIACIÓN DE MATERIAL DOCUMENTAL

Esta fase abarca un proceso de búsqueda, consulta y recopilación de toda la información bibliográfica que permita la obtención del material documental que conformarán las bases para el desarrollo de este Trabajo Especial de Grado. La documentación consultada estará orientada a operaciones de perforación costa afuera, de manera de realizar una validación con los objetivos planteados en la investigación.

Es importante destacar, que el desarrollo de esta investigación se basó en un proceso de recolección de información por dos vías preliminares (ver Figura II.3);

una vía directa y otra vía indirecta; esto dependiendo del medio que sirva de fuente de información para el proceso de búsqueda.

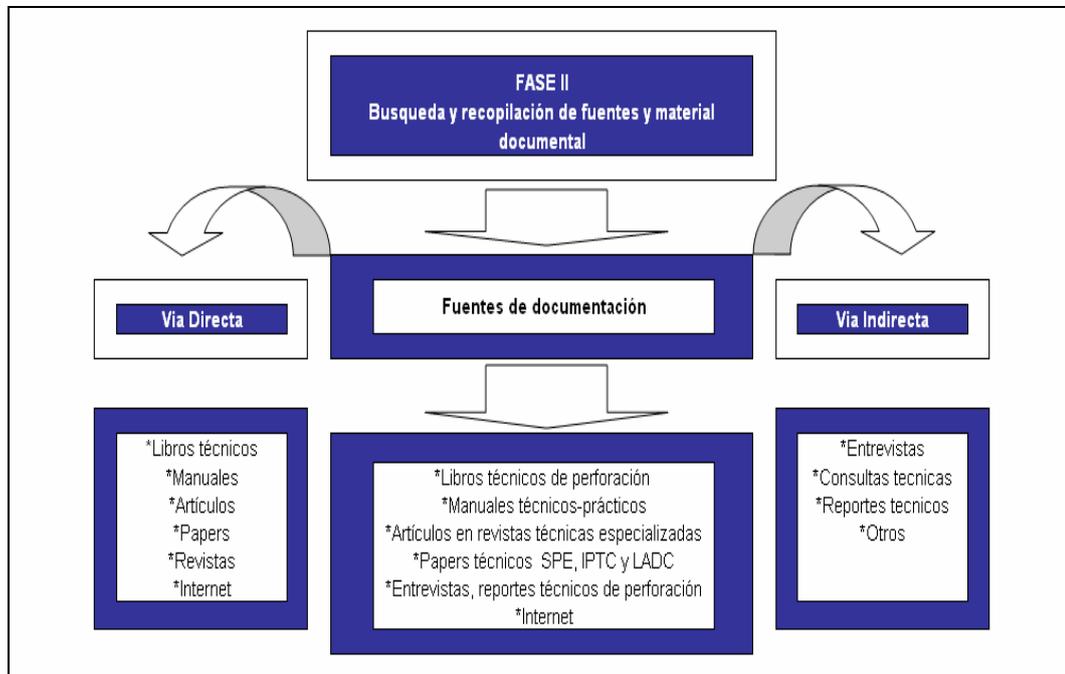


Figura II.3. Esquema FASE II, Búsqueda y recopilación de material documental de la investigación.

Las vías directas de búsqueda y recopilación de material documental, se basaron en la revisión bibliográfica especializada la cual se encuentra contenida en libros técnicos de perforación, textos especializados en la materia; como manuales técnicos-prácticos, artículos vinculados al tema publicados en revistas técnicas, revisión de material publicado en papers de organizaciones técnicas como la SPE, IPTC y IADC; así como información que puede ser suministrada por medio de la internet. De estas fuentes de documentación mencionadas, se obtuvo la mayor parte de la información base del estudio; ya que es la plataforma de esta investigación y fue fundamental para el desarrollo de un marco teórico que pudiera describir el estado del arte de la ingeniería costa afuera; el cual ayudará al proceso de enseñanza-aprendizaje en la Escuela de Ingeniería de Petróleo, de la Universidad Central de Venezuela.

Las vías indirectas de información documental; se basó en documentación e información suministrada por diferentes especialistas en el área de perforación; así como también información encontrada en reportes de operaciones realizadas en instalaciones costa afuera, como por ejemplo; reportes y programas de diseño, construcción y perforación de un pozo. Este tipo de vías de documentación existente, aunque escasas; debido a la teoría de protección, reserva y confidencialidad de información por parte de las empresas petroleras y su personal; se espera haber obtenido el cúmulo suficiente de información que permita hacer llegar a los futuros lectores e interesados en el tema de la perforación costa afuera, todo el material documental conceptual básico necesario para desarrollar una comprensión de la ingeniería de perforación costa afuera.

II.3.3 FASE III, SELECCIÓN Y CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL DOCUMENTAL RECOPIADO

Una vez culminado el proceso de recopilación de material documental que permitiese realizar la validación de los objetivos planteados en el Trabajo Especial de Grado, se estableció una selección, de acuerdo con su porcentaje real de inclusión dentro de la investigación; ya que se encontró material que sólo hacía referencia a ciertos aspectos de la investigación sin aportar información relevante a la misma. Posterior a esto se implementó una clasificación del material seleccionado (ver Figura II.4); siendo asignado posteriormente al desarrollo de los tópicos y esquematización de los mismos definidos en la 1^{ra} fase de la investigación, de selección de tópicos y esquematización de los mismos.

Esta fase cobra gran importancia dentro de la consecución de investigación de este Trabajo Especial de Grado, ya que por ser de carácter bibliográfico y de revisión referencial; requiere un mayor énfasis y dedicación de tiempo programado dentro del desarrollo de la investigación.

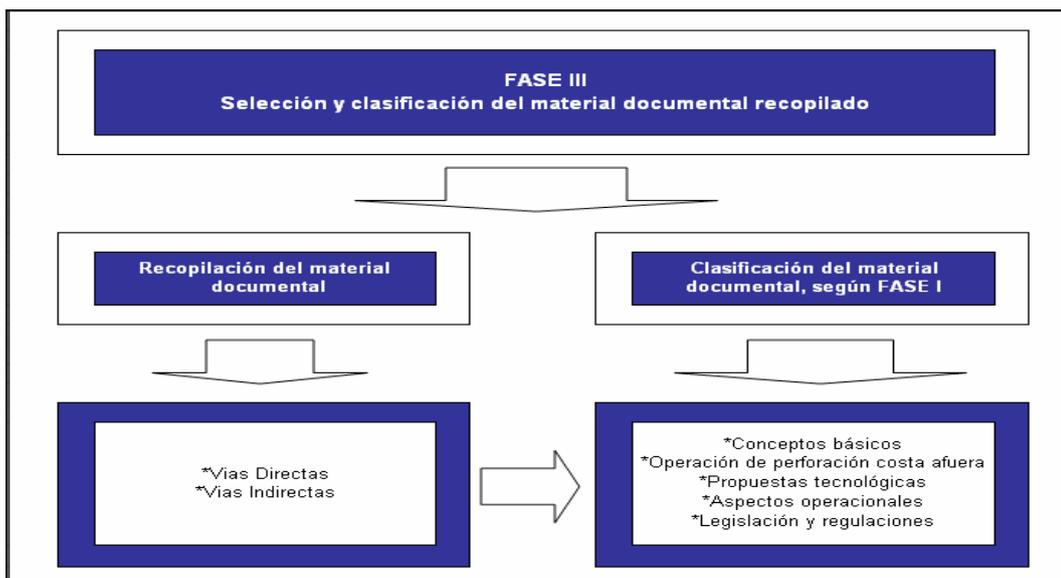


Figura III.4. Esquema FASE III, Selección y Clasificación del material documental de la investigación.

II.3.4 FASE IV, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DEL MATERIAL DOCUMENTAL RECOPIADO

En esta fase comprende una evaluación de la información documental recopilada; con el fin principal de realizar una interpretación y una posterior discusión, que permita establecer una confirmación de dicha documentación y desarrollar dicha información para su posterior inclusión dentro del informe final de la investigación del Trabajo Especial de Grado.

II.3.5 FASE V, ELABORACIÓN Y REDACCIÓN DEL INFORME FINAL DE TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Ya cubierta el resto de las fases anteriores, se inició el proceso de integración de la información documentación recopilada, seleccionada y analizada; de manera tal que, con la cobertura sobre todos los tópicos planteados para el desarrollo de la investigación, se proceda a la redacción del informe final del Trabajo Especial de Grado.

CAPÍTULO III

RESULTADOS

A continuación se presentan los aspectos más relevantes de la revisión bibliográfica que fundamentan el presente Trabajo Especial de Grado, y que permitirán ampliar la descripción del problema planteado, con la finalidad de realizar de forma apropiada la discusión de los resultados obtenidos.

III.1 ESTADO DEL ARTE ^[1]

La expresión *Estado del Arte*, denota el nivel más elevado de desarrollo de un dispositivo, técnica o algún campo científico, alcanzado en un tiempo determinado.

Dentro de un escrito académico-técnico, se denomina estado del arte a la base teórica sobre la que se basa el escrito, o la cual se rebate en el desarrollo posterior en el escrito y que forma parte introductoria del mismo. Este debe poseer dentro de su estructura las siguientes características:

- Debe asumir un conocimiento general del área.
- Enfatizar en la clasificación de la literatura existente.
- Desarrollar una perspectiva del área.
- Evaluar las principales tendencias.

Un estudio de investigación documental, el cual se desarrolle bajo el esquema de un *Estado del Arte*, representa la etapa inicial que debe dar comienzo al desarrollo dentro de una investigación, ya que su elaboración; la constituye la búsqueda de información o documentación del tema que se pretende investigar. Este proceso de búsqueda documental representa una herramienta que permite determinar cómo ha sido tratado el tema en estudios anteriores, cómo se encuentra documentado el tema en el momento de realizar la propuesta de investigación y

cuáles son las tendencias. Para su elaboración, es recomendable establecer una consecución de períodos de tiempos, de acuerdo con los objetivos de la investigación.

El desarrollo de un estado del arte, se encuentra conformado por la ejecución consecutiva de dos fases; independientemente de las metodologías aplicadas para el logro de las mismas. Estas fases se conocen, como fase heurística y fase hermenéutica.

III.1.1 FASE HEURÍSTICA ^{[2] [3]}

En esta fase se procede a desarrollar un proceso de búsqueda y recopilación de los medios y las fuentes de información, disponibles para el desarrollo de la investigación documental; los cuales pueden presentar diferentes características y diferente naturaleza. Entre estos medios y fuentes de información se pueden citar algunos como:

- Bibliografías.
- Anuarios.
- Monografías.
- Artículos.
- Trabajos especiales y otros.
- Documentos técnicos de entes oficiales o privados.
- Investigaciones aplicadas.
- Filmaciones; audiovisuales; grabaciones, multi-medios.

III.1.2 FASE HERMENÉUTICA ^{[2] [3]}

Durante el desarrollo de esta fase, se debe establecer un período de indagación y análisis de cada una de los medios y fuentes investigadas; en el cual cada uno de los medios y fuentes de documentación disponibles para el desarrollo de la

investigación se someterán a una lectura profunda y analítica, que permita establecer un nivel de análisis e interpretación y se debe clasificar de acuerdo con su importancia dentro del trabajo de investigación.

Posterior a este período de lectura profunda y análisis de la información documental aportada por los medios y fuentes disponibles, se procede a seleccionar los puntos fundamentales y se indican el o los instrumentos metodológicos diseñados por el investigador para sistematizar la información bibliográfica acopiada, por ejemplo, en una ficha de contenido o una matriz para los conceptos.

El desarrollo de investigaciones y recopilaciones documentales, referentes al tema de la perforación de pozos petroleros ubicados en aguas costa afuera (*off-shore*); ha formado parte de los aportes generados por la industria petrolera para el fomento y creación de valores agregados a las experiencias obtenidas durante los años de desarrollo en las operaciones costa afuera. Sin embargo, existen diversos factores que retrasan o no permiten el aprovechamiento continuo y total de este tipo de información o documentación por parte del usuario final (ingenieros, técnicos, personal de operaciones, estudiantes en formación y otros); por lo cual la generación de estudios de documentación bibliográfica o revisiones documentales ya existentes que representen estudios del *Estado del Arte* que desarrolle el tema de la perforación de pozos petroleros costa afuera representan un aporte anexo a aquellos que son generados por la industria.

Dentro del ámbito de la documentación y divulgación de tópicos sobre la perforación de pozos petroleros ubicados en zonas costa afuera, se debe tener en cuenta que existen diversos temas y tópicos relacionados al mismo; los cuales si son manejados e interpretados de una manera errónea, puede contribuir a un mal entendimiento y creación de conceptos dudosos sobre el tema. Es por esto, que muchos de estos tópicos son fundamentales para el sector petrolero; y específicamente las compañías operadoras, los tratan de tener día a día actualizados.

La perforación de pozos de hidrocarburos localizados en costa afuera; es una operación que concierne múltiples factores propios de la operación; así como también factores que se encuentran intrínsecamente ligados a la misma operación; tales como: ¿Es lo mismo perforar en tierra firme, que en aguas costa afuera?, ¿Se usan los mismos equipos y estructuras, que se usan en la perforación en tierra firme?, ¿Qué se considera un ambiente costa fuera?, ¿Es igual la operación de perforación costa afuera, a la perforación en tierra firme?, ¿Existen factores que afectan el desarrollo de las operaciones?; entre otras tantas interrogantes.

III.2 PERFORACIÓN DE POZOS COSTA AFUERA ^{[4] [5] [6]}

La existencia de yacimientos de hidrocarburos ubicados en tierra firme cercanas a los medios costeros; sirvió de estímulo principal para que las compañías petroleras tomarán en cuenta la posibilidad real de extender sus operaciones hacia las aguas llanas y profundas, ante la perspectiva de hallar grandes reservas y altas tasas de producción que justifiquen los gastos y riesgos adicionales que esto implica.

Poco a poco; con la ejecución y desarrollo de esta visión de extensión de áreas operacionales, se ha logrado alcanzar yacimientos de hidrocarburos en campos situados aguas profundas en regiones oceánicas que contienen más de 2 mil millones de barriles. Esta evolución de avanzar hacia la exploración, perforación y producción de los yacimientos situados en aguas marinas oceánicas y con visión a dominar yacimientos de hidrocarburos localizados en aguas ultra profundas, se ha producido a lo largo del último siglo, a partir del año 1897; cuando se instaló el primer mástil de perforación marina ubicado sobre una estructura fija a tierra en un muelle costero; en las costas del estado de California (EE.UU.).

A partir de estas primeras experiencias, se comenzó a desarrollar la actividad de perforación de pozos costa afuera; por medio de la utilización de equipos especializados, con plataformas marinas, equipos semi-sumergibles, taladros de

perforación auto-elevadisa y uso de embarcaciones de perforación con sistemas de posicionamiento dinámico. En una localización previamente definida a través de los estudios de yacimientos, se establece el posicionamiento de una plataforma fija o un equipo flotante, desde donde se han podido perforar pozos en distintas direcciones con el fin de maximizar el factor de recobro final del yacimiento. Esta evolución y perfeccionamiento de la tecnología de equipos de perforación costa afuera, en busca de dominar ambientes cada vez más hostiles y desafiantes, ha permitido que la perforación de pozos ubicados costa afuera evolucione principalmente en dos direcciones.

En primer lugar, los pozos se perforaban en zonas marinas en las cuales la columna de agua aumentaba año tras año. Al término de la década de los años noventa (1998-1999), en los 28 campos descubiertos a nivel mundial que producían a una profundidad del lecho marino de por lo menos 500 m. (1640 pies) se obtenían 935.000 barriles de petróleo diario; la mayoría de estos campos se encuentran situados en aguas costeras del Golfo de México y en las aguas profundas de Brasil, a pesar de que han sido descubiertos otros campos situados en aguas profundas en las costas de África Occidental, en el lejano Oriente, en las márgenes del Atlántico Norte, en costas del Mar Caribe, en aguas tranquilas del Mar de China y las costas del continente Australiano, como se muestra en la figura III.1.

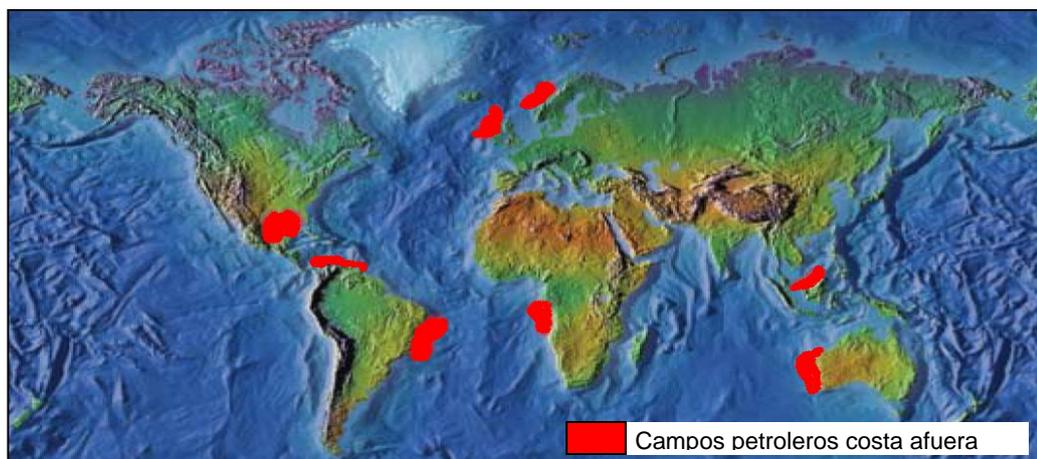


Figura III.1: Ubicación de los principales campos de hidrocarburos localizados en aguas costa afuera y en aguas profundas. [6]

En la actualidad la industria del sector petrolero maneja cifras, que revelan que en todo el planeta se ha descubierto un volumen adicional cuantificable de 43,5 miles de millones de barriles de petróleo en yacimientos que se encuentran situados en aguas en que el lecho marino supera los 500 m. de profundidad, con una reserva potencial de otros 86,5 miles de millones de barriles. [6]

Algunas estimaciones sugieren que el 90% de las reservas de hidrocarburos aún no descubiertas en el planeta se encuentran en yacimientos en zonas situadas en ambientes marinos (aguas oceánicas y grandes profundidades), en aguas cuyas profundidades superan los 1000 m. (3280 pies), tal como se indica en la figura III.2; en la cual se observa que en el transcurso de finales de la década de los años 90 y comienzos de esta década, se han venido realizando nuevos descubrimientos en aguas costa afuera; permitiendo desarrollar estos campos y así obtener mayores niveles de producción que son abonados a la producción obtenida de las yacimientos en tierra firme.

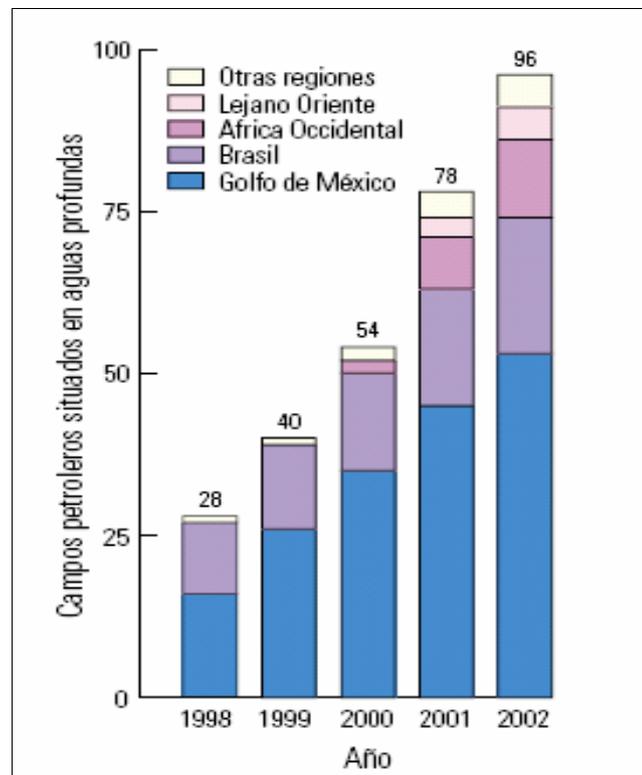


Figura III.2. Campos petroleros situados en aguas costa afuera profundas, agrupados por región y en función del tiempo. [5]

Ejemplo de este escenario lo representa el caso de un pozo productor del campo *Roncador*, en el área marina de Brasil; el cual posee el record actual de profundidad para un pozo petrolero donde la profundidad del lecho marino es de 2780 m. (9111 pies).

En una segunda dirección, la perforación de pozos costa afuera evolucionó hacia el desarrollo de equipos de completación sub.-marina y desarrollo de nuevas tecnologías de producción en aguas profundas; con lo cual se ha permitido la obtención de diversos puntos de acceso a los yacimientos, de forma tal que se cubra una mayor área superficial del yacimiento, lo cual permite explotar el volumen del yacimiento con mayor eficacia.

Al definir de forma genérica la operación de perforar un pozo de hidrocarburo, como la actividad inicial de la etapa de producción, la cual tiene como fin principal, la creación de una vía o medio de circulación para permitir el flujo de producción de fluidos del yacimiento hasta la superficie, ya sea por medios naturales o por medios artificiales. Se puede vincular que el desarrollo de la operación de perforación se puede ejecutar en dos escenarios posibles o medios diferentes, tales como:

- La perforación de pozos de hidrocarburos en tierra firme.
- La perforación de pozos de hidrocarburos en aguas costas afuera.

Por ser un estudio que radica en la indagación documental, referente a la perforación de pozos de hidrocarburos localizados costa afuera; se hace necesaria una breve exposición que explique las características geomorfológicas y ambientales que predominan en los ambientes marinos donde se desarrollan las operaciones de perforación costa afuera. La evaluación detallada de estos aspectos, conforman el paso inicial para la selección más efectiva del sistema y los equipo de perforación.

III.2.1 MEDIO AMBIENTE MARINO COSTA AFUERA ^{[7][8][9]}

En términos generales el desarrollo de las operaciones costa afuera, y en especial las operaciones de perforación de pozos costa afuera; son influenciadas en un alto rango por las características climatológicas, geográficas y geológicas que predominan en cada zona geográfica marina. Este tipo de operaciones dependen directamente de las predicciones futuras de las mismas, sin embargo; en la actualidad la obtención de las mismas de un modo confiable y certero ha demostrado ser una tarea muy difícil de realizar, debido a la carencia de muestreos y análisis continuo de variables en los océanos y mares costa afuera.

Trabajar en el medio ambiente marino ya sea cerca de la línea costera o en aguas más profundas, conlleva enfrentarse a un medio ambiente hostil de condiciones extremas y muy diferente al presente en operaciones de perforación en tierra firme; lo que hace este tipo de operaciones costa afuera, operaciones de alto riesgo operacional, tanto para los equipos como para el personal que las realiza.

Actualmente, los mayores desafíos que se presentan en las operaciones de perforación de pozos en aguas costa afuera, se encuentran relacionados directamente con las grandes profundidades; sin embargo existen otras variables ambientales y geomorfológicas de importancia que intervienen y modifican la concepción de los desafíos y proyectos relacionados con la perforación de pozos costa afuera y aguas profundas.

Algunas de estas variables son las condiciones ambientales y medio ambiente presentes que describen el comportamiento de las fuerzas hidrodinámicas naturales; como: el viento, el sistema de oleaje y los sistemas de corrientes marinas y mareas, como muestra la tabla III.1, donde se compara la evaluación de dichas fuerzas hidrodinámicas en dos zonas de producción de hidrocarburos en campos localizadas costa afuera; y también las características geomorfológicas de la superficie y el sub.-suelo del lecho marino; las cuales son características de

cada localización geográfica en cada una de las zonas petroleras situadas en aguas costa afuera y aguas profundas.

Tabla III.1. Fuerzas Hidrodinámicas del medio ambiente marino; de dos zonas de alto impacto en las operaciones de perforación costa afuera con condiciones diferentes. [8]

CARACTERISTICAS DEL MEDIO AMBIENTE MARINO		
	Golfo de México (México)	Mar del Norte (Noruega)
Profundidad promedio de la columna de agua	84 m.	92 m.
Altura promedio del sistema de oleaje sobre las estructuras	19 m.	30 m.
Frecuencia promedio del embate del sistema de oleaje sobre las estructuras	15 seg.	16 seg.
Velocidad promedio de las corrientes de viento	50 m./seg.	60 m./seg.
Velocidad promedio del sistema de corrientes de agua en la superficie	0 - 0,1 m./seg.	1,4 m./seg.

Las estructuras y plataformas marinas de perforación y operaciones costa afuera; tienen que diseñarse y calcularse, como toda otra estructura de envergadura considerable, bajo la acción de fuerzas de gravedad y efectos producidos por fuerzas del viento. Por esta razón se consideran estas características del medio ambiente marino y las fuerzas hidrodinámicas, debido a su acción y embate sobre las instalaciones de perforación (ver figura III.3).

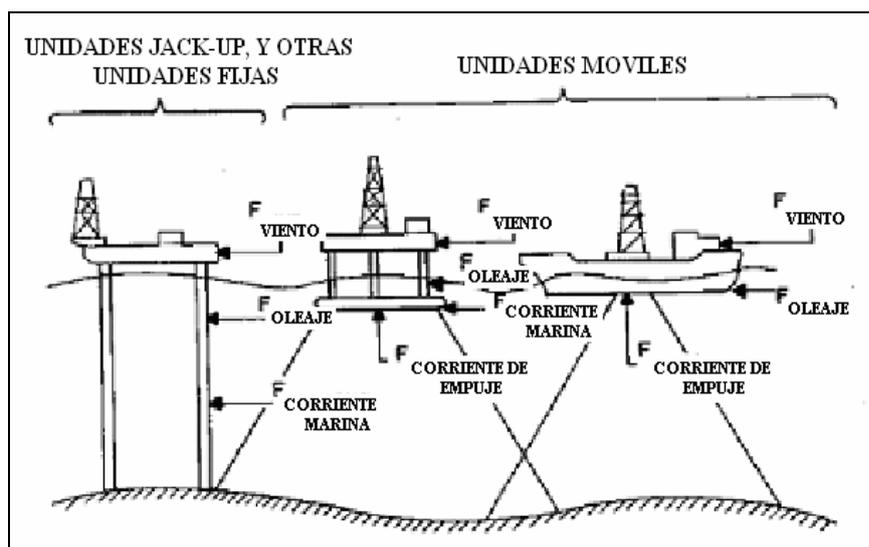


Figura III.3. Fuerzas hidrodinámicas sobre estructuras costa afuera. [8]

Estas fuerzas naturales son consideradas técnicamente como fuerzas dinámicas, las cuales varían en función del tiempo; es por esto que su cálculo debería ser en principio dinámico y no lineal; sin embargo, se han desarrollado metodologías que permiten la manipulación y control de este tipo de fuerzas o variables, mediante la aplicación de estudios estadísticos, lo cual permite el desarrollo de sistemas de herramientas estadísticas que describan sus comportamientos.

III.2.2 PROFUNDIDAD MARINA Y PARÁMETROS GEOLÓGICOS ^{[4] [9]} ^{[10] [11]}

Dos parámetros que pueden ser evaluados de una manera conjunta debido a estar relacionados entre sí durante el desarrollo de los estudios y las operaciones de perforación de pozos en aguas costa afuera son los niveles de profundidad de las columnas de agua que se maneja durante la perforación y los parámetros geológicos que se estiman y se encuentran al momento de alcanzar ciertos niveles de profundidad. Estos dos parámetros poseen un factor de heterogeneidad que se ve influenciado por el aumento de la distancia del lugar de operación con respecto a la línea costera de referencia, es decir, existe una variación de profundidad y sedimentación geología a razón del distanciamiento de la línea costera; como se observa en la figura III.4.

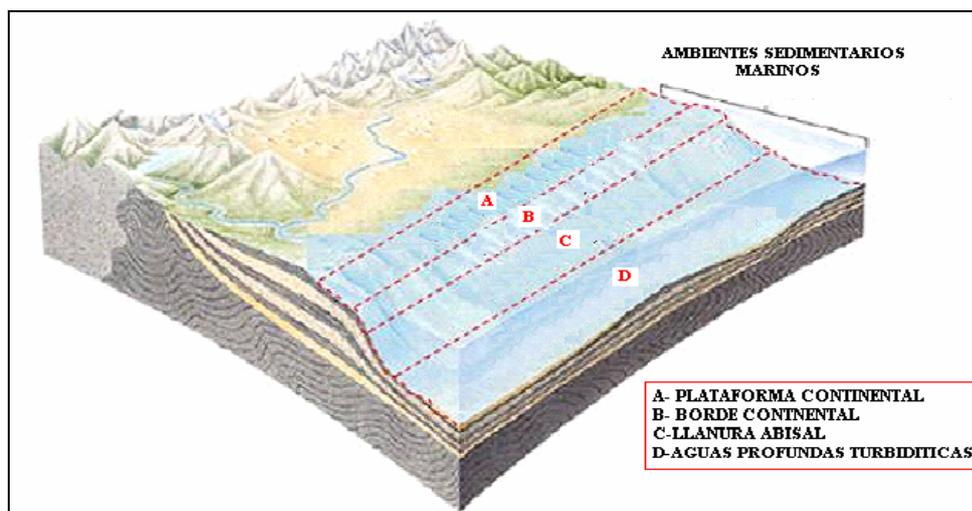


Figura III.4. Ambientes sedimentarios marinos. ^[11]

Uno de los desafíos de la industria de la perforación de pozos costa afuera, se plantea con respecto a la perforación de pozos con un hoyo estable a medida que se avanza en el alcance de nuevos toques de profundidad. En las cuencas sedimentarias jóvenes que presentan altas tasas de depositación, como las que actualmente son explotadas en regiones como el Golfo de México y partes de las zonas marinas de Brasil y África Occidental, los sedimentos en ocasiones se presentan como medios sub.-compactados durante el proceso de enterramiento.

Puede ocurrir que los niveles de presiones de poro presentes en las formaciones que se encuentren a grandes profundidades, sean elevadas y que los gradientes de fractura de los mismos sean mucho más bajos en comparación con los casos que ocurren en los pozos terrestres en las mismas profundidades, esto debido al tipo de geología regional que se presenta a dichas profundidades en el subsuelo marino.

Las localizaciones de yacimientos de hidrocarburos ubicados en zonas marinas costa afuera a grandes profundidades submarinas de hasta de 2000 m. abastecen el 30% de la actual producción, y para el futuro se están previendo localizaciones en profundidades de 3500 m.

Hoy por hoy, dentro de la industria de la explotación de hidrocarburos existen y se manejan diversas definiciones referentes al concepto de profundidad de aguas marinas y sus diversos ambientes sedimentarios, que varían según la actividad consideradas. Una definición amplia del medio sedimentario marino según su profundidad (Aird, P. 2001), es la de localización de la superficie del lecho marino en que se realizan procesos sedimentarios que pueden individualizarse en zonas limítrofes por sus características físicas, químicas y biológicas que van también a determinar las propiedades del sedimento.

Dentro de la clasificación de los ambientes de sedimentación marina, podemos referirnos a los ambientes netamente marinos costas afuera y los sistemas turbidíticos como medio de sedimentación, ya que estos son los de interés para esta investigación. Los medios de sedimentación puramente marinos los

constituyen la plataforma continental, el borde pre-continental, la llanura abisal y aguas profundas turbidíficas.

La perforación costa afuera presentó una evolución que generó dos escenarios de perforación posible; en primer lugar se define una línea de desarrollo operacional destinada a la perforación de pozos petroleros ubicados en zonas donde las columnas de agua fue aumentando con el transcurrir del tiempo, hasta alcanzar el récord actual de 1852 m. (6007 pies; pozo productor perteneciente al campo *Roncador*, en las costas de Brasil; estos pozos tenían una finalidad exploratoria y actualmente son pozos productores. Sin embargo, se maneja otro escenario en el cual las grandes profundidades cobran gran interés; en la perforación de pozos con fines exploratorios, sin producción real; como el escenario presentado por la compañía estatal de petróleo del Brasil (PETROBRAS), la cual logró alcanzar el récord de 2777 m. (9050 pies), también en un campo ubicado en un área marina perteneciente a las costas de Brasil. Esta perforación compite con otras perforaciones en el Golfo de México, donde existen otras áreas de interés para la explotación petrolera, que no han sido exploradas en las que la columna de agua supera los 3050 m. (10.000 pies).

El desarrollo de las técnicas y avances tecnológicos dispuestos para la ejecución de las operaciones de perforación de pozos productores de hidrocarburos localizados en zonas costa afuera; se debe plantear y presentar la variable profundidad, como un criterio de gran importancia para la selección de la unidad y equipos de taladro de perforación costa afuera. Cuando se desarrolla el primer escenario planteado anteriormente; con respecto a la construcción de pozos productores de hidrocarburos costa afuera, se establecen cuatro posibles niveles de profundidad operativa (ver figura III.5).

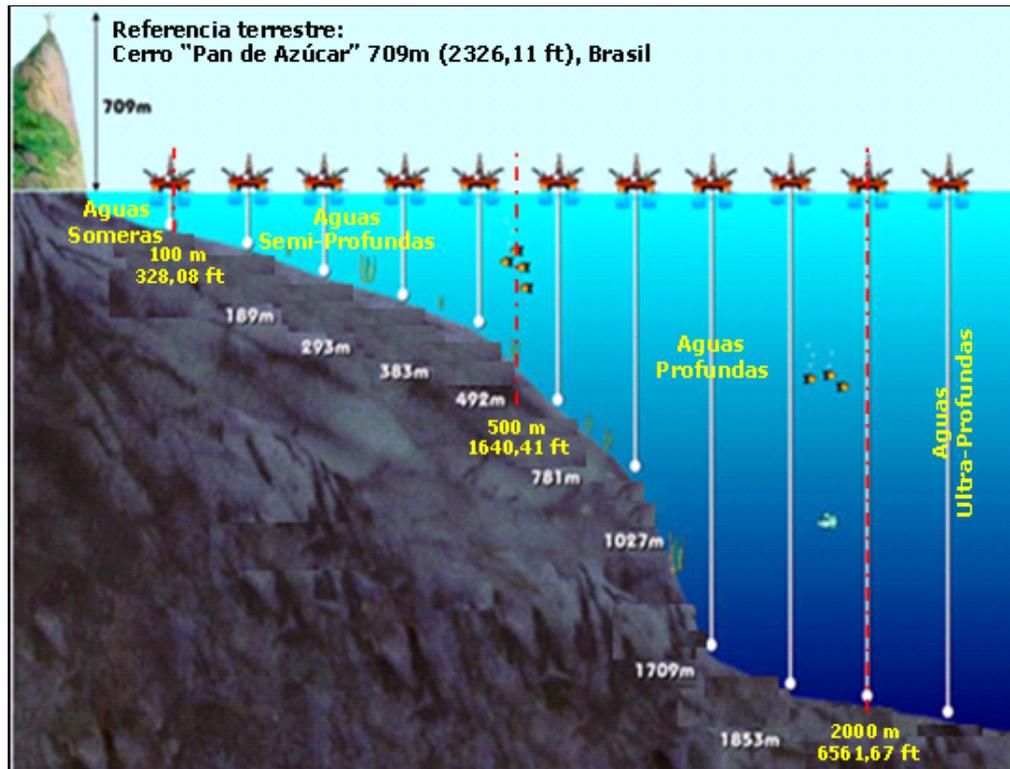


Figura III.5. Rangos de profundidad operativas de perforación de pozos localizados en zonas costa afuera y aguas profundas. ^[10]

En operaciones de perforación en la que la columna de agua que antecede al lecho marino no es mayor a los 100 m. (328 pies) se catalogan como aguas costeras o aguas someras; como es el caso de la mayoría de las operaciones llevadas a cabo en los campos petroleros de la compañía estatal de petróleo de México (PEMEX), localizados en aguas del Golfo de México. En estos yacimientos someros se puede encontrar una sedimentación geológica referida a la zona de transición entre el límite externo de la playa (*shore-face*) en sentido amplio (medio de transición) y la plataforma continental propiamente dicha. A estos niveles de profundidad ubicados dentro del rango de la plataforma continental van a ser depositadas gran cantidad de materiales detríticos transportados por los ríos y sedimentados en el mar dando lugar a las formas deltaicas. Es un área de dominio de sedimentación de limos y lutitas, aunque pueden existir capas intercaladas arenosas.

En operaciones de perforación donde la columna de agua alcanza a sobrepasar los 100 m. (328 pies) de profundidad, pero no exceden los 500 m. de profundidad

(1640 pies), se consideran operaciones de perforación llevadas en aguas semi-profundas. Estos niveles de profundidad se ven caracterizados por poseer un ambiente geológico predominantemente del tipo borde pre-continental, que abarca desde la línea más distal de la plataforma continental hasta alcanzar las llanuras o profundidades abisales; en este tipo de ambientes sedimentarios se depositan los materiales formados en la parte externa de la plataforma continental y que han deslizado por el talud. La sedimentación en esta área será predominantemente arcillosa sin intercalaciones.

Esta zona geográfica no se ve afectada por la continua variación de energía provocada por corrientes de gran magnitud en forma constante, salvo en el borde del talud donde las corrientes de marea y las longitudinales alcanzan su mayor velocidad, produciendo en ocasiones derrumbes de las paredes del talud. Los sedimentos son principalmente fangos.

El concepto de fondo marino que se mantiene en la mente de las personas, no corresponde con la evidencia física del mismo; en las zonas consideradas de gran profundidad, los fondos marinos no están constituidos por planos horizontales, sino que están formados por elevaciones montañosas que se generan en las zonas de acreción. El fondo marino es renovado permanentemente en estas zonas.

Las profundidades operativas consideradas como aguas profundas o nivel de agua profundo, es aquella profundidad operativa de la columna de agua que supera los 500 m. (1640 pies), medidos desde el datúm de la planchada de la unidad perforadora hasta el lecho marino; caso evidenciado en la explotación de los yacimientos de hidrocarburos localizados en las costas de Brasil. Cuando las profundidades del lecho marino sobrepasan este rango, se hace eminente el surgimiento de otros requerimientos tecnológicos. Este escenario de profundidad se caracteriza por describir un ambiente sedimentológico marino del tipo llanura abisal, donde los sedimentos están restringidos a los de grano fino por su lejanía a las zonas de origen. Están comprendidos por dos clases; los de origen terrígeno y los pelágicos. Los primeros son fangos azules, verdes y rojos, fangos volcánicos

derivados de las cenizas, llevados hasta ese lugar por el viento y fangos de coral derivados de la acumulación de estos organismos en barreras y atolones.

Cuando se consideran profundidades operativas de la columna de agua superiores a los 2000 m. (6561 pies), se habla de aguas ultra-profundas. Estos niveles de profundidad del lecho marino presentan unas características geológicas descritas por la presencia de un fenómeno de transporte de sedimentos hacia el fondo del lecho marino, como lo es las corrientes turbidíticas, principal mecanismo para el transporte de masas de sedimentos pendiente abajo a partir del borde continental.

Otros factores que contribuyen con la generación de estas corrientes turbidíticas son la composición del material que es arrastrado por dichas corrientes, textura, tasa de acumulación y condiciones del entrapamiento del agua en los poros; estos factores mencionados anteriormente determinan el ángulo crítico a partir del cual las masas de sedimentos deslizan desde la plataforma hacia los bordes pre-continental, llanuras abisales y profundidades oceánicas. Un ejemplo de esto se evidencia en el comportamiento sedimentológico existente en la parte externa del delta del Mississippi, donde las capas de sedimentos se vuelven inestables a aproximadamente 1 grado, mientras que en el Golfo de California, permanecen estables hasta los 7 grados. Deslizamientos submarinos, flujos de detritos, flujos en masa y corrientes de turbidez pueden ser generadas una vez sobrepasado el límite de estabilidad.

Los flujos de turbidez repetidos tienden a formar cuerpos en forma de abanicos submarinos. Estos abanicos normalmente se extienden en dirección perpendicular a la orientación de la cuenca, pero las expresiones topográficas en el piso de la misma pueden alterar tanto la orientación como la forma. En cuencas más profundas, las turbiditas pueden cubrir muchos kilómetros cuadrados y ser depositadas a 100 kilómetros o más del margen de la cuenca.

Los depósitos de corrientes de turbidez están compuestos por sedimentos de grano relativamente grueso depositados por dichas corrientes en aguas profundas,

aunque a medida que se aleja de la fuente el tamaño disminuye (índice de distalidad), están interstratificados con limos y arcillas de aguas profundas (hemipelágicos y pelágicos) así como por sedimentos retrabajados por las corrientes de fondo (contornitas).

En estos casos de perforaciones de pozos costa afuera donde se manejan columnas de aguas ultra profundas se generan múltiples dificultades operacionales para alcanzar dichas profundidades y manejo de los niveles de presión; donde de existir soluciones, estas se adaptan especialmente para el requerimiento de nuevas tecnologías destinadas a cada proyecto.

III.3 PERFORACIÓN COSTA AFUERA ^{[6] [7] [12]}

El objetivo de la perforación costa afuera es básicamente el mismo de los pozos perforados en tierra firme; primordialmente, penetrar las capas o formaciones de la corteza terrestre utilizando mechas o brocas adecuadas para la perforación a medida que se profundiza, con la finalidad de crear una vía o canal de comunicación entre el yacimiento que se encuentra en el subsuelo y el medio superficial, para permitir el flujo de los fluidos del yacimiento hasta la superficie, la obtención de la mayor cantidad de información del pozo perforado que permita realizar estudios de expansión del área del yacimiento y el posterior desarrollo del campo costa afuera, considerando un factor de costo mínimo y la máxima seguridad de las operaciones.

La metodología empleada para el desarrollo de una perforación de un pozo localizado en aguas costa afuera, son derivadas y adaptadas de la experiencia que se posee de la perforación de pozos en tierra firme, pero con niveles de mayor complejidad debido a encontrarse en un medio impredecible en muchos casos, como lo son los medios marinos y oceánicos; lo cual hace que se requiera desarrollo de tecnología de alto nivel, variación en la modalidad de las operaciones de perforación y sus derivadas, altos niveles de requerimientos de

personal altamente capacitado, y la existencia de altos niveles de riesgo-costos asociados en operaciones.

Sin embargo, con el avance de la ciencia y la tecnología desarrollada para la exploración costa afuera, ha permitido que los principios geofísicos usados en la localización de áreas del fondo marino, donde es probable el descubrimiento de un yacimiento de hidrocarburos y su posterior perforación, sean los mismos que empleados para la detección de nuevos yacimientos en tierra firme, evolucionando con las exigencias del caso; pero sin desligarse de la idea, de que el medio a trabajar no es el mismo que en tierra firme.

Un ejemplo de esta adaptación de técnicas empleadas en tierra firme para ser aplicadas en áreas costa afuera, es el desarrollo y evolución de tecnología y equipos usados para la adquisición de los datos exploratorios en yacimientos de hidrocarburos costa afuera, los cuales han sido objeto de planes de rediseños y adaptaciones, para ser instalados y manejados desde medios navales o náuticos, como lo son: buques exploratorios, gabarras, lanchones, etc.

Muchos de los yacimientos de hidrocarburos ya descubiertos en medios marinos ya sea costa afuera o a grandes profundidades, han sido el resultado de la aplicación y análisis de diversos métodos geológicos y geofísicos; un ejemplo de esto son los datos sísmicos, los cuales una vez procesados, permiten realizar una selección del yacimiento como posible prospecto potencial.

Entre los métodos de exploración disponibles, el más empleado ha sido el sismógrafo, como se muestra en la figura III.6; su adaptación y funcionamiento básico en ambientes costa afuera, donde los barcos son usados para transportar el equipo de registro y por supuesto los geófonos no están colocados en la superficie de la tierra, si no que son remolcados o puestos en flotación por un equipo de tipo barcaza, para cubrir toda la zona de interés.

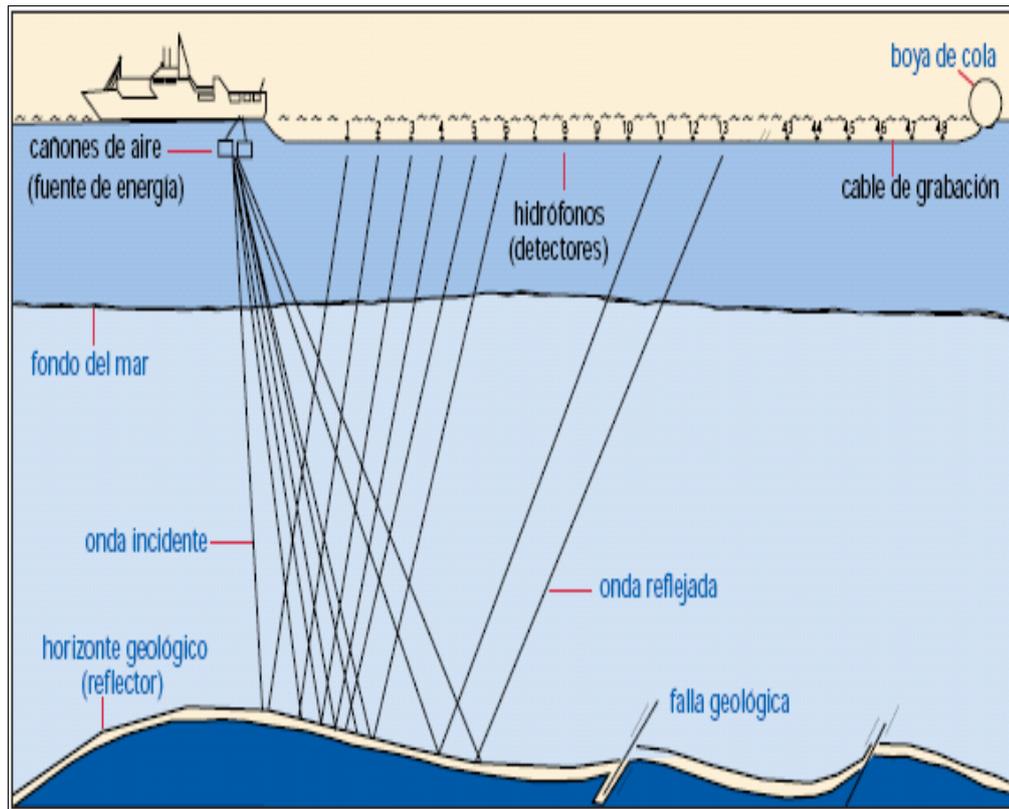


Figura III.6. Levantamiento sísmico exploratorio en medio costa afuera. [7]

Los dispositivos de cargas son ubicados a grandes profundidades para producir las ondas que posteriormente son recolectadas por los geófonos que se encuentran en la superficie. El desarrollo del análisis o procesamiento de los datos obtenidos y su posterior interpretación se realiza por medio del uso de computadoras instaladas en el mismo barco en superficie, y posteriormente son transmitidas vía satélite a centros de mayor capacidad de resolución.

Sin embargo, la ejecución continua de operaciones costa afuera siempre se encuentra sujeta a la variación de los factores geológicos y la continua variación de los factores climatológicos, pero gracias al desarrollo de las técnicas para las predicciones meteorológicas, la programación de las vías y rutas de navegación puede hacerse hoy en día, con base a los sistemas de información meteorológica y de pronóstico del tiempo que, desarrollan y suministran los centros y estaciones de observación ubicados en todo el planeta.

Una vez procesados los datos de los registros sísmicos tomados en un área costa afuera y evaluados los principales prospectos ha ser verificados y analizados por una siguiente fase de explotación, el equipo de ingenieros proceden a desarrollar la planificación de explotación controlada mediante la perforación de pozos; para corroborar los posibles escenarios que se pudiesen plantear para desarrollar el campo, algunos de estos escenarios pudiesen ser los siguientes: que el área escogida como prospecto, durante el desarrollo del análisis de los registros sísmicos, pudiera estar dentro de un área ya probada anteriormente y se desee investigar la posibilidad de la existencia de yacimientos superiores o realizar perforaciones más profundas para explorar y verificar la existencia de nuevos yacimientos. También existen los caso de que el área prospecto de interés esté fuera del área ya probada y se diseñe una planificación de perforaciones de pozos de avanzada, los cuales; si tienen éxito, extenderían el área de producción conocida.

Durante esta fase de perforación de pozos costa afuera se utiliza la más moderna tecnología, equipos y herramientas especiales, que en muchas oportunidades contribuyen al encarecimiento y complicación de las operaciones.

III.3.1 UNIDADES/PLATAFORMAS DE PERFORACIÓN COSTA AFUERA ^{[6] [12] [13] [14] [15]}

La ejecución de una operación de perforación de un pozo costa afuera, se ejecuta mediante la utilización de una unidad de perforación o plataforma de perforación, que se encuentra en la parte superficial de una estructura flotante o plataforma fija como se muestra en la figura III.7 y figura III.8; las cuales pueden presentar distintas configuraciones constructivas.



Figura III.7 Gabarra de perforación. [12]

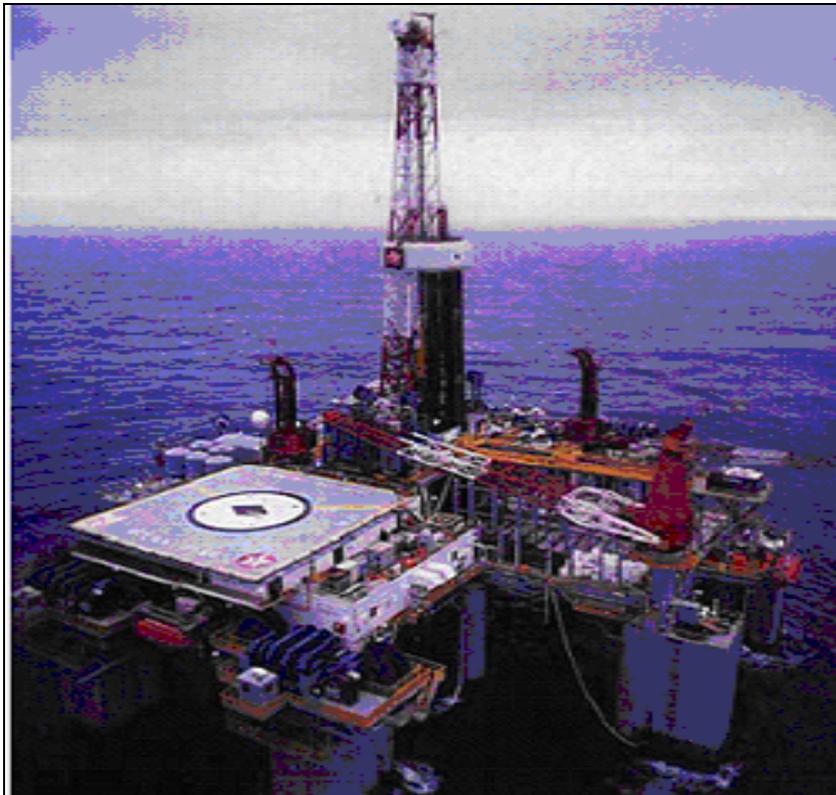


Figura III.8 Plataforma de perforación de pozos costa afuera. [14]

La función principal de la unidad de perforación, es la creación de un pozo, para permitir la producción de los fluidos del yacimiento hacia la superficie; de una manera que represente un factor de rentabilidad al proceso de producción.

La operación de perforar un pozo costa afuera, comprende la ejecución de una serie de técnicas complejas, las cuales deben tener un seguimiento metódico y a su vez involucrar la utilización adecuada de una serie de equipos e infraestructuras y de la unidad de perforación correcta, según sea el caso.

El perforar un pozo costa afuera posee similitud operacional a la dinámica de perforación en tierra firme y en la utilización del equipo principal de perforación; sin embargo, existe una gran diferencia en cuánto a su estructura principal que le brinda soporte a dicha operación.

Inicialmente las operaciones de perforación de pozos costa afuera comenzaron siendo muy sencillas; debido a su cercanía de las costas y la poca profundidad en la cual se ejecutaban, destinando unidades de perforaciones convencionales usadas en tierra firme colocadas sobre muelles o sistema de plataformas poco profundas; las cuales fueron adaptadas y modificadas para ser empleadas en aguas lacustres, lagos y aguas llanas localizadas muy cerca de la costa.

A medida que se fueron produciendo nuevos descubrimientos de yacimientos de hidrocarburos, localizados progresivamente a mayor distancia de la costa; la ingeniería aplicada al desarrollo de las unidades de perforación desarrollaron estructuras más estables y de mayor capacidad operativa; permitiendo así el desarrollo de nuevas técnicas y tecnologías, con el fin de adaptarse a éstas condiciones, llegando así a la tecnología existente hoy en día.

Básicamente la unidad de perforación costa afuera, se encuentra soportada operativamente en una estructura metálica o de concreto (ver figura III.9); la cual se define con un concepto generalista como: plataformas de perforación. Estas estructuras definida técnicamente, como estructuras que poseen altos niveles de

rigidez y en algunos casos con propiedades de flotación, operativamente se encuentran sobre el nivel de agua, y poseen como función básica el brindar soporte operativo a las labores de perforación de un pozo y seguidamente, al término de las operaciones de perforación esta estructura o plataforma, se convierte en una unidad apoyo en los procesos de producción.

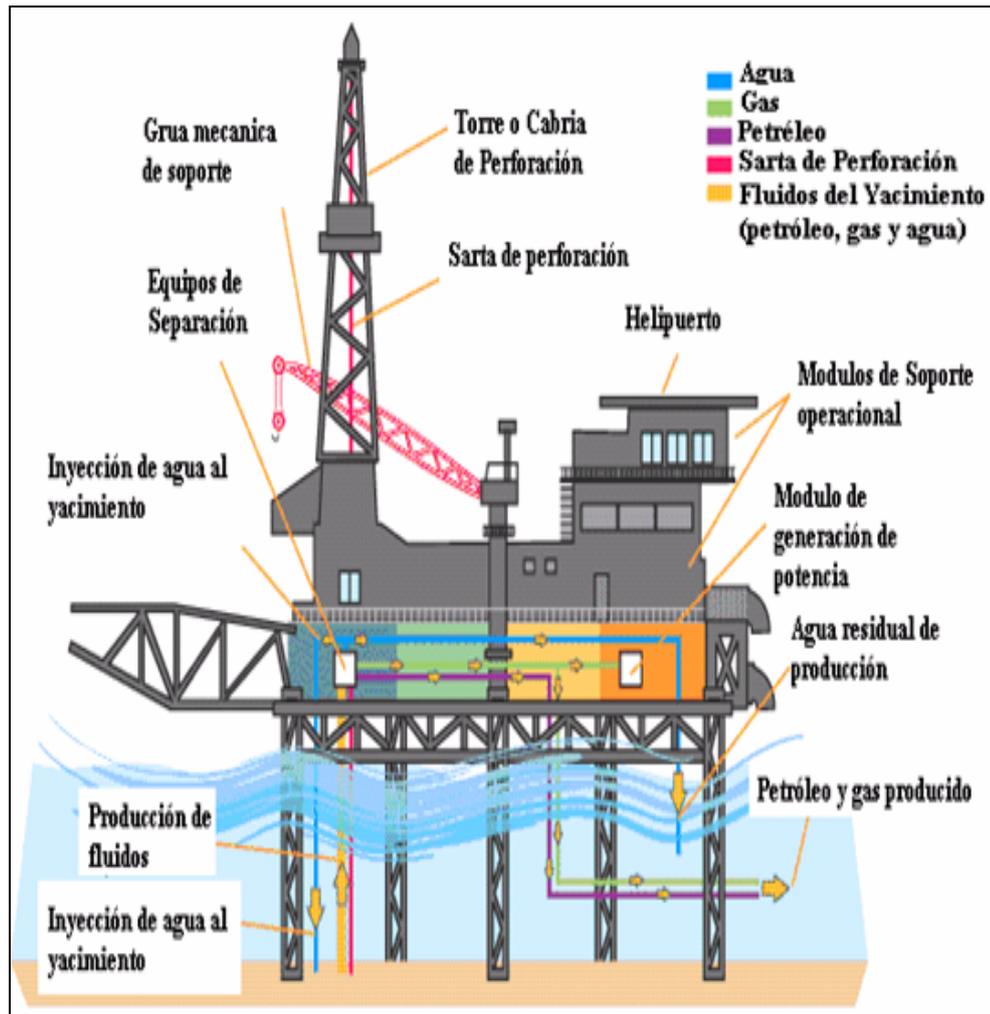


Figura III.9. Plataforma de perforación costa afuera ^[6]

Las plataformas de perforación costa afuera pueden ser clasificadas a través de la evaluación de tres variables fundamentales como: profundidad operativa, grado de movilidad y nivel de independencia operativa. Estas variables cobran gran importancia desde el mismo momento de inicio de la etapa de diseño, la construcción y la selección adecuada para el desarrollo de una operación de perforación costa afuera.

Estas estructuras o plataformas poseen características estructurales y sistemas constructivos que les confieren altos grados de estabilidad que las distinguen del resto de las estructuras y equipos usados para brindar apoyo en las operaciones del sector petrolero; disminuyendo los efectos provocados por las cargas generadas por las fuerzas naturales como el viento y las fuerzas hidrodinámicas.

Otras características muy representativas de este tipo de estructuras es la gran envergadura que poseen, y los sistemas de fijación, ya sean con extremidades fijas sujetas al lecho marino, sistemas de guayas fijadoras o anclajes y los sistemas motores de auto-propulsión de de posicionamiento dinámico. En la parte superficial de la plataforma se encuentran ubicados todos los sistemas y equipos que brindan el soporte a las operaciones a desarrollar, como lo indica la figura III.9.

La clasificación de las unidades de perforación costa afuera, se basa en la evaluación e tres variables fundamentales, como se menciona anteriormente, estas cobran gran importancia desde el primer momento del diseño hasta finalizar con la selección de dicha unidad para la operación, tal como se esquematiza en la tabla III.2.

Tabla III.2. Clasificación de las estructuras o plataformas de perforación costa afuera

Clasificación de las Unidades / Plataformas de Perforación Costa Afuera		
Grado de Movilidad	Profundidad Operativa	Independencia Operativa
Unidades Fijas	Unidades para aguas Someras	Unidades Auto-abastecibles
Unidades Móviles	Unidades para aguas Semi-Profundas	Unidades No Auto-abastecibles
	Unidades para aguas Profundas y Ultra-profundas	

El grado de movilidad y los rangos de profundidades que se pudiese alcanzar con una unidad de perforación costa afuera, son las variables que cobran mayor jerarquía para la selección de una unidad o plataforma de perforación costa afuera.

Gran parte de las unidades de perforación costa fuera no poseen sistemas de auto propulsión, por lo cual antes de ser posicionadas sobre el punto exacto de la localización de interés, son transportadas por medio de un transporte de arrastre o unidades remolcadoras o barcasas remolcadoras.

Una vez situadas en la localización de interés; las unidades de perforación son colocadas y fijadas; según sea el caso del tipo de estructura, estas se fijan al lecho marino permanentemente o de modo temporal, considerándose legalmente como islas temporales, proporcionándoles alto grado de estabilidad y anulando el mayor número de grados de libertad que sea posible que pudiesen generar algún tipo de desplazamiento durante el desarrollo de las operaciones de perforación.

Al término de la operación de perforación y completación del pozo localizado costa afuera, estas unidades de perforación deben ser remolcadas y posicionadas sobre una siguiente localización; al igual que su fase inicial de colocación sobre las coordenadas de interés, la operación de traslado se realiza por medio de unidades auxiliares o barcasas de arrastre; al menos que las unidades posean sistema de autopropulsión independiente, lo que les permite moverse sin ayuda de unidades auxiliares.

III.3.2 CLASIFICACION DE LAS UNIDADES/PLATAFORMAS DE PERFORACIÓN COSTA AFUERA, DEACUERDO A MOVILIDAD OPERATIVA ^{[8] [12] [15] [16]}

Considerando el rango de movilidad como variable de diseño y selección de las unidades de perforación, como la restricción de los grados de libertad a moverse a consecuencia de la acción de las fuerzas hidrodinámicas que generarían

movimientos o perturbaciones dinámicas durante el desarrollo de la perforación; se puede establecer la siguiente clasificación:

- Unidades de perforación fijas o plataformas fijas.
- Unidades de perforación móviles o plataformas móviles.

III.3.2.1 UNIDADES DE PERFORACIÓN FIJAS ^{[8][12][15]}

Este tipo de unidades de perforación son colocadas y erigidas directamente sobre el lecho marino, y generalmente se construyen con estructuras de acero o concreto. En este tipo de unidades o plataformas se plantea la diversidad de diseños, derivados de dos tipos de estructuras base: la primera, es una estructura tubular construida en acero, que posee una configuración de cuatro (4) patas que le brinda soporte al peso que genera la estructura. El otro tipo de estructura se basa, en el levantamiento de dos (2) o cuatro (4) patas de acero reforzadas con concreto de alta resistencia; las cuales al igual que diseño anterior soportan la totalidad del peso generado por la estructura.

Este tipo de estructuras o plataformas de perforación fijas, generalmente son construidas fuera del medio marino, llevadas al sitio de la perforación mediante sistemas flotantes y de arrastre; una vez colocados, son erigidos verticalmente sobre el lecho marino y fijados al mismo mediante el uso de estructuras de apoyo o grúas situadas en unidades flotantes.

Dentro de este tipo de unidades se encuentran:

- Plataformas fijas o *Fixed Jacket*.
- Estructuras de Bases de Concreto o *Concrete Gravity Based Structure (GBS)*.
- Plataforma de Base Flexible o *Compliant tower platform (CPT)*.

Las plataformas consideradas como unidades fijas (*Jacket*, *GBS* y *CTP*), pueden alcanzar por lo general profundidades operativas de columnas de agua que se encuentren desde 250 m. (aproximadamente 800 pies) hasta 500 m. (aproximadamente 1.600 pies) y poseen un peso estructural de hasta 600 toneladas al aire.

Este tipo de unidades, una vez colocadas en la posición de interés; son fijadas al lecho marino por medio de sistemas de anclajes y ayudando su fijación la acción de fuerza de compresión que ejerce el propio peso estructural de la plataforma sobre el lecho marino. Es así que se restringen las posibilidades de movimiento en todas las direcciones, disminuyendo los efectos de perturbación dinámica a la operación de perforación producidos por las fuerzas hidrodinámicas sobre las estructuras.

III.3.2.2 UNIDADES DE PERFORACIÓN MOVILES ^{[8][15][16]}

Ya definidas las unidades de perforación fijas o las plataformas fijas, las cuales poseen como principal característica la total supresión de los rangos de movilidad, impidiendo su desplazamiento durante la operación de perforación; se pueden encontrar otro tipo de estructuras o plataformas de perforación costa afuera, en las cuales la supresión de los rangos de movilidad no se considera total.

Estas unidades o plataformas las podemos clasificar como unidades de perforación móviles, las cuales al igual que las unidades fijas, deben ser llevadas al sitio de coordenadas de interés por medio de unidades auxiliares o barcazas de arrastre o por medio de sistemas de auto-propulsión de las propias unidades de perforación, una vez colocadas sobre la localización o el área de interés, estas son sujetas y fijadas al lecho marino por medio de sistemas de anclajes especiales, compuestos por sistemas de guayas o cables de tensión y sistemas de anclas de gran envergadura, que proporcionan un rango de estabilidad menor al de las estructuras consideradas como fijas. Los desplazamientos producidos por la

acción de las fuerzas hidrodinámicas sobre la estructura de ese tipo de unidades, se mantienen controlados, más no eliminados.

Dentro de este tipo de unidades se encuentran:

- Unidad Sumergible.
- Unidad Semi-sumergible.
- Plataforma Semi- Fija o *Jack-up*.
- Plataforma de Bases Tensionadas o *Tension Leg Platform (TLP)*.
- Plataformas Tipo Cilindro o *Spar Platform*.
- Plataforma de Base Estrellada o *Starsea Platform*.
- Plataforma de Base Atirantada o *Guyed Tower Platform*.
- Barcazas o gabarras de perforación.
- Barcos perforadores o *Drillship (DP)*.

Estas unidades de perforación básicamente se diseñan bajo el concepto de desarrollo e innovación de una unidad base de perforación semi-sumergible; y en oportunidades se presentan casos donde se combinan diseños que adecuan desarrollos de plataformas fijas con desarrollos de sistemas flotantes; como es el caso de las unidades de perforación semi-sumergibles, *LTP* y los sistemas de perforación de plataformas de base estrellada o *starsea platform*; unidades de perforación que poseen estructuras estables de gran envergadura que tienen que ser ancladas al lecho marino y provistas de sistemas de posicionamiento dinámico.

Este tipo de unidades de perforación semi-fijas poseen la peculiaridad de que pueden operar en un amplio rango de profundidad; pueden establecerse profundidades operativas desde 30 m. (100 pies), hasta profundidades operativas de 3000 m. (aproximadamente 10.000 pies).

Las barcazas de perforación y los barcos de perforadores, son unidades navales clasificadas como unidades flotantes, las cuales se basan en la construcción básica

de una estructura de navegación; que de acuerdo a su magnitud y su estructura se puede asignar diferentes rangos de operatividad en las actividades de perforación de pozos costa afuera o en aguas semi-profundas que no sobrepasan los 300 m. (aproximadamente 1.000 pies).

III.3.3 CLASIFICACION DE LAS UNIDADES/PLATAFORMAS DE PERFORACIÓN COSTA AFUERA, DEACUERDO A RANGO DE PROFUNDIDAD OPERATIVA ^{[8] [12] [15] [16]}

La profundidad de la columna de agua operativa como factor determinante al momento del diseño y planificación de un programa de perforación costa afuera, cobra gran interés cuando se presenta la interrogante de que tipo de unidad de perforación debe usarse. Es por esto que se pueden clasificar los sistemas o unidades de perforación costa afuera según sea el rango de la profundidad operativa en la cual pueda realizar la operación de perforación.

Estos rangos de profundidad operativa se basan en la clasificación de la profundidad de las aguas; y en consecuencia se puede establecer la siguiente clasificación de las unidades o plataformas de perforación costa afuera, como lo muestra la tabla III.3

Tabla III.3. Clasificación de las unidades de perforación costa afuera, según su rango de profundidad operativa.

Profundidad Operativa de la Columna de Agua	Unidad de Perforación Costa Afuera
1 m. (3,28 pies) - 100 m. (328 pies)	Unidad de perforación de aguas someras
100 m. (328 pies) - 500 m. (1640 pies)	Unidad de perforación de aguas semi-profundas
500 m. (1640 pies) - 2000 m. (16.561 pies)	Unidad de perforación de aguas profundas
> 2000 m. (16.561 pies)	Unidad de perforación de aguas ultra-profundas

En un primer caso se puede establecer que existen unidades de perforación costa afuera que operan en aguas someras las cuales en general no sobrepasan los 100 m. (328 pies); y se encuentran ubicadas dentro de los márgenes de la costa y la plataforma continental. Dentro de este rango de profundidad podemos encontrar unidades de perforación de aguas someras o llanas, como:

- **Barcazas o gabarras de perforación;** 10 m. (32,6 pies) @ 70 m. (aprox. 230 pies).
- **Sumergible;** 15 m. (49pies) @ 50 m. (164 pies).
- **Plataformas fijas o *Fixed jacket*;** estas puede operar en profundidades que rondan 100 m. (328 pies).

En aguas consideradas como semi-profundas, en las cuales el rango de profundidad se encuentra variable entre 100 m. (328 pies) hasta 500 m. (1640 pies), profundidades que se encuentran a las márgenes del borde pre-continental y se extienden hacia las llanuras abisales. Dentro de este rango de profundidad podemos encontrar unidades de perforación de aguas semi-profundas, como:

- **Plataformas semi-fijas o *Jack-up*;** entre 110 m. (360 pies) hasta 400 m. (1312 pies).
- **Plataformas fijas o *Fixed jacket*;** hasta 450 m. (1476 pies).
- **Estructura de Base de Concreto o *Concrete Gravity Based Structure (GBS)*,** operativas en aguas próximas a los 1000 m. (3280 pies).
- **Plataforma de Bases Flexibles o *Compliant Tower Platform (CPT)*,** operativas en aguas de profundidades a partir de 450 m. (aprox. 1500 pies) hasta los 1000 m. (3280 pies).

En el rango de profundidad que se encuentra entre los 500 m. (1640 pies) y 2000 m. (6561 pies), catalogadas como aguas profundas y donde se presentan los retos más grandes en lo que respecta a la perforación costa afuera. Estas profundidades se encuentran distribuidas en los grandes océanos en las zonas comprendidas por las llanuras abisales. Dentro de este rango de profundidad podemos encontrar unidades de perforación de aguas semi-profundas, como:

- **Semi- sumergibles,** con un amplio rango de profundidad operativa; desde los 700 m. (aprox. 2300 pies) hasta profundidades de 2000 m. (6561 pies).

- **Barcos perforadores o *Drillship***, los cuales poseen un amplio rango de acción, ya que pueden operar en profundidades semi-profundas y profundas; sin embargo la industria prefiere destinarlos a las aguas profundas entre los 500 m. (1640 pies) y los 1500 m. (4921 pies).
- **Plataforma de Bases Atirantadas o *Guyed Tower Platform***, operativas en aguas cercanas a los 600 m. (aprox. 1970 pies).
- **Plataforma de Base Estrellada o *Starsea Platform***, entre los 150 m. (500 pies) y los 1050 m. (3500 pies); sin embargo la industria prefiere destinarlos a las aguas profundas.
- **Plataforma de Bases Tensionada o *Tension Leg Platform***, operativas en aguas profundas que se encuentren entre los 600 m. (1968 pies) y los 2000 m. (6561 pies).

En el último rango de profundidad establecido; el cual se encuentra comprendido en aguas que superan profundidades de 2000 m. (6561 pies), y las cuales se les catalogan como aguas ultra-profundas; y realmente ocupan gran parte de las zonas consideradas marinas. Dentro de este rango de profundidad podemos encontrar unidades de perforación de aguas semi-profundas, como:

- **Plataforma de Base Cilíndrica o *Spar platform***, operativas en aguas ultra-profundas que se encuentran entre los 1500 m. (4620 pies) y profundidades superiores a los 2000 m. (6561 pies).

III.3.4 CLASIFICACION DE LAS UNIDADES/PLATAFORMAS DE PERFORACIÓN COSTA AFUERA, DEACUERDO A RANGO DE INDEPENDENCIA OPERATIVA ^{[8] [12] [15] [16]}

Según este criterio de selección de las unidades de perforación costa afuera; el cual se basa en el grado de independencia operativa, se encuentran dos clases de instalaciones (ver tabla III.4):

Tabla III.4. Plataformas de perforación costa afuera, según su rango de independencia operativa.

Unidades/Plataformas de perforación Costa Afuera	
Según la capacidad de almacenamiento de fluidos operativos de perforación, y el posterior almacenamiento de fluidos de producción	
Abastecimiento y almacenamiento de fluidos de perforación / Apoyo de unidades auxiliares de almacenamiento de fluidos de producción	Abastecimiento y almacenamiento de fluidos de perforación; y fluidos de producción sin el apoyo de unidades auxiliares de almacenamiento
No Auto-Abastecibles	Auto-Abastecibles
Barcazas y Gabarras de perforación Unidades Sumergibles Plataformas Fijas o <i>Fixed Jacket</i> Plataforma de base flexible o <i>CPT</i> Plataforma semi fija o <i>Jack Up</i> Unidad Semi-sumergible Plataforma de base tensionada o <i>LTP</i> Barcos perforadores o <i>Drillship</i>	Estructura de base de concreto o <i>GBS</i> Unidad semi-sumergible Plataforma de base tensionada o <i>LTP</i> Barcos perforadores o <i>Drillship</i>

Este grado de independencia operativo se encuentra definido por la capacidad que posee la instalación para realizar la totalidad o en su defecto el mayor número de operaciones, sin la necesidad presente de obtener el soporte de cualquier otra instalación auxiliar, como alguna plataforma de producción o grandes embarcaciones de almacenamiento de apoyo, que provean el apoyo para el almacenamiento de fluidos operacionales, como fluidos de producción.

Operativamente se puede decir que ninguna unidad de perforación costa afuera se puede considerar totalmente independiente, ya que estas se encuentran logísticamente ligadas y dependientes de otras series de equipos e instalaciones que le brindan algún tipo de soporte o apoyo para culminar efectivamente cualquier operación que este realizando; sin embargo se consideran de alto grado de independencia operativa aquellas instalaciones o unidades de perforación que poseen dentro de sus módulos confortantes, un modulo de almacenamiento de grandes volúmenes de fluidos; tanto de fluidos necesarios para realizar operaciones de perforación, como el almacenamiento de grandes volúmenes de fluidos provenientes de las operaciones de producción como; petróleo, gas y agua.

La colocación de sistemas de tanques de almacenamiento de fluidos dentro de las unidades de perforación es un factor que se discute enfáticamente durante el proceso de diseño y construcción de las mismas, ya que esto aumenta los niveles de envergadura de las estructuras, y requieren la colocación de complejos sistemas de interconexiones y control de fluidos, que deben ser controlados segundo a segundo; así como también representan un gran aumento en los costos operativos de construcción de las estructuras que darán soporte a las operaciones de perforación y la posterior fase de producción. Sin embargo este factor contribuye a largo plazo a la disminución de los niveles de OPEX o costos operativos que requieren las operaciones de perforación y producción.

Por lo general las instalaciones que están provistas de módulos de almacenamiento de grandes volúmenes de fluidos, son aquellas estructuras o instalaciones de perforación de gran envergadura y que han sido diseñadas para permanecer en localizaciones donde se requiere estar aislados por largos períodos, e involucrar otros equipos auxiliares, convertirían económicamente no rentable el desarrollo de las operaciones.

III.4 DESCRIPCION DE UNIDADES / PLATAFORMAS DE PERFORACION COSTA AFUERA

III.4.1 BARCAZAS O GABARRAS DE PERFORACIÓN ^{[8] [16] [19]}

Este tipo de unidades de perforación costa afuera; es una unidad de navegación o barcaza flotante de estructura muy simple y especialmente diseñada para la perforación de pozos en aguas poco profundas o ambientes de condiciones ambientales muy dóciles. Esta embarcación de perforación se encuentra especialmente conformada por una estructura monocasco o de una sola coraza externa, que geoméricamente y estructuralmente están concebidas como una caja con propiedades de flotabilidad, como se muestra en la figura III.10; las cuales son equipadas provistas con todos los aparejos y equipos necesarios para realizar labores de perforación.



Figura III.10. Unidad de perforación costa afuera en aguas lacustres, gabarra de perforación ^[19]

Este tipo de unidades de perforación por lo general carecen de sistemas de autopropulsión independiente, por lo cual tienen que ser remolcadas por medio de embarcaciones auxiliares remolcadoras, hasta ser colocadas en la localización de interés. Sin embargo en la actualidad se han diseñado versiones de esta unidad de perforación provistas de sistemas de autopropulsión independiente, lo cual le brinda mayor independencia de movilidad y operatividad.

Las unidades de perforación dispuestas sobre barcasas o gabarras, son unidades operativas que poseen un rango de profundidad operativa muy limitado, ya que estas están diseñadas y dispuestas para realizar operaciones en cuerpos de aguas consideradas llanas; que sus profundidades no sobrepasen los 45 m (98 pies); sin embargo existen barcasas o gabarras que han sido especialmente diseñadas para poder operar en profundidades cercanas a los 70 m. (aprox. 230 pies), en las cuales las condiciones climáticas y las fuerzas hidrodinámicas son consideradas como aptas para el desarrollo de las operaciones de perforación, sin afectar el desarrollo de las operaciones.

Después de realizar las operaciones de perforación en aguas poco profundas, por lo general estas unidades son desprovistas de los aparejos de perforación para ser dispuestas como unidades de apoyo a las operaciones de producción, representando este tipo de unidades el principal apoyo en las operaciones costa afuera en aguas llanas. Las ventajas del uso de este tipo de unidades de perforación en la ejecución de las operaciones, son las siguientes:

- Posee una amplia zona en cubierta, que permite la disposición e instalación de diversos equipos y aparejos para ejecutar las operaciones y procesos.
- Este tipo de unidades de perforación posee capacidad de almacenaje, tanto de material necesario para realizar las operaciones, como capacidad de almacenamiento de fluidos producidos del pozo una vez realizado las operaciones de perforación.
- Es una unidad que posee versatilidad para realizar diversas operaciones, ya sean de perforación o de producción. Su configuración estructural sencilla le permite la conversión y re-disposición de equipos y módulos operativos.
- Las barcasas o gabarras de perforación, son unidades de bajo costo constructivo y operacional; que se puede construir en cualquier astillero o taller de mediano a gran calado.
- Poseen una plataforma, que opera con un cabezal de pozo o *well-head* simple.
- Este tipo de unidades puede emplear sistemas de tubería continuas, que le confiere mayor flexibilidad durante las operaciones de perforación.

Sin embargo las barcasas o gabarras de perforación, por ser unidades de baja envergadura con respecto al resto de las unidades de perforación; poseen algunas desventajas que las limitan en los rangos operacionales en la ejecución de las actividades de perforación, tales como:

- Las características geométricas y estructurales, que le confieren una forma de caja; lo cual hace que sufra en mayor intensidad los embates de las fuerzas hidrodinámicas de las corrientes marinas y los sistemas de oleaje.
- Posee un número máximo en cuanto a la capacidad de pozos a perforar desde una misma barcaza o gabarra. Este número máximo de pozos que puede ser manejado por este tipo de unidad de perforación es de 8 pozos.
- Rango de profundidad operativa limitada, entre profundidades desde 15 m (aprox. 50 pies) hasta profundidades críticas para estas unidades de 70 m (aprox. 230 pies).
- Para el desarrollo de las operaciones de perforación con este tipo de unidades, se hace inminente que existan buenas condiciones meteorológicas.
- Las barcazas o gabarras de perforación no son unidades que permiten desarrollar operaciones de mantenimiento o *Works-over*.

III.4.2 UNIDAD DE PERFORACIÓN SUMERGIBLE ^{[8][12][16]}

Cuando se identifica la existencia de un yacimiento de hidrocarburos prospecto, el cual se encuentra en una zona pantanosa o de marisma, como las que predominan a lo largo del borde interno del Golfo de México y algunas zonas de lagos y ríos del Oeste de África, la presencia de los cuerpos de agua representan un problema para los equipos de perforación, ya sea para ubicarse en la localización prevista, como el desarrollo mismo de las operaciones de perforación.

El inicio de este tipo de unidades de perforación, comienza con el traslado de los equipos de perforación y servicios a las zonas requeridas de poca profundidad, consideradas como llanas, donde la profundidad operativa de la columna de agua que pudiera manejar la unidad no sobrepasa los 55 m. (180 pies); por medio del uso de embarcaciones que permitan la adecuación una carga dinámica de lastre, permitiendo la generación de estabilidad de la embarcación durante el proceso de perforación de los pozos.

La conformación estructural de este tipo de unidad de perforación sumergible, es bastante sencillo; esta posee una estructura de doble casco o dos corazas de protección, una exterior y otra de protección interna, que dan integridad y estabilidad a la embarcación contra las fuerzas hidrodinámicas que actúan sobre la misma. El casco exterior o mas superficial estructuralmente hace referencia a una gran "T" resguardada como se observa en la figura III.11; en su interior se encuentran los módulos destinados al personal que realiza las operaciones y otros módulos destinados a los equipos e instrumentación de la unidad de perforación y tanques de almacenamiento.

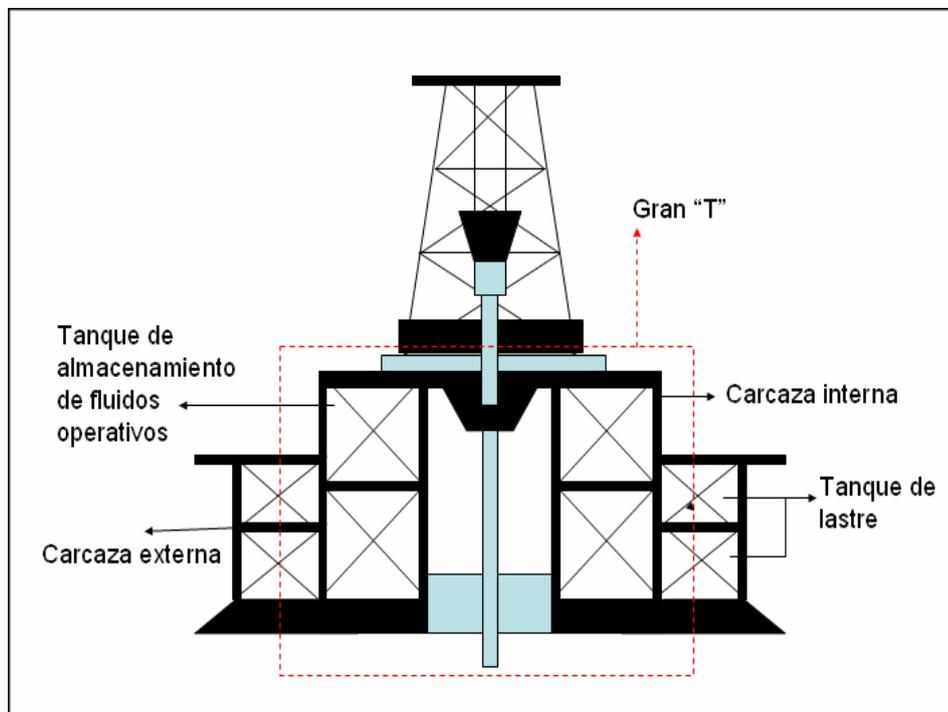


Figura III.11 Unidad de perforación sumergible costa afuera.

En versiones más recientes se han realizado diseños de estas unidades que poseen una estructura de columnas flotantes; conocidas en la industria como *milk bottles* o botellas de leche, por el parecido de su configuración geométrica interna, y su respaldo al momento de la generación de estabilidad cuando se encuentra sumergida o flotando.

La operación de perforación se lleva a cabo a través de ranuras o hendiduras deslizantes, que se retraen hacia el centro de la unidad; ya que el equipo de perforación se encuentra situado en la cubierta de la unidad de perforación, en la parte posterior de la unidad. El casco inferior se encuentra destinado al área de lastre y solo puede ser usada como base para la fundación durante la operación de perforación.

Las unidades de perforación sumergibles por su configuración estructural poseen la capacidad de flotabilidad, con lo cual pueden ser remolcadas hasta ser colocadas en el área o zona de interés, mediante el uso de barcasas convencionales remolcadoras o en muchos casos las unidades sumergibles cuentan con sistemas de propulsión. Una vez posicionada la unidad en la localización, esta empieza a realizar el llenado de la zona de lastre con agua propia de la fuente o medio donde se perfora, aumentando así el peso total de la unidad de perforación; provocando que la carcasa inferior descansa sobre el lecho marino y que la unidad de perforación posea mayor estabilidad.

Cuando se realizan operaciones con este tipo de unidades de perforación sumergibles, la estabilidad se convierte en un factor crítico de mucha importancia, ya que la unidad se podrá considerar totalmente estable o pseudo estable, cuando se culmine el procedimiento de llenado en la zona de lastre lo cual permite el asentamiento de la carcasa inferior sobre el lecho marino; minimizando los efectos de las corrientes marinas y sistemas de oleaje, fuerzas no controladas; sin embargo se han diseñado sistemas para ayudar a atenuar los efectos de las mismas, como la colocación de cúmulos de bolsas de arenas o cuerpos de arenas a lo largo y ancho de las unidades de perforación sumergible.

Este tipo de unidades de perforación hoy en día no son comunes, ya que el avance de nuevos descubrimientos obliga a realizar operaciones en aguas más profundas, donde las corrientes marinas generan mayor impacto sobre este tipo de unidad perforadora.

III.4.3 PLATAFORMA FIJA O *FIXED JACKET* ^{[12][15][16]}

Las plataformas fijas o *fixed jacket*, son estructuras de gran envergadura; que por su diseño y construcción poseen altos niveles de estabilidad y rigidez una vez colocadas sobre el área de interés para el desarrollo de la operación de perforación.

Por su disposición constructiva y características propias de la estructura de las plataformas fijas, son usadas en operaciones de perforación de pozos costa afuera que se localizan en aguas poco profundas, con rangos operativos de profundidades que no sobrepasen los 100 m. (328 pies) y que se encuentren ubicados sobre el margen externo de la plataforma continental.

Este tipo de estructuras costa fuera, geoméricamente poseen un diseño constructivo que se basa en una estructura del tipo telescópico (ver figura III.12), construida estructuralmente en acero; dicha estructura es soportada sobre el lecho marino por la configuración de 4 piernas o líneas de soporte principales, las cuales se encuentran vinculadas entre si por una serie de cuerpos cortantes entre las piernas; y son las encargadas de la generación de estabilidad de la estructura.

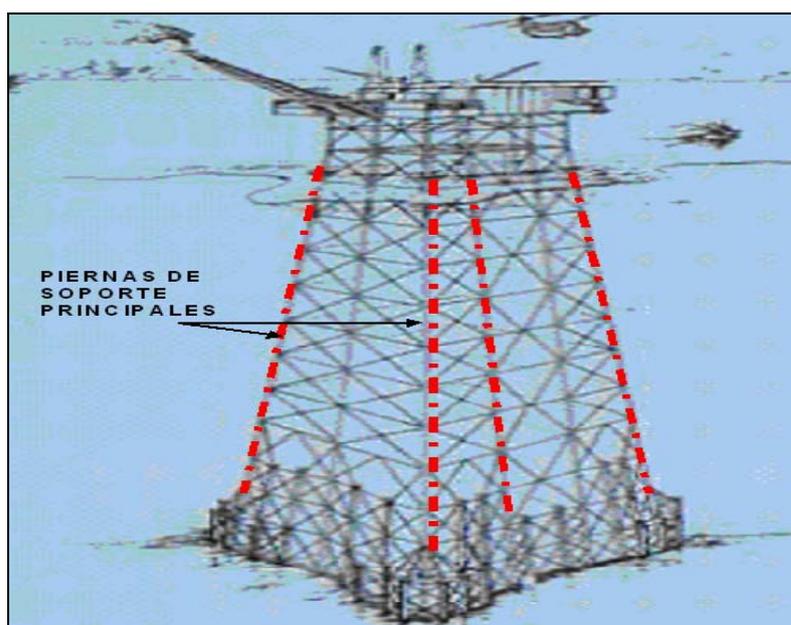


Figura III.12 Plataforma fija costa afuera ^[12]

Entre las características técnicas que se pueden resaltar de este tipo de plataformas fijas o *fixed jacket*, se encuentran las siguientes:

- Rango de profundidad operativa muy limitada, se restringe a aguas que no sobrepasen la profundidad de la plataforma continental. Requiere otras embarcaciones de apoyo para su traslado y colocación.
- Alto grado de estabilidad, y soporte. La estructura puede soportar cargas entre las 20.000 ton. hasta 40.000 ton.
- Estructuralmente las plataformas *jacket* no están diseñadas para soportar una capacidad de almacenamiento directo proveniente de la producción. En consecuencia, la producción tiene que ser bombeada a otras instalaciones de almacenamiento flotante como: los sistemas d producción flotante o cargueros; en Estructuras en aguas no cercanas a la costa la producción es bombeada a tanques de recepción ubicados en tierra firma.
- Este tipo de estructuras se pueden construir por secciones.

III.4.4 ESTRUCTURAS DE CONCRETO O *CONCRETE GRAVITY BASED STRUCTURE (GBS)* ^{[12] [15] [16]}

Este tipo de estructuras costas afuera generalmente consiste en la construcción y colocación de una colmena compuesta por un número determinados de celdas o tanques de almacenamiento en la parte inferior de la estructura y el levantamiento de tres a cuatro piernas o torres de soporte, construídas estructuralmente de acero y reforzadas con concreto, que en su parte superior se situara el top-side o plataforma de operación, como se observa en la figuras III.13 y figura III.14.

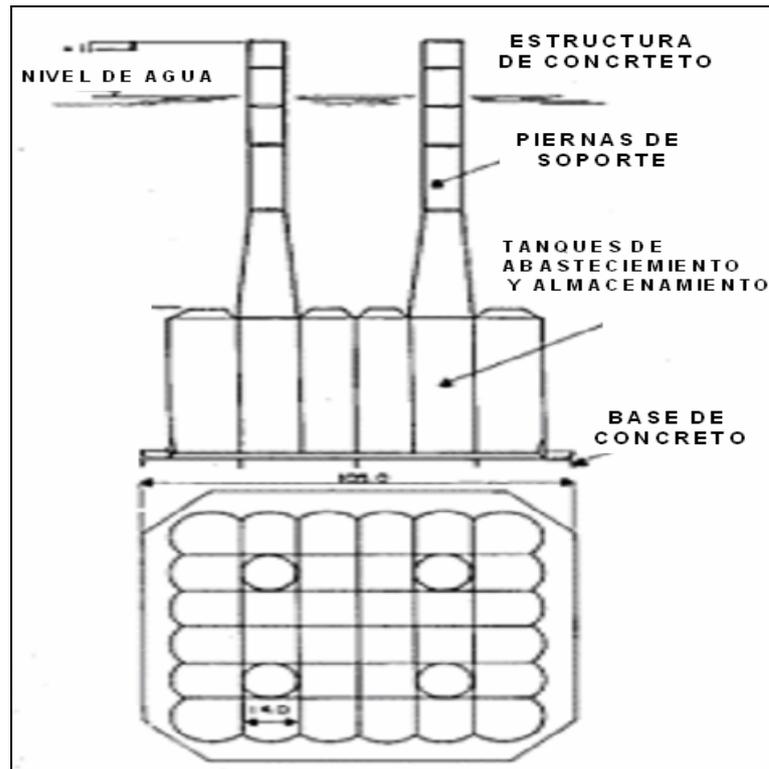


Figura III.13 Configuración de la colmena de tanques de almacenamiento en un GBS. [15]

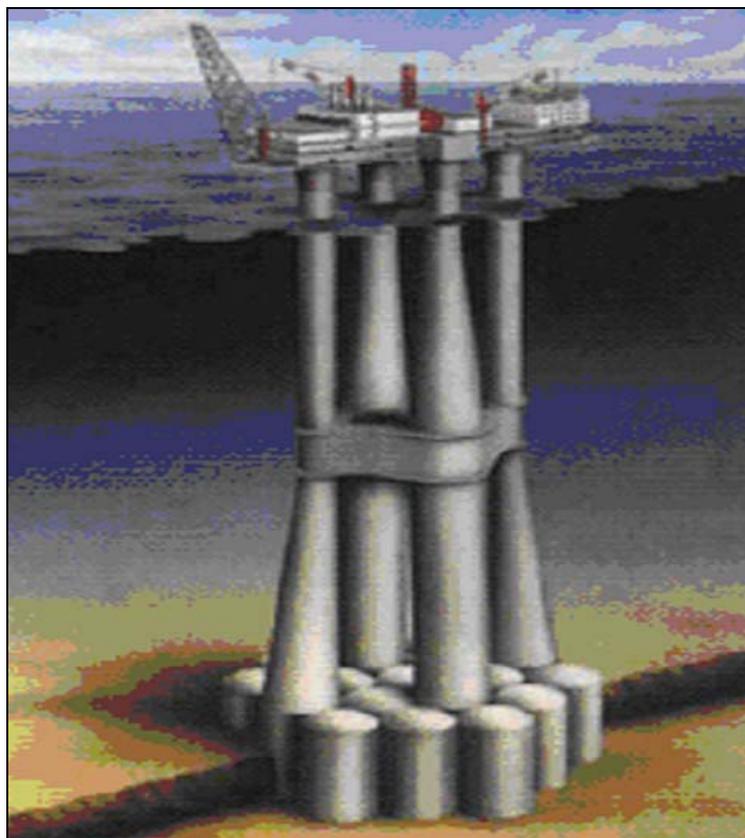


Figura III.14 Plataforma fija de concreto o *Concrete Gravity Based Structure (GBS)*. [8]

Estructuras de concreto o *Concrete Gravity Based Structure* (GBS, por sus iniciales en inglés), son instalaciones costa afuera que por su alto costo constructivo es económicamente factible su uso para la perforación de pozos costa afuera ubicados en un rango de profundidad considerado profundo entre los 500 m. (1640 pies) hasta los 750 m. (2460 pies) de profundidad.

Estas estructuras son asentadas en el fondo del mar y debido a su gran peso, adquieren altos niveles de estabilidad y rigidez. La operación de perforación se lleva a cabo similar al resto de los equipos de perforación costa afuera; la estructura o plataforma esta provista de una de perforación la cual es transportada fuera de plataforma entre de dos de las piernas o torres de soporte, mientras una tercera pierna brinda el soporte para las operaciones de perforación y producción. La cuarta pierna o torre de soporte (si existe) puede ser usada para almacenar fluidos usados para la generación de energía y potencia y suministrarlo a la estructura, al igual que fluidos provenientes de las operaciones de perforación, como el agua de perforación o agua residual de operación.

Son varios los esquemas constructivos que se emplean para la construcción de los tanques de almacenamiento en la parte inferior de la estructura, las compañías encargadas de la construcción utilizan principalmente:

- **Chaqueta de acero:** son secciones verticales hechas de miembros de acero tubulares, y se llenan generalmente en el fondo del mar.
- **Concreto flotante:** son estructuras de almacenaje en tanques debajo de la superficie del mar y estos tanques son de uso frecuente como capacidad de la flotación, permitiendo que sean construidos cerca de la orilla y después se desplazan flotando y arrastrados por embarcaciones de apoyo hasta su posición final donde se hunden al fondo del mar.

La ventaja de este tipo de instalaciones es que al igual que las plataformas fijas, estas pueden ser construidas en tierra firme o en aguas de estuarios, para luego ser

remolcadas hacia la zona donde se instalará finalmente y posteriormente terminar de construir e instalar el top-side o plataforma de operaciones de la estructura. Sin embargo la decisión de usar este tipo de estructuras costa afuera requiere el análisis de diversos factores. Estos factores son los siguientes:

- La necesidad de mantener operaciones de producción continúa.
- Evaluar el costo que acarrearía la construcción de poli-ductos o ductos hacia las líneas costeras y tierra firme.
- Evaluar la posibilidad de reflote y remoción de la estructura después que el yacimiento haya alcanzado su etapa en la cual no es económicamente rentable seguir su explotación.

III.4.5 PLATAFORMA DE BASE FLEXIBLE O *COMPLIANT TOWER PLATFORM (CPT)* ^{[8] [12] [15] [16]}

Esta clase de estructuras costa afuera, como su nombre lo dice son estructuras que poseen articulaciones que le permiten la gravitación y dosificación de los esfuerzos generados sobre la estructura por las fuerzas hidrodinámicas. Las *compliant tower* son unas estructuras muy similares a las estructuras o plataformas fijas, con variación en el diseño que no se considera una estructura telescópica, si no que mantiene sus dimensiones a lo largo de toda pierna o torre que le brinda soporte al top-side o plataforma de operaciones ubicada en la superficie de la misma. La estructura mantiene una condición de flotabilidad por medio de un collar flotante localizado justo por debajo de la plataforma de operaciones y sobre la superficie del agua.

Al igual que las plataformas fijas, las CPT; están construidas de acero y poseen una configuración de 4 líneas de soporte o piernas de soporte principales (ver figura III.15), las cuales se encuentran vinculadas entre si por una serie de cuerpos cortantes entre las piernas, encargadas de la generación de estabilidad de la

estructura. Sin embargo existen diseños d este tipo de estructuras que se construyen empleando el concreto o la combinación del acero y el concreto.

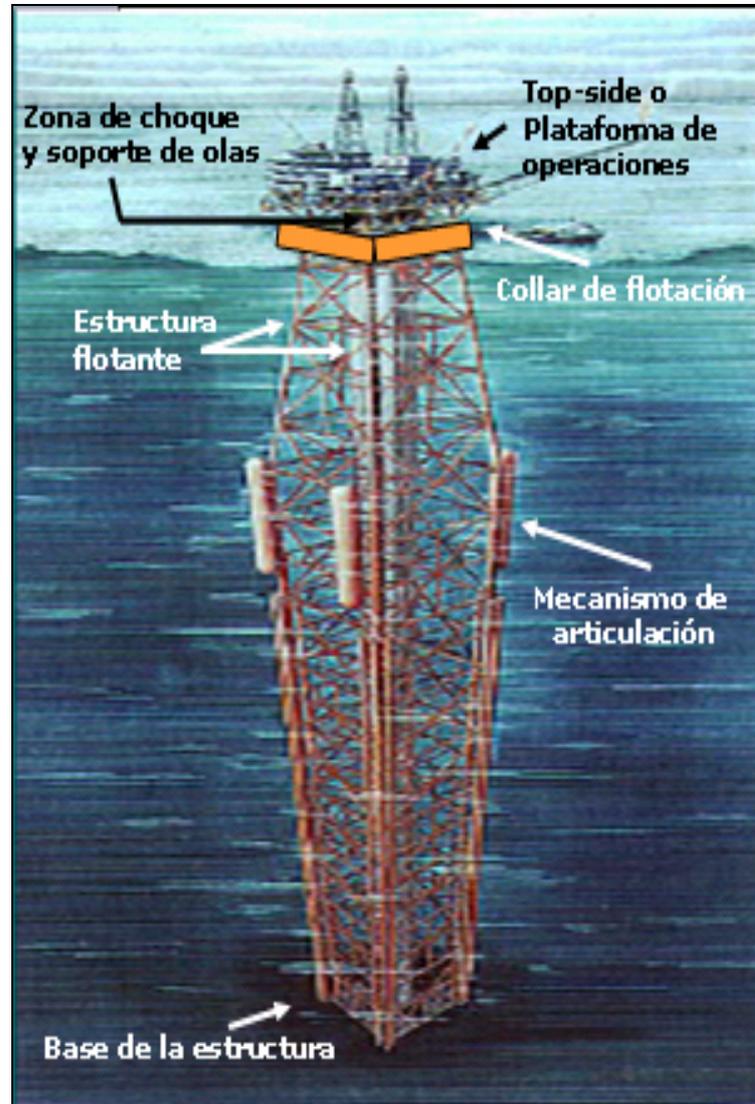


Figura III.15. Configuración de la plataforma de base flexible o *compliant tower platform (CPT)* ^[15]

Las CPT, son estructuras costa afuera conformadas por varios módulos independientes, que del efectivo desempeño de cada uno de ellos depende la estabilidad de la estructura. Estos módulos los podemos observar recorriendo la estructura desde el fondo del lecho marino en la cual esta asentada la estructura, hacia la superficie:

- Base de la estructura.
- Mecanismo de articulación.
- Estructura flotante.
- Cuerpo o collar de flotación, situado sobre la superficie del agua.
- Zona de soporte de embate del sistema de oleaje, situado a la cabeza de la estructura.

Las ventajas de usar este tipo de estructuras o plataformas costa afuera, son las siguientes:

- La conformación de la columna de soporte, se presenta como una estructura liviana construida en acero.
- Esta considerada dentro de las estructuras o plataformas fijas costa afuera como la de menos costo constructivo.
- Diseñada para operar en aguas profundas, con un rango de profundidad operativa de 450 m. (aprox. 1500 pies) hasta los 1000 m. (3280 pies).
- Posee una respuesta efectiva al movimiento, disminuyendo los efectos de las fuerzas hidrodinámicas contra la estructura.
- Posibilidad de adaptar sistemas de almacenamiento de fluidos, en la base de la estructura.

Sin embargo las plataformas de base flexibles (CPT) por ser unidades de poca envergadura con respecto al resto de las unidades fijas de perforación costa afuera; poseen algunas desventajas que las limitan en los rangos operacionales en la ejecución de las actividades de perforación, tales como:

- Posee un bajo nivel de carga.

- El sistema de articulación, puede ser ventajoso para las operaciones de producción, mientras se plantea una operación de perforación no se recomienda.
- No posee capacidad de realizar trabajos de *Works-over*.
- No posee capacidad de instalación de equipos de inyección de fluidos al yacimiento y equipos de *gas lif*.

III.4.6 PLATAFORMAS SEMI-FIJAS O *JACK-UP* [8] [12] [15] [16] [18] [19]

Las unidades de perforación conocidas como plataformas semi-fijas o *jack-up*, comprenden un punto de inflexión con respecto a los sistemas de unidades de perforación móviles empleados en aguas llenas o poco profundas, este tipo de instalaciones petroleras combinan distintos principios de diseño operacional, ya que posee capacidad de flotación, para su traslado hasta la localización de interés y adquiere un amplio sistema de soporte que se lo confieren los sistemas de torres o pernas de soporte (ver figura III.16).



Figura III.16. Plataforma semi-fija o *Jack-Up*.^[19]

Este tipo de plataformas o unidades de perforación se encuentran conformadas por una serie de unidades de desarrollo de operaciones; como se hace referencia en la figura III.17, los módulos principales que conforman las unidades operativas son:

- Plataforma de operaciones o *Top-side*.
- Sistema de piernas o torres de soporte.
- Unidad de perforación o taladro de perforación.
- Módulos de soporte operativos.

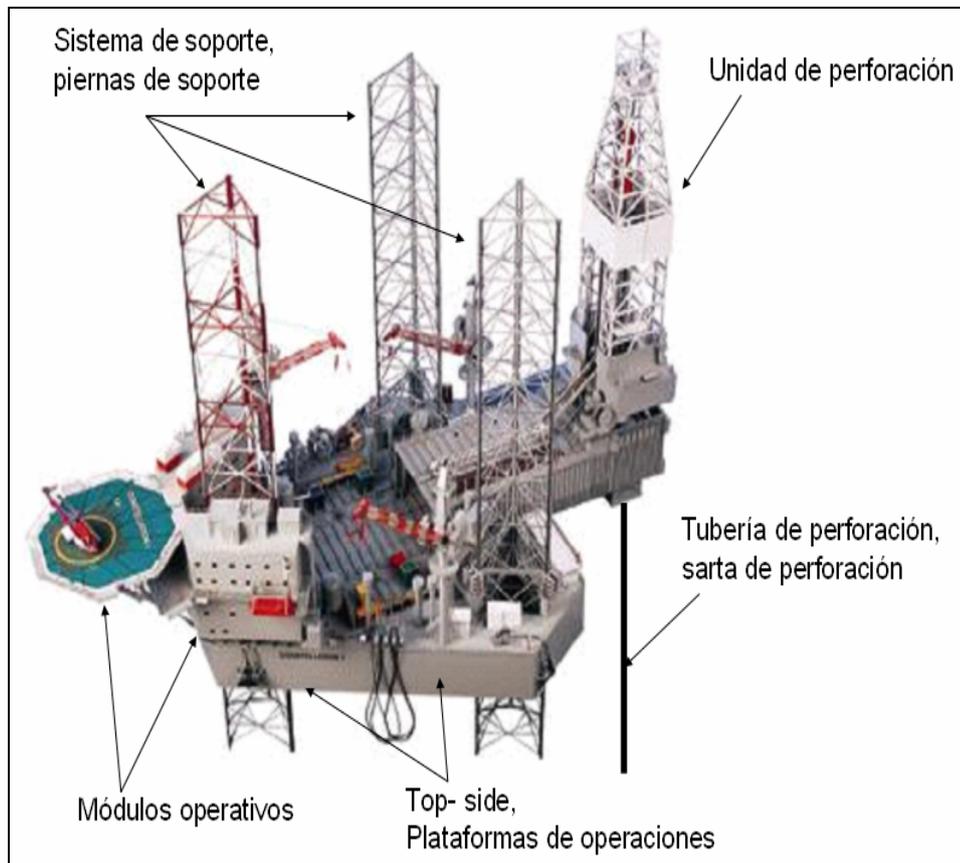


Figura III.17. Plataforma semi-fija o *Jack-Up*, unidades de desarrollo de operaciones.^[19]

La unidad principal y la que brinda soporte a equipos y aparejos de todas las operaciones que esta realiza, es una plataforma o *top-side*, como se muestra en la figura III.18, dispuesta en un plano horizontal; la cual en su parte inferior posee

las características de flotabilidad y estructura mono-casco o una sola carcaza similar a las barcazas o gabarras de perforación.

La plataforma de operaciones se encuentra dividida en dos áreas operativas; en la parte cubierta del casco superior de la plataforma se encuentran todos los equipos y aparejos para llevar a cabo las operaciones de perforación y otros como: disposición de la unidad de perforación o taladro de perforación, zona de almacenaje y colocación de sarta de tuberías de perforación, casilla de mando de operaciones, grúas de apoyo operacional, módulos operativos, sistemas hidráulicos de levantamiento, helipuerto de apoyo y otros equipos auxiliares; como se muestra en la disposición en la figura III.18.

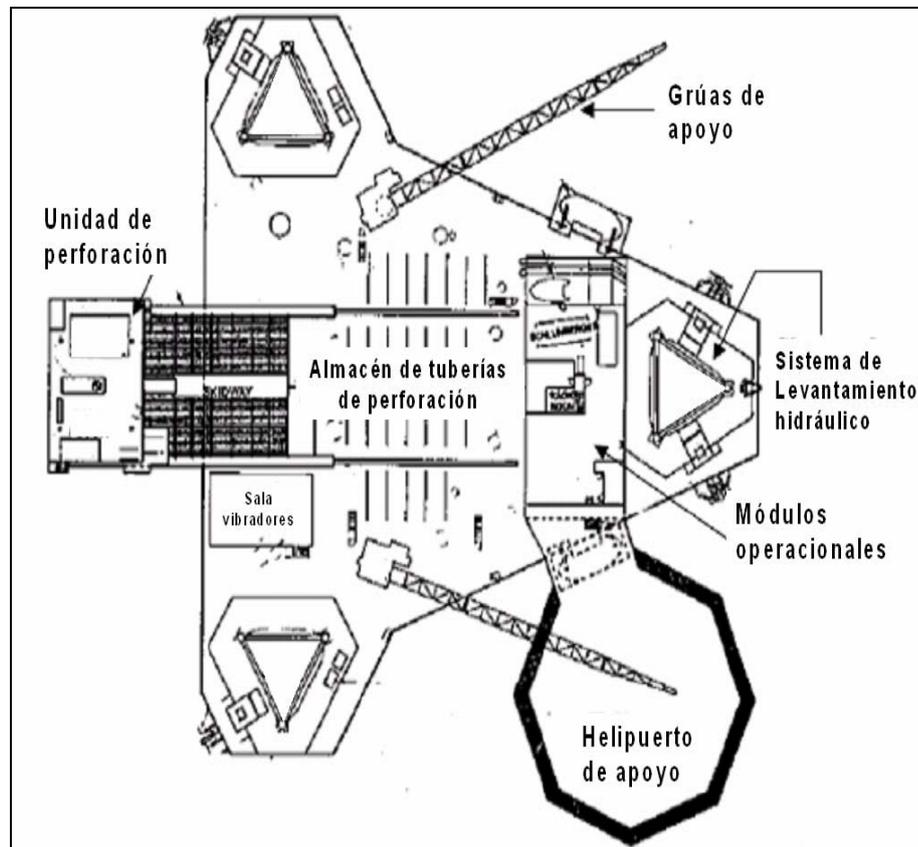


Figura III.18. Sección superior, Plataforma semi-fija o *jack-up*.^[12]

En la sección inferior de la plataforma de operaciones se encuentra instalados todos los sistemas de generación de energía, necesaria para el desarrollo de los procesos operacionales, áreas de almacenamiento de materia prima necesaria para

la preparación de los fluidos de perforación, cementación y completación, unidades de bombeo de fluidos, tanques de almacenamiento y otros equipos auxiliares (ver figura III.19).

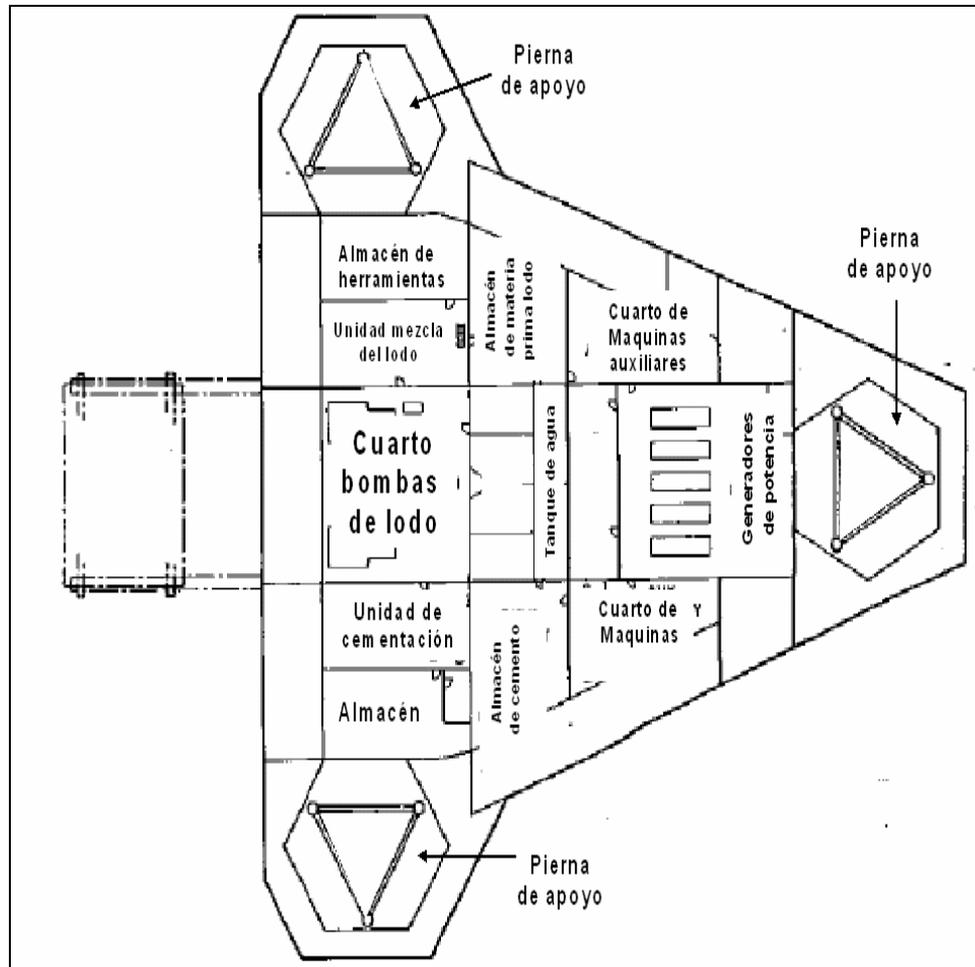


Figura III.19. Sección inferior, Plataforma jack-up. [12]

Otro modulo de vital importancia es el conformado por las torres o piernas de soporte las cuales son las responsables de brindarle a la estructura la estabilidad y la fijación de la unidad al lecho marino. Por lo general las unidades *jack-up* poseen una serie de tres a cuatro piernas verticales, o en oportunidades se plantea el uso de mayor numero de piernas, cuando se requiere mayor nivel de estabilidad y fijación al lecho marino. La estructuración de estas piernas por lo general presenta una geometría tubular; ya sea circular, triangular o cuadrada.

El modulo operacional de piernas verticales o torres de soporte, esta conformado por un sistema de elevación; mediante la activación de un complejo mecanismo de engranajes hidráulicos (ver figura III.20); localizados tanto en la plataforma, como en los vértices de las piernas de soporte (ver figura III.21 y figura III.22), los cuales le permite a la pesada estructura de la plataforma operacional ser elevada o bajada hasta un nivel previamente determinado; y requerido para realizar la operación de perforación.

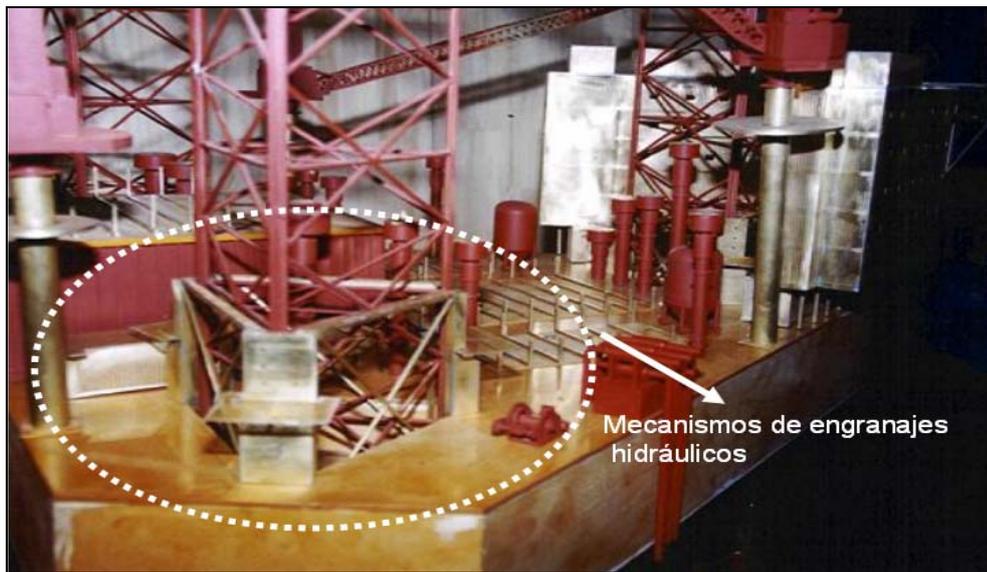


Figura III.20. Engranajes hidráulicos de las piernas de soporte de las plataformas Jack-Up. ^[19]

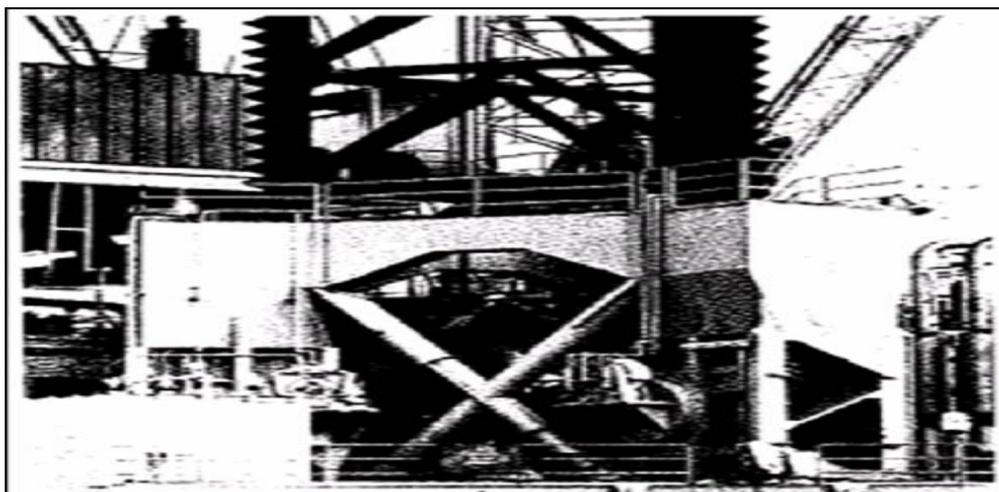


Figura III.21 Mecanismos hidráulico de configuración triangular, en plataforma *jack-up*. ^[12]

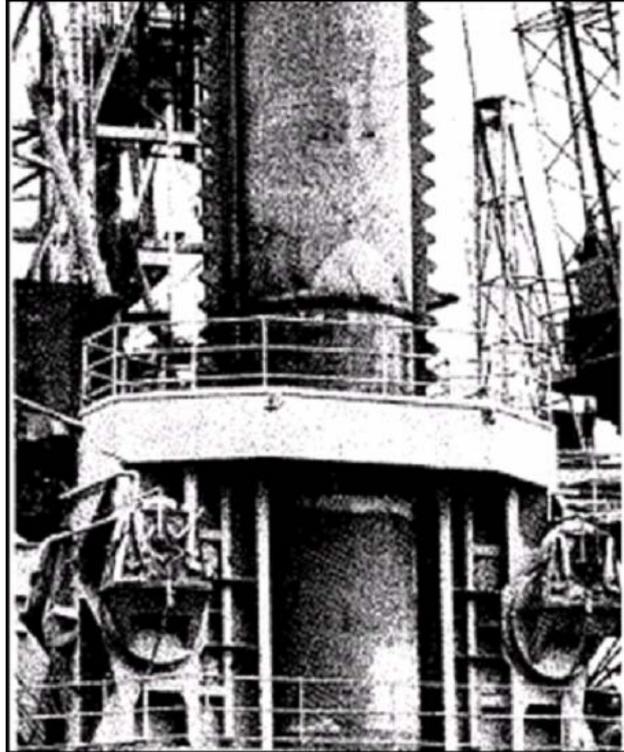


Figura III.22 Mecanismos hidráulicos de configuración cilíndrica, en plataforma *jack-up*.^[12]

Es de destacar que este tipo de unidad de perforación durante la operación perse de perforación se consideran normalmente estables, sin embargo existen ocasiones en los cuales existen riesgos de colapso y hundimiento, cuando son colocadas las piernas sumergidas sobre una superficie del lecho marino que ocasionalmente no posean un comportamiento estático; como superficies del lecho marino conformado por arenas poco consolidadas.

Después de realizar la operación de perforación del pozo, y habiéndolo completado y colocado el cabezal de pozo, la plataforma *jack-up* procede a nivelar la plataforma de operaciones hasta colocarla sobre la cama o nivel de agua. Posteriormente las piernas de soporte son izadas a la superficie de la plataforma, para comportarse como una barcaza o gabarra de perforación. Esta operación permite establecer una condición de transición o desplazamiento en este tipo de unidad de perforación en costa afuera, para ser colocadas posteriormente en una nueva localización, por medio de los sistemas de auto propulsión o por medio del arrastre de unidades de navegación auxiliares. Al ubicarse las piernas

de soporte sobre la superficie de la plataforma de operaciones, alcanzan una altura superior a la unidad o taladro de perforación, provocando cierto nivel de inestabilidad; lo que provoca que el traslado de este tipo de unidades se convierta en una operación de cierto riesgo operacional.

Las unidades de perforación *jack-up*, están diseñadas para manejar operaciones en las cuales los rangos de profundidad operativa sobrepasan los 100 m. (328 pies) hasta llegar a operar en profundidades de 500 m. (1640 pies). Sin embargo las últimas generaciones de unidades *jack-up*; las conocidas como *Gorillas Jack-up* han sido destinadas a realizar sus labores operacionales en aguas en las cuales las profundidades son cercanas a los 170 m. (557 pies) y las magnitudes del sistema de oleaje presentan alturas entre los 30 m. a 45 m.

Las siguientes características (ver tabla III.5), describen técnicamente una unidad típica de una plataforma *jack-up*, la cual puede realizar operaciones de perforación costa afuera a una profundidad operacional de 100 m. y una plataforma operacional con una unidad de perforación que puede ser transportada fuera de borda de la unidad por medio de un sistema de rieles, proyectando la unidad de perforación fuera el casco de la plataforma. Otro diseño muy frecuente en este tipo de unidades es la colocación de la unidad de perforación sobre la plataforma de operaciones, pero realiza la operación de perforación a través de una sección ranurada en el casco de la plataforma.

Tabla III.5. Características técnicas de una unidad *Jack-Up*, con capacidad de manejar una profundidad operativa de 100 m. (328 pies).^[12]

TIPO DE UNIDAD DE PERFORACIÓN	Plataforma Jack-Up
Características	
Longitud total	74,75 m
Ancho total	86,30 m
Profundidad del casco de la plataforma de operaciones	7,50 m
Área de cubierta	25920 m ²
Longitud de las piernas de soporte	133,50 m
Diámetro del tanque de operaciones	14,0 m
Profundidad del tanque de operaciones	4,0 m
Distancia al centro entre pierna de proa y pierna de popa	65,82 m
Distancia máxima de línea central de rotación a la popa	13,75 m
Capacidad de desplazamiento	10,500 ton
Velocidad de elación de los mecanismos hidráulicos	0,45 m/min.
Espaciamiento del cantilever	15,00 m
Máxima profundidad operativa	100 m (328 pies)
Máxima penetración de las piernas sobre la plataforma de operaciones	7,0 m
Vació entre nivel de agua y la parte inferior del casco de la plataforma	14,4 m
Velocidad de desplazamiento en superficie	1 m/s
Velocidad de desplazamiento sumergido	0,3 m/s
Altura máxima de ola	20 m
Máxima profundidad de perforación	7617 m (25.000 pies)
Sistema de elevación	
Electro-mecánico o hidráulico, mecanismos de piñones engranajes	9.000 ton
Generadores de potencia	
3 máquinas de 12 cilindros súper cargadores diesel	
3 alternadores x 600 v	
Unidad de perforación	
Altura de torre de perforación o taladro	44,8 m (147 pies)
Dimensiones de la base de perforación	11 m x 11 m (36 pies x 36 pies)
Capacidad de carga	1,39 millones de lbs. (620 ton)
Potencia de la unidad de perforación	
2000 Hp	
Sistema BOP	
Anular	1 x13-5/8"; 5.000 psi
Ram simple	1 x 13-5/8"; 10.000 psi
Preventor doble U	1 x 13-5/8"; 10.000 psi
Anular	1 x 21-1/4"; 2.000 psi
Ram simple	1 x 21-1/4"; 2.000 psi
Manifold reductor	1 x 10.000 psi
Sistema de bombas de lodo	
2 x 1600 Hp	
Módulos de alojamiento de personal	
Cabinas de operadores	38 x 2
Cabinas de director de operaciones (Company man)	2 x 1
Cabinas de hospital y servicios médicos	1 x 3

Las ventajas que presenta la selección de un sistema o plataforma *jack-up*, para realizar una operación de perforación costa afuera son las siguientes:

- Las plataformas *jack-up* son el equipo e instalación mas rentable económicamente para realizar operaciones en aguas semi-profundas. El uso diario de estas instalaciones representa el 76 % de todas las instalaciones y equipos usados en aguas costa afuera.
- Este tipo de plataformas *jack-up* presenta una serie de diseños y características que aventajan a los sistemas de perforación en plataformas fijas; sistema que compite con las *jack-up* en operaciones en aguas semi-profundas.
- Este tipo de unidades de perforación costa afuera poseen niveles bajos referentes a abandono, los cuales son subsanados con el fin mismo de la perforación del pozo.
- Los pozos perforados con este tipo de instalaciones son completados de una manera convencional.

Las desventajas del uso de este tipo de instalaciones, para el desarrollo de una operación de perforación costa afuera, se consideran las siguientes:

- Limitaciones en la capacidad de carga del *top-side* o superficie de la plataforma de operaciones.
- Limitación en el rango de profundidad operativa; existen plataformas *jack-up* las cuales son diseñadas para el desarrollo de operaciones de producción.
- Las zonas donde serán colocadas, deben poseer un lecho marino consolidado y lo mas horizontal posible; para brindarle el mayor soporte a las piernas o torres de soporte de la estructura.
- Presentan problemas de fatiga y colapso estructural, debido a la continua utilización en condiciones severas, y por alteraciones realizada en las mismas.
- No poseen capacidad de almacenamiento de fluidos de producción de pozo.

III.4.7 UNIDAD DE PERFORACION SEMI-SUMERGIBLE ^{[8] [12] [15] [16] [18] [19]}

Este tipo de unidad o instalación de perforación de pozos costa fuera, es el resultado de procesos de modificaciones y evolución del diseño aplicado a las unidades de perforación de pozos costa afuera sumergibles. La característica más resaltante que posee este tipo de unidad costa afuera, es que su diseño posee dos unidades o cuerpos de flotabilidad, de características constructivas particulares; ya que permiten mantener un nivel de flotación de las columnas que dan soporte a la plataforma de operaciones que estas posee; lo cual les confieren un alto índice de demanda operacional en ambientes en las cuales las condiciones climatológicas se consideran hostiles y profundidades operativas profundas, entre los 500 m. (1640 pies) hasta aguas ultra-profundas de 2000 m. (6561 pies).

Estructuralmente este tipo de unidades de perforación costa afuera semi-sumergibles, se encuentran conformadas por tres secciones principales conformadas por columnas de soporte, las cuales le brinda la flotabilidad, el soporte estructural, el soporte de cargas y soporte de las operaciones. La característica de flotación la brindan dos cuerpos doble casco, ubicados en la parte inferior de toda la estructura como lo muestra la figura III.23.

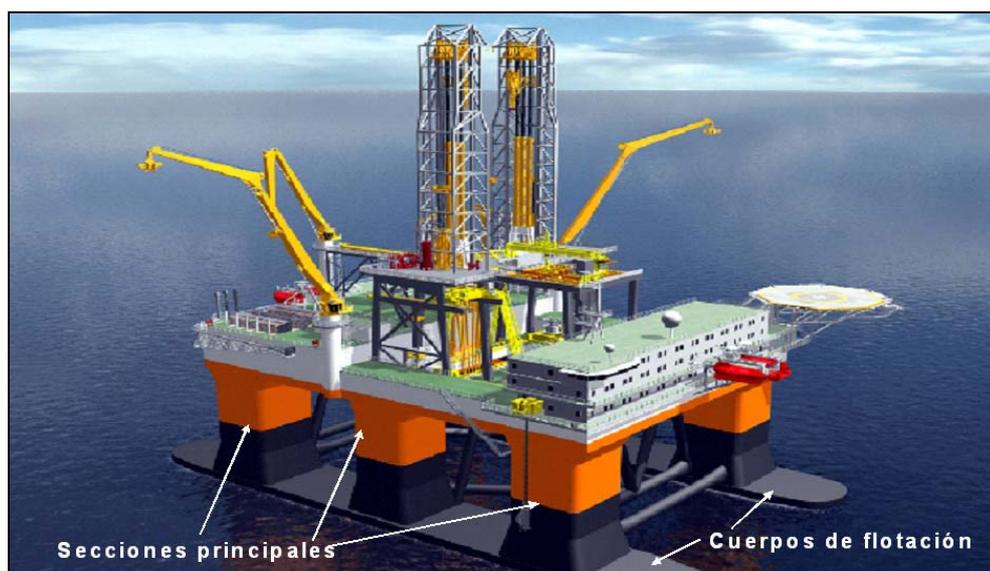


Figura III.23 Unidad de perforación costa afuera semi-sumergible. ^[19]

Estos cuerpo de flotación permiten la entrada o salida de fluidos de lastre lo cual contribuyen con el proceso de sumergencia de los cuerpos de flotación y controlan la alzada o hundimiento de la estructura.

Las plataformas de perforación concebidas bajo el esquema de sistemas semi-sumergibles, poseen 3 o 4 pares de piernas o columnas de soporte y estabilización, como se observa en la figura III.23; las cuales se encuentran interconectadas por brazos de conexión o rigirizadores que le confieren mayor estabilidad a la estructura (ver figura III.24). En el interior de estas estructuras de soporte se encuentran dispuestos los depósitos o tanques de almacenamiento de toda la materia prima, como; tanques de barita, bentonita y componentes de los fluidos de perforación, tanques de cemento, a usarse en las operaciones.

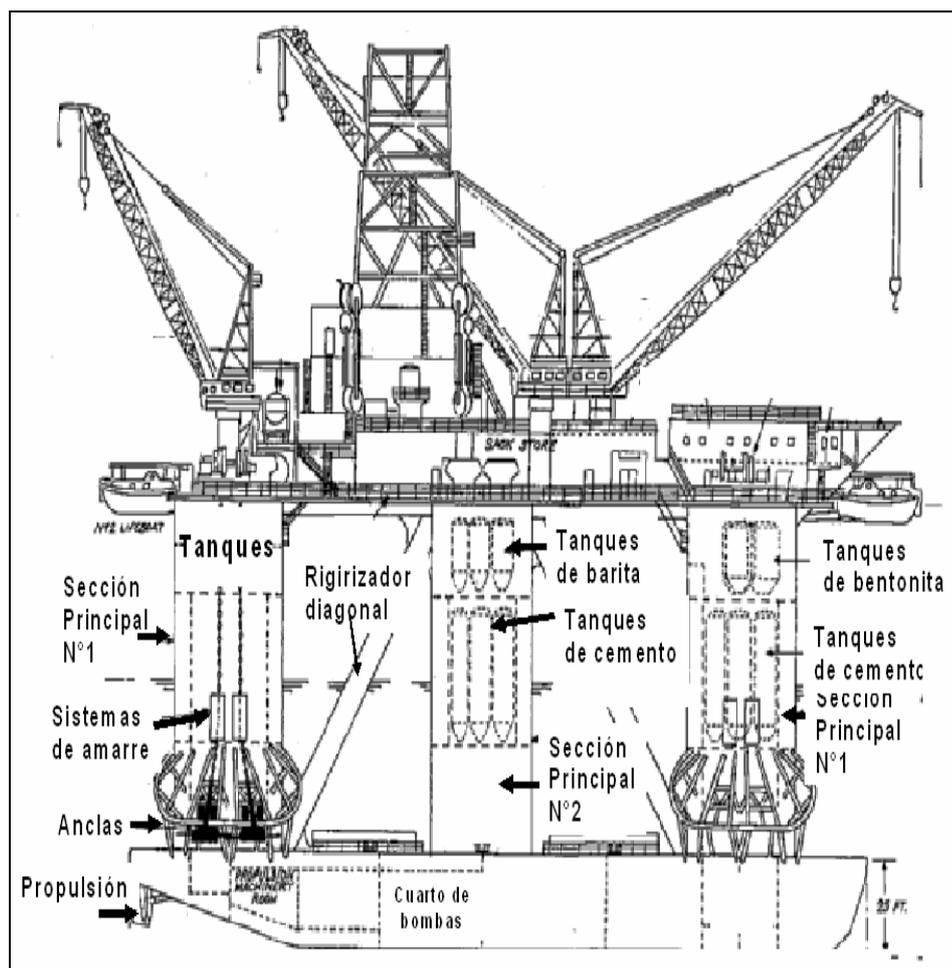


Figura III.24. Corte lateral de disposición general de equipos en unidad semi-sumergible. [12]

Sobre la parte superior de estas columnas de soporte se dispone la colocación de una plataforma de operaciones o top-side; donde se encuentran ubicados al igual que el resto de las unidades costa afuera, los equipos y aparejos de perforación, módulos operacionales, grúas de apoyo y otros equipos necesarios en las operaciones.

La plataforma de operaciones que poseen este tipo de unidades, se encuentra dividida en dos secciones; una zona superior que se encuentra en la superficie expuesta a la intemperie, y una segunda zona inferior que se encuentra en contacto directo con las columnas de soporte. La finalidad operativa de cada sección es distinta; en la plataforma de operaciones superior, se encuentran dispuestos todos los aparejos y equipos de la unidad de perforación, el sector de almacenamiento de las sartas de tuberías de perforación que serán empleadas, por lo general la disposición de tres grúas de apoyo, los módulos de operaciones y módulos de personal; así como también el helipuerto de apoyo para la carga y descarga de personal y material como se muestra en la figura III.25.

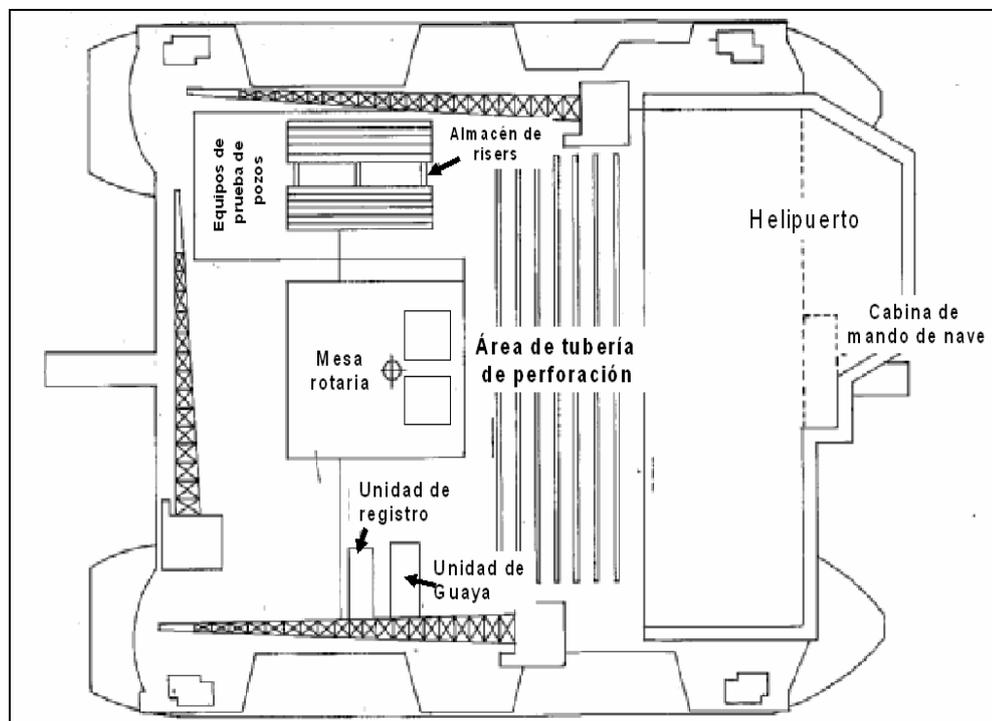


Figura III.25. Planta de plataforma operacional superior y equipos en unidad semi-sumergible. ^[12]

La plataforma de operaciones ubicada en la parte inferior (ver figura III.26), se encuentra dispuesta para albergar equipos de generación de energía y potencia, equipos de bombeo de fluidos operacionales, equipos de bombeo de fluidos de servicios, tanques de mezclado de lodos de perforación, módulos que brindan soporte durante la estadía de la tripulación y equipos del personal operativo.

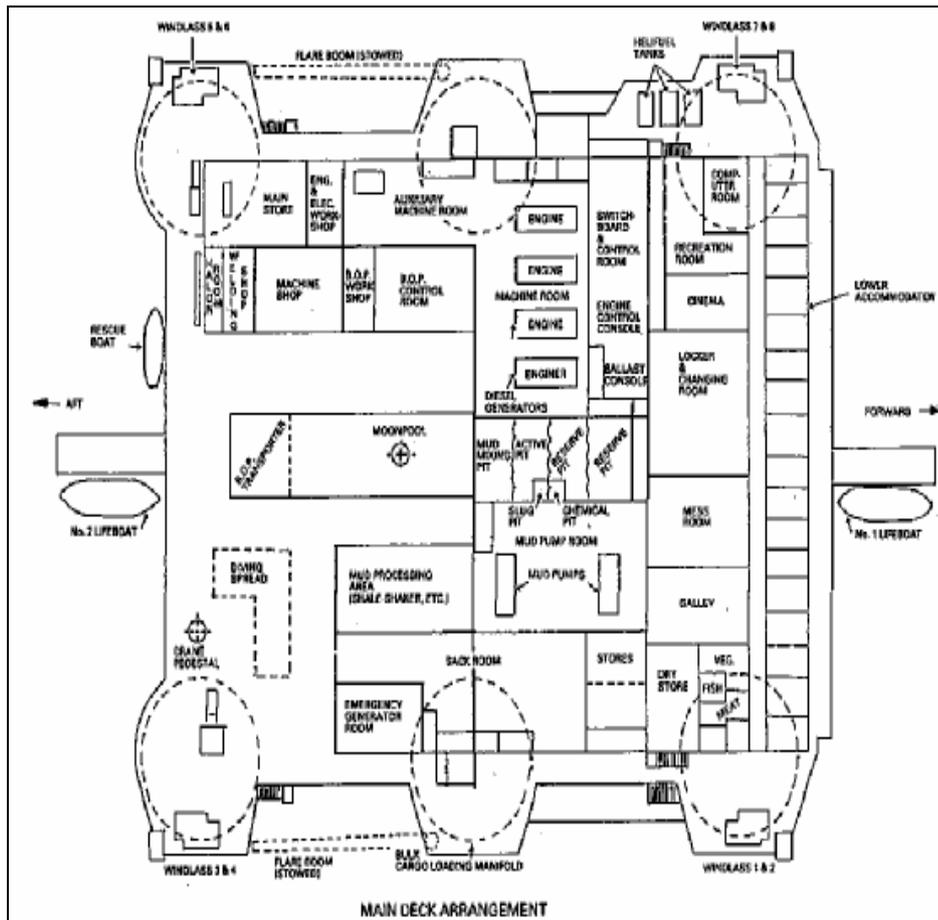


Figura III.26. Planta de plataforma operacional inferior de equipos en unidad semi-sumergible. [12]

Estas unidades semi-sumergibles se encuentran equipadas con sistemas de anclajes, localizadas en las columnas de soporte más exteriores; este sistema de anclaje o fijación al lecho marino, se encuentran conformados por largas líneas o guayas de acero que poseen en su extremo más profundo una serie de dispositivos mecánicos dispuestos para realizar las acciones de anclaje. Estos sistemas de anclaje, a parte de brindar acción de anclaje al lecho marino, limitan la libertad de

movimiento de la estructura y disminuye los efectos de los embates producidos por las fuerzas hidrodinámicas y el viento sobre la estructura. Sin embargo existen unidades las cuales están provistas de sistemas de posicionamiento dinámico, que le permita a la unidad costa afuera semi-sumergible mantener la posición fija durante las operaciones.

Las unidades costa afuera o plataformas de perforación costa afuera semi-sumergibles, están diseñadas para manejar operaciones en las cuales los rangos de profundidad operativa sobrepasan los 500 m. (aprox. 1640 pies) hasta profundidades de 2000 m. (6561 pies). Convencionalmente, este tipo de unidades puede realizar sus operaciones sin sistemas de fijación, pero se considera operacionalmente correcto el anclado de este tipo de unidades cuando se realizan operaciones en aguas donde la profundidad operativa de la columna de agua sobrepasan los 600 m. (aprox. 2000 pies) y las condiciones climatológicas y las fuerzas hidrodinámicas se consideran hostiles.

Las siguientes características describen técnicamente una unidad típica semi-sumergible (ver tabla III.6), con una configuración de 6 columnas de soporte y una plataforma operacional con una unidad de perforación la cual se dispone sobre la plataforma superior, colocada en el área central de la unidad o plataforma, proyectando la unidad de perforación fuera del casco de la plataforma entre las columnas de soporte. La tubería de perforación se ubica en la zona delantera de la unidad y la zona debajo del taladro.

Tabla III.6. Características técnicas de una plataforma semi-sumergible, de configuración de 6 columnas de soporte).^[12]

TIPO DE UNIDAD DE PERFORACIÓN	Semi-sumergible
Características	
Longitud total	79,3 m
Ancho total	62,0 m
Quilla principal de cubierta	35,4 m
Longitud del cuerpo flotador	79,3 m
Ancho del cuerpo flotador	16,4 m
Profundidad o altura del cuerpo flotador	7,6 m
Diámetro de las columnas de soporte exteriores (4)	11,6 m
Diámetro de las columnas de soporte centrales (2)	10,7 m
Longitud total de la cubierta o plataforma principal	72,0 m
Ancho de la cubierta o plataforma principal	63,4 m
Generadores de potencia	
4 maquinas súper cargadores diesel, que generan 2.714 bHp	
3 alternadores x 600 v	
2 motores de propulsión, de 2000 Hp; colocados en los cuerpos flotadores	
Unidad de perforación	
Altura de torre de perforación o taladro	48,8 m (160 pies)
Dimensiones de la base de perforación	12,2 m x 12,2 m (40 pies x 40 pies)
Capacidad de carga	1,4 millones de lbs. (620 ton)
Capacidad de carga del bloque corona	650 ton
Dimensiones de los rodamientos o poleas del bloque corona	7 poleas x 60" diámetro
Capacidad de levantamiento y carga del bloque viajero, swivel y gancho	650 ton
Orificio de la mesa rotatoria	49"
Potencia suministrada a la mesa rotatoria, por 1 motor DC	940 Hp
Capacidad de carga estática de la cabria	800 ton
Capacidad de tubería de perforación	25.000 pies de tubería de 5", de peso 19,5 lbs/pies
Profundidad operativa promedio de perforación	600 m (1968 pies)
Potencia de la unidad de perforación	
Aproximadamente 3000 Hp, generados por 3 motores DC, de aprox. 940 Hp efectivos	
Sistema BOP	
Sistema de válvulas	15.000 psi máx.
Sistema de bombas de lodo	
2 x 1600 Hp	
Sistema de anclaje	
4 mecanismos hidráulicos, externos	4 x 8 tubos de fijación, 40.000 lbs
4 Líneas de anclajes	4 x 2 líneas
Módulos de alojamiento de personal	
Cabinas de operadores	43 x 2
Cabinas de director de operaciones (Company man)	5 x 1
Cabinas de hospital y servicios médicos	1 x 3
Módulos de alojamiento de personal	
Cabinas de operadores	38 x 2
Cabinas de director de operaciones (Company man)	2 x 1

Las ventajas de usar este tipo de unidad costa afuera en el desarrollo de operaciones de perforación y producción costa afuera son las siguientes:

- Altos niveles de estabilidad y rigidez. El diseño de su estructura disminuye los efectos de las fuerzas hidrodinámicas sobre la estructura, lo que la hace perfecta para ser usada en ambientes hostiles.
- La estructura y equipos que esta unidad posee, permite la conversión de unidad de perforación a ser una unidad de producción.
- Bajo costo de abandono, por lo cual los gastos generados son retornados posterior a la operación de perforación.
- Puede ser provisto de sistemas convencionales de perforación o usar unidades de perforación de doble taladro.
- Este tipo de unidad de perforación costa afuera puede realizar trabajos de *Works-over*.
- Este tipo de unidad puede realizar operaciones de perforación con *riser* o tubería de perforación convencional o flexible.

Las desventajas asociadas al uso de este tipo de unidad costa afuera durante operaciones de perforación o producción son las siguientes:

- Profundidad operativa limitada por el siguiente rango, aguas profundas 500 m. (1640 pies) hasta aguas ultra-profundas de 2000 m. (6561 pies).
- Capacidad de carga reducida debido a los factores de estabilidad.
- Capacidad de perforar y operar de 4 hasta 40 pozos.
- Presenta algunos problemas al momento de la conversión de unidad de perforación a unidad de producción.

- Capacidad de almacenamiento limitada, tanto almacenamiento de materia prima como de fluidos de producción.
- Requiere largas distancias de líneas de tuberías hacia los sistemas de producción flotante o tanqueros flotante.

III.4.8 PLATAFORMA DE BASE TENSIONADA O *TENSION LEG PLATFORM (TLP)* ^{[12][15][16]}

Las plataformas de perforación de base tensionadas, conocidas como *Tension Leg Platform* (TLP, por sus siglas en inglés) es una estructura basada en el principio de disminución de efectos sobre la estructura a través de la absorción de movimiento. Este tipo de estructuras usadas para realizar perforaciones de pozos costa afuera, básicamente es una unidad semi-sumergible, construida estructuralmente de acero, el cual se encuentra conectado a una serie de líneas o piernas de anclajes.

La unidad TLP, se encuentra compuesta por una plataforma de operaciones, la cual esta situada sobre una serie de 4 a 6 estructural tubulares; que son las encargadas de brindar el soporte a la plataforma de operaciones y el resto de los equipos que esta sustenta. Estas estructuras tubulares poseen la particularidad que son cuerpos flotantes, los cuales en operación se encuentran semi-sumergidos, bajo el nivel de agua.

La plataforma TLP es anclada al lecho marino por medio de un sistema de anclaje conformado por líneas o guayas de acero y anclajes mecánicos en su extremo más profundo (ver figura III.27); mientras en la parte superior se encuentran sujetos a las estructuras o cuerpo tubulares flotantes. Por lo general se emplean de 4 a 8 líneas de anclajes por cada cuerpo tubular flotante, y su función básica es netamente el anclaje de la estructura, pero también se busca disminuir el factor de flotabilidad de la estructura; con la finalidad de mantener las guayas de anclajes lo mas tensas posible y así otorgarle estabilidad vertical mientras se permiten

algunos movimientos horizontales de forma controlados, por los sistemas de posicionamiento dinámico.

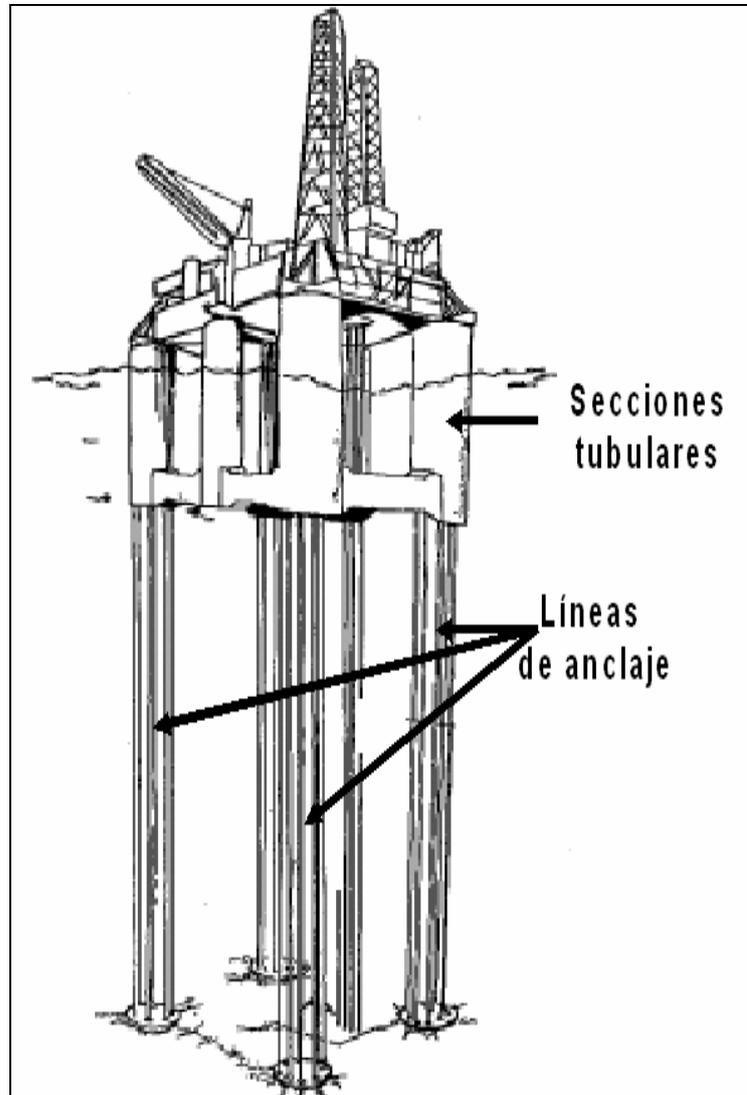


Figura III.27. Plataforma de base tensionada o TLP. ^[16]

El tamaño de las unidades TLP es relativamente proporcional a la capacidad de carga que estas requieran operar durante sus labores y a las condiciones climatológicas donde va a operar. Este tipo de unidades costa afuera están considerados, como las estructuras que mejor se adaptan a rangos de profundidades operativas de 300 m. (aprox. 1000 pies) hasta 1200 m. (aprox. 3900 pies). Las unidades TLP son estructuralmente más ligeras que las semi-sumergibles lo cual es causa de ligeros movimientos horizontales causados por los

efectos de las fuerzas provocadas por el choque del viento sobre la estructura. Otro factor de importancia se lo asignan a las fuerzas provocadas por el choque del sistema de oleaje sobre la estructura, fuerzas que causan una substancial salida de posición y pequeñas oscilaciones.

Existen dos modelos básicos en este tipo de unidad costa afuera, la primera, en la cual la plataforma de operaciones y los cuerpos tubulares flotantes son construidos por separado al igual que las estructuras *Concrete Gravity Platforms*, y posteriormente colocados uno sobre el otro, con la ayuda de barcos auxiliares y sistemas de grúas. El otro modelo, establece que la construcción de la plataforma de operaciones y los cuerpos tubulares flotantes, son concebidos como una única pieza.

El primer modelo reduce el tiempo de construcción ya que permite la construcción en paralelo de ambas unidades y el segundo modelo ahorraría las operaciones de apoyo en la construcción, ya que no sería necesario el uso de embarcaciones de apoyo, ni sistemas de grúas para colocar la plataforma sobre los cuerpos tubulares flotantes.

Las siguientes características describen técnicamente una unidad típica TLP (ver tabla III.7), con una configuración de 6 columnas de soporte y una plataforma operacional con una unidad de perforación la cual se dispone sobre la plataforma superior, colocada en el área central de la unidad o plataforma, proyectando la unidad de perforación fuera el casco de la plataforma entre las columnas de soporte. La tubería de perforación se ubica en la zona delantera de la unidad y la zona debajo del taladro.

Tabla III.7. Características técnicas de una plataforma TLP, de configuración de 6 columnas de soporte o cuerpos tubulares flotante).^[12]

TIPO DE UNIDAD DE PERFORACIÓN	Tension Leg Platforms (TLP)
Características	
Longitud total	78 m
Ancho total	74 m
Longitud del cuerpo flotador	65 m
Profundidad o altura del cuerpo flotador	7,6 m
Diámetro de los cuerpos tubulares flotantes exteriores (4)	17,4 m
Diámetro de los cuerpos tubulares flotantes centrales (2)	14,5 m
Longitud total de la cubierta o plataforma principal	72,0 m
Ancho de la cubierta o plataforma principal	63,4 m
Generadores de potencia	
4 maquinas súper cargadores diesel, que generan 2.714 bHp	
3 alternadores x 600 v	
Unidad de perforación	
Altura de torre de perforación o taladro	48,8 m (160 pies)
Dimensiones de la base de perforación	12,2 m x 12,2 m (40 pies x 40 pies)
Capacidad de carga	1,4 millones de lbs. (620 ton)
Capacidad de carga del bloque corona	650 ton
Dimensiones de los rodamientos o poleas del bloque corona	7 poleas x 60" diámetro
Capacidad de levantamiento y carga del bloque viajero, swivel y gancho	650 ton
Orificio de la mesa rotatoria	49"
Potencia suministrada a la mesa rotatoria, por 1 motor DC	940 Hp
Capacidad de carga estática de la cabria	800 ton
Capacidad de tubería de perforación	25.000 pies de tubería de peso 19,5 lbs/pies
Potencia de la unidad de perforación	
Aproximadamente 3000 Hp,	
generado por 3 motores DC, de aproximadamente 940 Hp efectivos	
Sistema BOP	
Sistema de válvulas	15.000 psi máx.
Sistema de bombas de lodo	
2 x 1600 Hp	
Sistema de anclaje	
4 mecanismos hidráulicos	4 x 2 anclas 40.000 lbs
4 Líneas de anclajes	4 x 2 líneas

Las ventajas de usar este tipo de unidades costa afuera TLP, serían las siguientes:

- Minimiza los desplazamientos horizontales y anula los desplazamientos verticales de la unidad durante las operaciones.
- Presentan mayor relación costo-estructura que las plataformas convencionales, lo cual las hace económicamente más rentables.
- Poseen gran capacidad de carga efectiva.
- Su estructura puede ser construida en talleres de gran calado o astilleros.

- Posee la capacidad de realizar trabajos de *Works-over*.
- Se puede implantar sistema de perforación de dos taladros.

Las desventajas del uso de este tipo de unidades, en operaciones costa afuera son las siguientes:

- Su uso operativo se limita a aguas semi-profundas; sin embargo existen unidades que trabajan en aguas profundas.
- No es posible la conversión de equipos semi-sumergibles a unidades TLP, a pesar de que ambas trabajan bajo el principio de flotabilidad.

III.4.9 BARCOS PERFORADORES O *DRILLSHIP* ^{[8] [15] [16] [19]}

Este ultimo tipo de sistema o instalación de perforación costa afuera discutido, como su propio nombre lo indica, se trata de una estructura flotante o embarcación de gran calado modificada (ver figura III.28) con la finalidad de poder realizar operaciones de perforación en aguas de un amplio rango de profundidad.

En principio el origen de cualquier barco destinado a la perforación, se encuentra orientado a la conversión y modificación de diferentes tipos de embarcaciones que tenían otro tipo de operaciones, estas embarcaciones suelen ser barcos de gran calado, barcos de traslado de suministros, tanqueros o barcos usados para realizar otras operaciones dentro del mundo petrolero. Sin embargo esta tendencia a la modificación de embarcaciones para ser destinadas a la perforación se ha ido reduciendo; en contraste con la creciente tendencia al desarrollo y diseños originales de embarcaciones destinadas a las operaciones de perforación de pozos costa afuera.



Figura III.28. Imagen de Barco perforador, durante operación de perforación de pozo costa afuera. [19]

Estructuralmente este tipo de embarcaciones esta construida bajo el principio de embarcaciones doble casco, divididas en varios niveles y secciones destinados a diferentes tipos de operaciones y funciones; como se observa en la figura III.29.

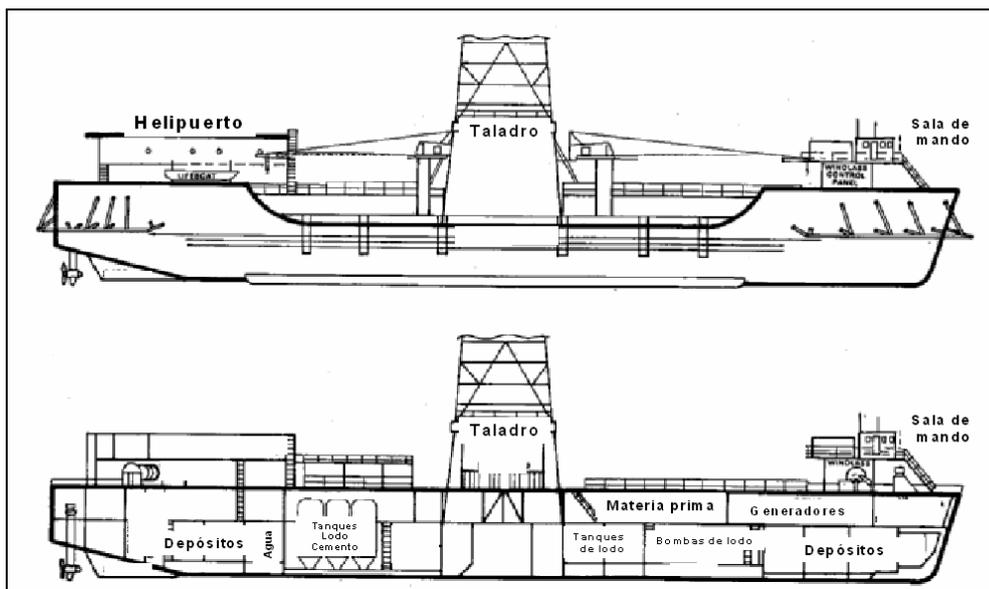


Figura III.29. Barco perforador, y división de sus diferentes niveles. [12]

En su cubierta o plataforma de operaciones primaria o principal, este tipo de unidades de perforación poseen instalados los módulos operacionales, módulos del personal de labores, sistema de contenedores o tanques de lodo o fluidos de perforación, la unidad de perforación con todos sus aparejos necesarios, mezcladores de lodos, helipuerto de apoyo logístico y otros equipos auxiliares; como lo muestra la figura esquemática III.30.

En muchos casos las maquinas auxiliares se encuentran dispuestas hacia la popa o parte trasera de la embarcación, permitiendo la colocación del sistema de perforación en el centro de la embarcación; de esta forma regular en centro de gravedad de la embarcación.

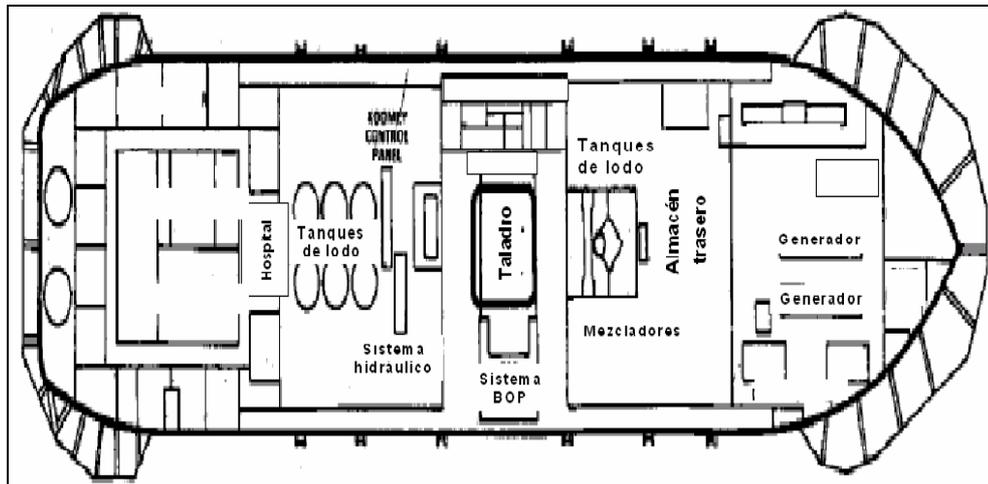


Figura III.30. Cubierta o plataforma de operaciones principal, vista de planta de barco perforador. [12]

En un segundo plano pero en la misma plataforma principal (ver Figura III.31), se encuentran la base y mesa rotatoria de la unidad de perforación, los almacenes de tuberías de perforación y revestidores apilados según cierta clasificación y programa de perforación; esta cubierta principal también se encuentra provista de dos o tres grúas de apoyo a las operaciones.

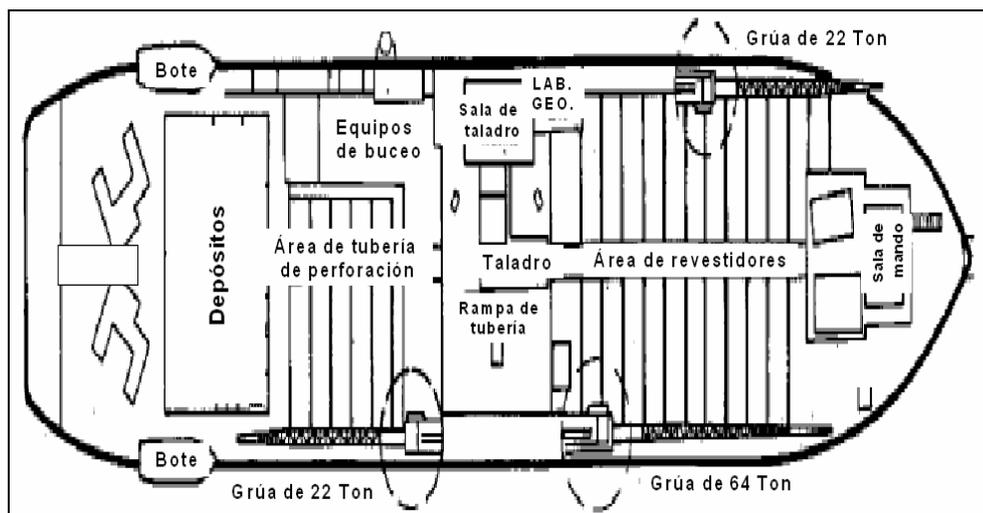


Figura III.31. Instalaciones ubicadas en el segundo plano de la cubierta en un barco perforador. [12]

En un segundo nivel de la embarcación, se encuentran las áreas destinadas a grandes espacios o tanques de almacenamiento, y los cuartos de generación de potencia que es suministrada a toda la embarcación para sus operaciones de navegación y durante sus operaciones de perforación (ver figura III.32).

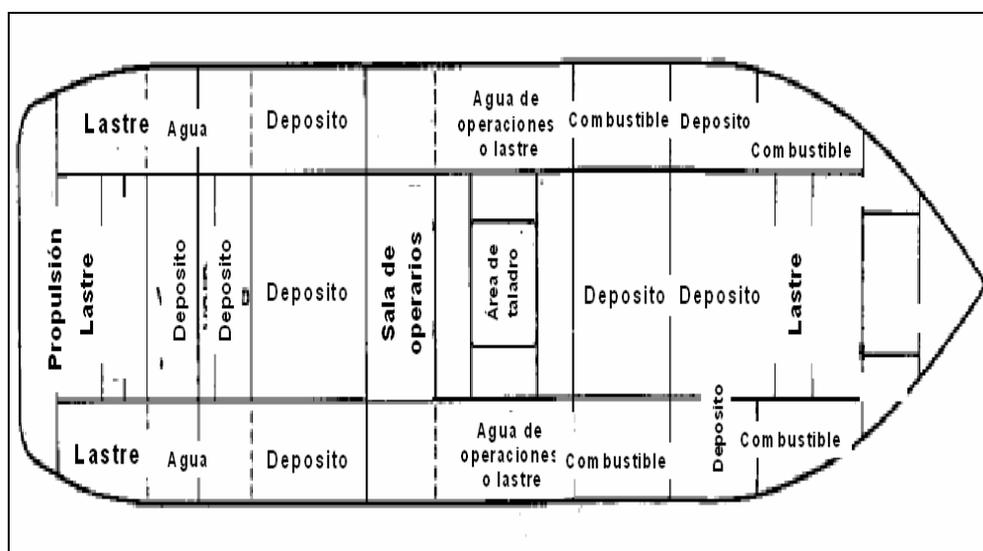


Figura III.32. Secciones destinadas a tanques y áreas de almacenamiento ubicadas en el nivel inferior del barco perforador. [12]

Otro aspecto que da mayor importancia al uso de estas unidades de perforación en costa afuera, es la posibilidad de almacenar importantes volúmenes de fluidos de

servicio como agua de operación, agua potable, fluidos de perforación y otros consumibles; así como también fluidos producido antes de ser transportado a otras unidades o destinados a la producción continua por medio de líneas o tuberías de producción submarinas.

Estas unidades o embarcaciones de perforación costa afuera, por estar en contacto directo con el nivel de agua, tienden a sufrir los embates de los sistemas de corrientes marinas y el sistema de oleaje, similar al sufrido por el sistema de perforación sobre estructuras semi-sumergibles. Estos efectos pueden ser reducidos mediante el llenado de ciertas cavidades interiores de la estructura de la embarcación, con agua de lastre; y por medio de la aplicación de otros métodos, confiriéndole mayor estabilidad a la embarcación.

Los barcos perforadores son las instalaciones costa afuera que brindan el mayor rango de movilidad independiente, ya que estos poseen sus propios sistemas de autopropulsión que les permiten trasladarse hacia la zona donde se les requiera para el desarrollo de las operaciones de perforación. Estas unidades perforadoras costa afuera, poseen sistemas de posicionamiento dinámico que les permite mantener la posición estable con respecto a una vertical base de referencia, para tratar de disminuir lo efectos perturbadores provocados por las fuerzas hidrodinámicas sobre la carcasa de la embarcación y puedan afectar el desarrollo de la perforación, sin embargo, estas embarcaciones tienen que ser ancladas, por medio de sistemas de anclajes, compuesto por una serie de 8 a 10 líneas o guayas de acero que en su extremo mas profundo poseen sistemas de fijación mecánica o anclajes, que le permiten fijarse al lecho marino y de esta forma inmovilizar la embarcación y contribuir con la generación de la estabilidad de la estructura y la restricción de los grados de libertad de movimientos de la misma.

Estas unidades de perforación flotante o barcos perforadores son unidades o instalaciones que poseen un amplio rango de movilidad y estabilidad, lo cual les transfieren cualidades que otras unidades costa afuera no poseen; como las plataformas fijas o *jacket*, las unidades semi-sumergibles y las plataformas semi-

fijas *jack-up*; razón por la cual son comúnmente empleadas en la mayoría de las operaciones de perforación de pozos exploratorios y perforación de pozos en aguas profundas.

Los barcos perforadores representan una unidad intermedia o de transición entre unidades de perforación costa afuera como los *jack-up* y las unidades semi-sumergibles; por que puede operar a profundidades donde los *jack-up* no pueden llegar, a su vez brindan la estabilidad con respecto al posicionamiento dinámico y seguridad operativa que aportan las unidades semi-sumergibles, además de los niveles de costos que disminuyen al usar este tipo de embarcaciones en una operación de perforación.

La operación de perforación perse, sobre este tipo de unidades se realiza de manera similar a las unidades sumergibles y semi-sumergibles, en los cuales la unidad de perforación se encuentra sobre la superficie de la plataforma de operaciones y es proyectada al exterior de la unidad a través de ciertas cavidades existentes en la estructura de la instalación, en este caso en la estructura de la embarcación.

Las siguientes características de la tabla III.8, describen técnicamente una unidad de perforación catalogada como barco perforador, con una plataforma operacional principal que dispone de una unidad de perforación, colocada en el área central de la unidad o plataforma.

Tabla III.8. Características técnicas de un barco de perforación. [12]

TIPO DE UNIDAD DE PERFORACIÓN	Barco perforador
Características	
Longitud lineal de inferior o de quilla	362 pies
Longitud lineal superior de cubierta	371 pies
Profundidad sumergida, correspondiente al casco de la embarcación	22 pies
Sección o zona de la unidad de perforación	41 pies
Área de cubierta destinada al helipuerto	83 pies x 83 pies
Capacidad máxima de desplazamiento de carga	10.060 ton métricas
Capacidad de carga, tuberías y revestidores	575 ton métricas
Capacidad de carga de lodo de perforación	750 ton métricas
Capacidad de carga de materia prima en saco	160 ton métricas
Capacidad de almacenar agua de operación	2.940 ton métricas
Capacidad de cargar agua potable	250 ton métricas
Capacidad de carga de combustible	1.150 ton métricas
Capacidad de carga de combustible para suministro al helicóptero	6 ton métricas
Capacidad de carga de cemento	140 ton métricas
Capacidad de carga de lodo	320 ton métricas
máxima profundidad operativa de la columna de agua	750 pies
Generadores de potencia	
5 generadores diesel, cada uno de 1.325 Hp	
2 generadoras de energía tandem, con capacidad de generar y manejar cada una 1.850 Kw. 600V AC	
1 unidad simple de generación de energía de 930 Kw. 600V AC	
1 unidad diesel de generación de energía de emergencia de 335 KW 480V AC	
Capacidad total de generación de energía 4.630 Kw.	
Unidad de perforación	
Altura de torre de perforación o taladro	160 pies
Dimensiones de la base de perforación	36 pies x 40 pies
Capacidad de carga estática de la cabria	825.000 lbs
Orificio de la mesa rotatoria	49"
Profundidad máxima de perforación	20.000 pies
Potencia de la unidad de perforación	
Aproximadamente 800 Hp, generado por motores eléctricos DC	
Sistema BOP	
Ram simple	1 x 18-3/4"; 10.000 psi
Preventor doble U	1 x 18-3/4"; 10.000 psi
Anular	5000 psi
Sistema de bombas de lodo	
2 bombas triples x 1600 Hp, impulsadas por motores eléctricos	
Sistema de anclaje	
4 mecanismos hidráulicos (proa y popa de la embarcación)	4 x 2 anclas 33.000 lbs
4 Líneas de anclajes	4 x 2 líneas, 3500 pies x 2-3/4"

III.5 SECUENCIA OPERACIONAL ESTÁNDAR, PERFORACIÓN COSTA AFUERA ^{[15][16][17]}

Técnicamente no existe una planificación de perforación que se cumpla como regla estricta o procedimiento de perforación costa afuera, sin embargo se maneja en la industria una secuencia operacional; que se considera estándar, la cual; al momento de elaborar o seguir una planificación de perforación se podrán encontrar diferencias en los procedimientos y técnicas operacionales usadas en la secuencia operacional de perforación, de acuerdo a la existencia y dependencias de múltiples factores como: el tipo de unidad de perforación usada, los niveles de practicidad y experticia de los ingenieros y operadores, los niveles de profundidad operativa de la columna de agua, la presencia de capas de gas en el sub.-suelo a perforar, etc. Por ejemplo las unidades de perforación conocidas como plataformas fijas y los *jack-up*, implementan la colocación del cabezal del pozo, equipos y válvulas impide reventones (BOP) en la parte superficial de la operación, por encima del nivel del mar; a diferencia de los equipos semi-sumergibles o barcos perforadores que estilan colocar este tipo de equipos en el fondo marino directamente, donde se esta realizando la perforación.

El orden cronológico de la ejecución secuencial de la operación de perforación de un pozo localizado costa afuera, dependerá de muchos factores técnicos, procedimientos, y de su correcto y sincronizado cumplimiento dependerá la efectividad de la operación de perforación. Esta secuencia operacional, puede entenderse e ilustrarse de una mejor manera con el planteamiento de la perforación de un pozo localizado en un ambiente marino costa afuera, programada su perforación mediante la utilización de una unidad de perforación semi-sumergible, en un área de profundidad operativa promedio de 14200 pies de columna de agua (ver tabla III.9).

El desarrollo de una operación de perforación de un pozo localizado en un área costa afuera, conlleva una consecución de operaciones básicas para lograr el objetivo de poder llegar hasta el yacimiento de petróleo y su posterior extracción.

Estas operaciones comienzan desde la propia fase de preparación de la localización o zona donde se ejecutará la perforación, pasando por el hecho mismo de ejecutar la perforación, hasta lograr la estabilización del pozo ya con es sistema de completación.

Tabla III.9. Secuencia y cronograma de desarrollo y planificación de un pozo costa afuera. ^[16]

Operaciones / Fases	Dias	Dias acumulados
Movilización de la unidad de perforación, colocación de los sistemas de anclajes de la unidad y preparara de fase de inicio de operaciones.	2	2
Perforación del hoyo inicial de 36", profundidad de 160' por debajo del fondo marino.	1	3
Corrida y cementación del revestidor de 30".	1	4
Perforación del hoyo de 26", alcanzando una profundidad vertical real (TVD) de 1500' por debajo del fondo marino.	1,5	5,5
Corrida y cementación del revestidor de 20".	1	6,5
Corrida y colocación del sistema de válvulas impide reventones (BOP) de 18-3/4" y sistemas de riser.	1	7,5
Perforación del hoyo de 17-1/2", alcanzando una profundidad vertical real (TVD) de 7300' por debajo del fondo marino, (7219' MD).	10	17,5
Corrida de primeros registros eléctricos.	1	18,5
Corrida y cementación del revestidor de 13-3/8".	1,5	20
Corrida de registro de posicionamiento y orientación del pozo (gyro survey)	1	21
Perforación del hoyo de 12-1/2", alcanzando una profundidad vertical real (TVD) de 12150' por debajo del fondo marino, (12636' MD).	19	40
Corrida de registros eléctricos.	2	42
Corrida y cementación del revestidor de 9-5/8".	2	44
Desplazamiento y cambio de fluido de perforación, cambio de sistema de lodo de perforación base agua a sistema de lodo base aceite.	0,5	44,5
Perforación del hoyo de 8-1/2", alcanzando una profundidad vertical real (TVD) de 14203' por debajo del fondo marino, (14686' MD).	20	64,5
Corrida de registros eléctricos.	3	67,5
Corrida y cementación del revestidor de 7".	2	69,5
Pruebas de pozos (3 zonas).	28	97,5
Controlar y cerrar el pozo, y dejarlo a la espera del equipo de completación y producción del pozo.	3	100,5
Tiempo de estabilización del pozo, estabilización de condiciones.	20,5	121

III.5.1 PREPARACIÓN DE LA LOCALIZACIÓN O AREA DE PERFORACIÓN ^{[16] [17]}

La preparación del área de perforación se inicia con el estudio de la data obtenida de la sísmica 2D ó 3D realizada a la zona geográfica de interés, y posteriormente se ejecuta el ploteo o mapeo de la zona, lo que permite visualizar de una manera

más perceptible y gráfica la configuración geológica que se presenta en el subsuelo. De igual forma y en tiempo paralelo se debe de realizar una inspección física de la zona, para ejecutar una corroboración de datos sísmicos catalogados como datos críticos, y lograr incluirlos dentro del proceso de análisis sísmico y geológico, y su posterior registro en el desarrollo de las cartas geográficas / geológicas de la totalidad de la data sísmica obtenida de la zona.

En esta misma fase es cuando se realizan los posibles planes o planificaciones de perforación del pozo, en las cuales se estudian las diversas posibilidades de entrada y trayectorias a seguir durante el proceso de perforación, basándose en los resultados previos del análisis sísmico y geológico realizado a la zona de interés. Una vez definido el programa de perforación se inicia el proceso de preparación de equipos e instalaciones auxiliares, para lo cual; la compañía encargada de realizar la operación de perforación debe realizar la selección de la unidad de perforación más adecuada para el desarrollo de la operación de perforación, según las exigencias de los diversos parámetros geológicos y naturales que se presenten durante la perforación del pozo.

III.5.2 MOVILIZACIÓN DEL TALADRO Y ANCLAJE DE LA UNIDAD INSTALACIONES ^[16] ^[17]

En esta etapa es de vital importancia la localización exacta de las coordenadas geográficas, sobre la zona de interés comercial donde se encuentre el yacimiento de hidrocarburo en el subsuelo, esta información provee por lo general el punto de entrada de la perforación en el subsuelo y permite predecir posibles desviaciones durante el proceso de perforación, así como también permite establecer las posibles rutas de navegación por las cuales se desarrollarán las actividades relacionadas y de apoyo la operación de perforación.

Ya culminado la etapa de preparación de la zona de perforar y definido el tipo de unidad de perforación a emplear para la perforación, se debe realizar un proceso de movilización de instalaciones y unidades auxiliares, que sirvan de soporte a la

operación de armado y ensamblado de la unidad principal de perforación; sin embargo existen unidades de perforación las cuales ya son movilizadas a la zona de la perforación ensambladas o armadas.

El traslado de las unidades se realiza mediante la intervención de unidades marinas remolcadoras o transportadoras, las cuales posicionan las unidades que carecen de mecanismos de movilización y las colocan en las coordenadas de perforación preestablecidas en la etapa inicial de preparación de la zona de interés. Luego se inicia el proceso de fijación o anclaje de la unidad de perforación principal; este procedimiento se desarrolla con la finalidad de lograr una reducción de los desplazamientos provocados por la acción de las fuerzas hidrodinámicas sobre la estructura de la unidad de perforación principal. Este proceso de fijación o anclaje de la estructura principal, se realiza por medio del empleo de un sistema de cables pretensados, los cuales en su extremo inferior poseen sistemas de anclas o fijaciones las cuales se posicionan sobre el fondo del lecho marino para generar la sujeción necesaria, y mantener lo más estáticamente posible a la unidad de perforación en la superficie del mar.

III.5.3 PREPARACIÓN DEL EQUIPO DE PERFORACIÓN, APAREJO Y DEMAS SISTEMAS^{[16] [17]}

El desarrollo de esta fase consiste básicamente en la ejecución de un plan de preparación y revisión previa de los equipos y aparejos de la unidad de perforación principal y todos los sistemas que lo componen (cabria o torre de perforación, sistemas de bombas, sistema izaje o levantamiento, sistemas de corte o brocas, etc.). Esta etapa contempla un chequeo de las condiciones físicas y mecánicas de los componentes mecánicos del taladro, previo al desarrollo de la operación de perforación y así evitar un desperfecto previo a las condiciones de operación.

Los equipos de perforación o taladros de perforación que se usan en las operaciones costa afuera requieren una preparación y mantenimiento más

detallado y con intervalos de tiempo más frecuentes, en comparación con los equipos de perforación que se emplean en la perforación de pozos en tierra firme; esto debido a la variación extrema de las condiciones de trabajo a las cuales estos están expuestos durante el desarrollo de las operaciones; ya sea durante su preparación antes de la perforación, el desarrollo de la perforación o ya sea en el desmantelamiento y desmontaje de la unidad de perforación después de la operación de perforación.

Durante esta etapa también se considera como actividad anexa a la preparación de los equipos e instalaciones; la preparación de las tuberías de perforación, las cuales son clasificadas según su diámetro y grado, de acuerdo con la planificación del programa de perforación; al igual que la realización de pruebas de los equipos de bombeo de fluidos de perforación y cementación. Con la preparación de los equipos y su correcta localización sobre la parte superficial de la planchada o *top side* de la unidad de perforación se ayuda a otorgar mayor estabilidad a la misma, lo cual ayuda a contrarrestar los desplazamientos de la unidad de perforación.

III.5.4 CORRIDA Y COLOCACIÓN TEMPORAL DE BASE GUIA DE PERFORACIÓN (TGB) ^{[16][17]}

Antes de realizar la penetración del subsuelo con el equipo de perforación, se debe de realizar el bajado sobre el lecho marino de un equipo de apoyo al proceso de perforación inicial, el cual cumple la función de guía y estabilizador durante el primer tramo de perforación. Este equipo es bajado por medio de un sistema de guayas o cables de alta resistencia, y colocado sobre el lecho del fondo marino; de esta forma se puede obtener un registro de profundidad vertical real (TVD) del lecho marino y un indicador de la cantidad de pares de tubería que se deberían ocupar para alcanzar el tope superior del lecho marino y empezar en si la operación de perforación perse.

Por lo general la pieza principal que conforma la guía base de perforación posee una configuración geométrica la cual abarca un área de 13 m². (144 pies

cuadrados) cuadrada, hexagonal o octagonal; como se observa en la figura III.33; según la cantidad de guayas o cables tensores que requiera el equipo para generar tensión a la línea de perforación desde la superficie hasta el fondo del lecho marino.

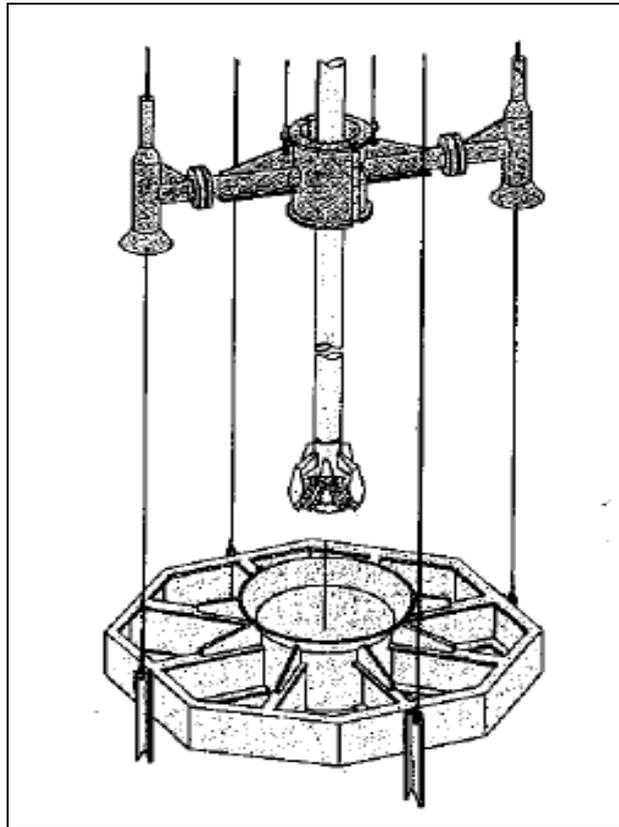


Figura III.33. Guía base temporal de perforación (TGB), de configuración octogonal. ^[16]

III.5.5 BAJAR HERRAMIENTA DE PERFORACIÓN, APERTURA DE HOYO DE 36” HASTA 160’ (BSB) ^{[16][17]}

Después que el TGB es colocado sobre el lecho marino, se procede a iniciar la apertura del hoyo inicial, para esto se baja la sarta de perforación con una especie de centralizador, con lo cual se asegura que la sarta de perforación realice su acción de perforar de una manera concéntrica a través del TGB, ver figura III.34.

Este centralizador es bajado por medio de las líneas o cables tensionadores que posee la guía temporal de perforación.

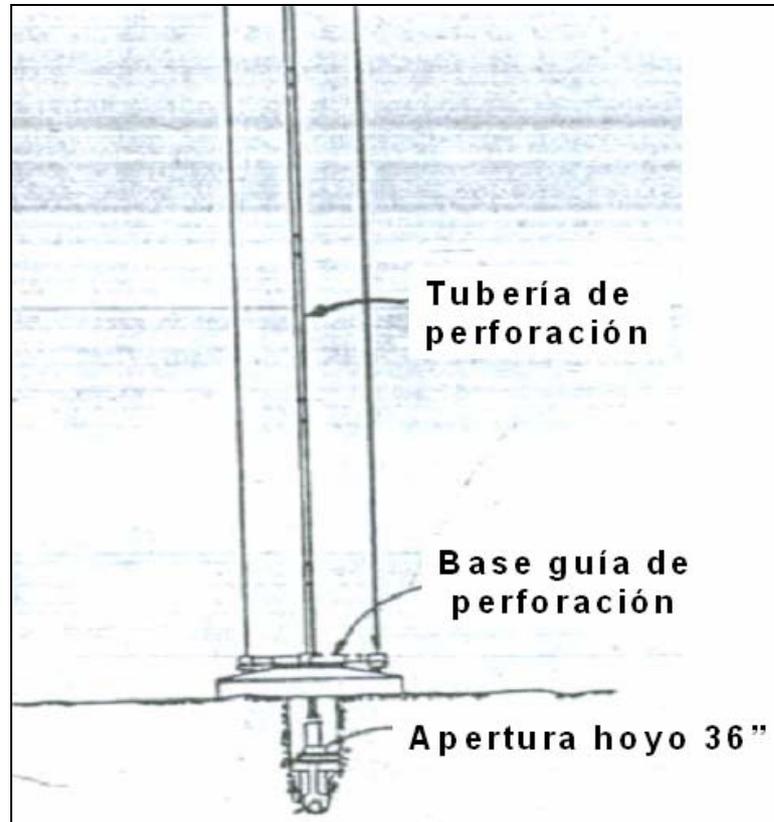


Figura III.34. Perforación de hoyo inicial 36". [16]

La distancia de perforación que abarca este primer hoyo de 36" es relativamente corta en comparación al resto de los tramos a perforar a profundidades mayores, sin embargo este recoge gran importancia ya que es el que le da la estabilización y linealidad inicial a la operación de perforación; este hoyo guía por lo general en este tipo de operaciones de perforación costa afuera suele culminar cuando se alcanza una profundidad vertical de 48 m. de profundidad (160 pies de profundidad) por debajo del lecho marino, dentro de la operación de perforación inicial.

Durante esta perforación inicial suele usarse como fluido de perforación, una circulación de agua marina, proveniente del mismo medio marino donde se este desarrollando la perforación, esto con la finalidad de no cambiar la composición

geoquímica de los fluidos que se encuentran en el interior de la formación. Posteriormente este mismo hoyo ya finalizado será invadido por medio de una circulación de fluido de perforación que se encuentra compuesto por una mezcla de componentes bentoníticos y una solución acuosa (agua salada), esto para generar un efecto de gelado que permita la estabilización y contrarreste los efectos de hundimiento o colapso de las paredes del hoyo en esta fase inicial.

Como etapa culminante de esta primera fase, se procede a retirar del lecho marino la guía base temporal de perforación, para dar la entrada y corrida del sistema de revestimiento estructural del pozo.

III.5.6 CORRIDA DE REVESTIDOR ESTRUCTURAL DE 30”, GUÍA BASE PERMANENTE Y CEMENTACIÓN DE REVESTIDOR ESTRUCTURAL DE 30” ^[16]

Posteriormente a la perforación de este primer diámetro de hoyo, se procede a la corrida y colocación del casing estructural o revestidor estructural de 30” con un espesor de pared entre ¼” hasta 1” dependiendo de los niveles de presión que se manejen en la superficie de la formación. Este revestidor se denomina estructural por la generación de estabilidad que este brinda a las paredes del hoyo al inicio de la perforación y por que brinda el soporte lateral necesario para la colocación de un equipo de estabilización e impide reventones (BOP) en el cabezal del pozo durante las siguientes fases de perforación.

Este revestidor es corrido a lo largo del hoyo inicial perforado y asentado a una profundidad determinada en la planificación de perforación previa, durante este procedimiento el hoyo se encuentra invadido por fluidos de perforación, los cuales ayudan a mantener la estabilización del hoyo así como también evita el colapso de las paredes del revestidor por la presión ejercida por la formación hacia el revestidor. Después de asentado el revestidor estructural de 30”, se procede a bajar la guía permanente de perforación (PGB), la cual se coloca en la parte

superior del revestidor dejando sobresaliente aproximadamente 1,5 m (5 pies) del mismo como se muestra en la figura III.35.

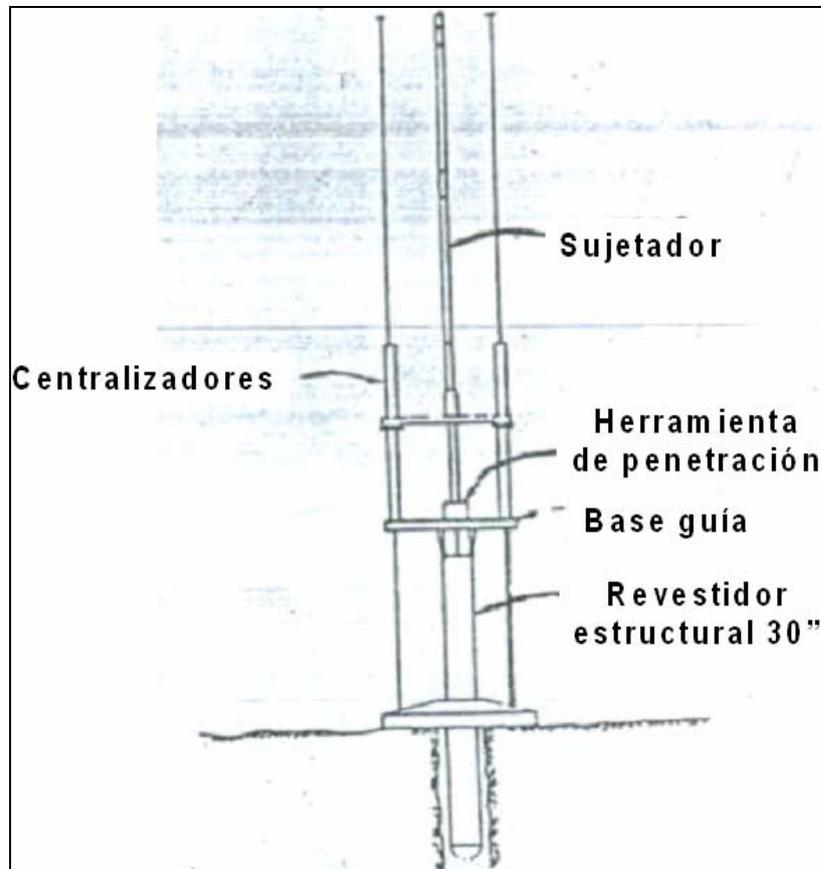


Figura III.35. Corrida revestidor estructural de 30". [16]

En esta guía permanente de perforación se anexaran los collares de colocación de los siguientes revestidores a correr dentro del hoyo para su protección a medida que se va profundizando; la PGB permitirá la corrida de herramientas y sistemas de equipos al interior del hoyo, por lo cual esta ocupara la función de guía de linealización durante las corridas al interior del pozo.

Una vez colocado el revestidor a la profundidad indicada y fijado por medio de sistemas de hincado, se procede a realizar la cementación del revestidos para ejercer una acción de fijación mas estable a lo largo de todo el revestidor. El volumen de cemento involucrado en la cementación primaria, cumple el papel de reforzamiento intermedio entre las caras externas del revestidor y las paredes de la

formación evitando así que la presión ejercida por los fluidos de la formación intenten colapsar las paredes del revestidor.

Esta primera cementación se considera que es la más crucial durante el proceso de perforación del pozo, ya que del correcto hincado y fijación de este revestidor dependerán el comportamiento de los revestidores intermedios.

Se considera que la cementación de este tramo inicial de perforación debe realizarse en su totalidad a lo largo de la extensión del revestidor, ya que al inicio de la perforación se podría encontrar con la presencia de cuerpos acuíferos o mantos de aguas superficiales; sin embargo en las operaciones de perforación de pozos costa afuera se acostumbra a realizar una cementación parcial de este primer revestidor, cementando un volumen parcial de la totalidad del espacio anular. Esta cementación se ejecuta mediante el bombeo de cargas de cemento a altas presiones, desde el sistema de bombas de cemento, hacia al interior del pozo, para que el cemento logre invadir el espacio anular entre el revestidor y la formación, y así crear un reforzamiento una vez ya fraguado y secado.

III.5.7 BAJAR HERRAMIENTA DE PERFORACIÓN, PERFORACIÓN DE HOYO DE 26" HASTA 1500' TVD ^[16] ^[17]

El siguiente paso de la operación de perforación, es proseguir a realizar la perforación del hoyo conductor en cual da el inicio a la fase intermedia. Este es perforado a través del interior del revestidor de 30" (ver figura III.36), para lo cual se selecciona una broca de acuerdo al tipo de formación a perforar y que alcance a suministrar 26" de diámetro de horadado. Esta broca de 26" en la sarta de perforación, es guiada al interior del hoyo superficial a través de la guía permanente de perforación (PGB) acompañada siempre del flujo de fluidos de perforación que van ayudando a la acción de perforación, y desplazando los ripios o cortes de perforación hacia el exterior del hoyo perforado.

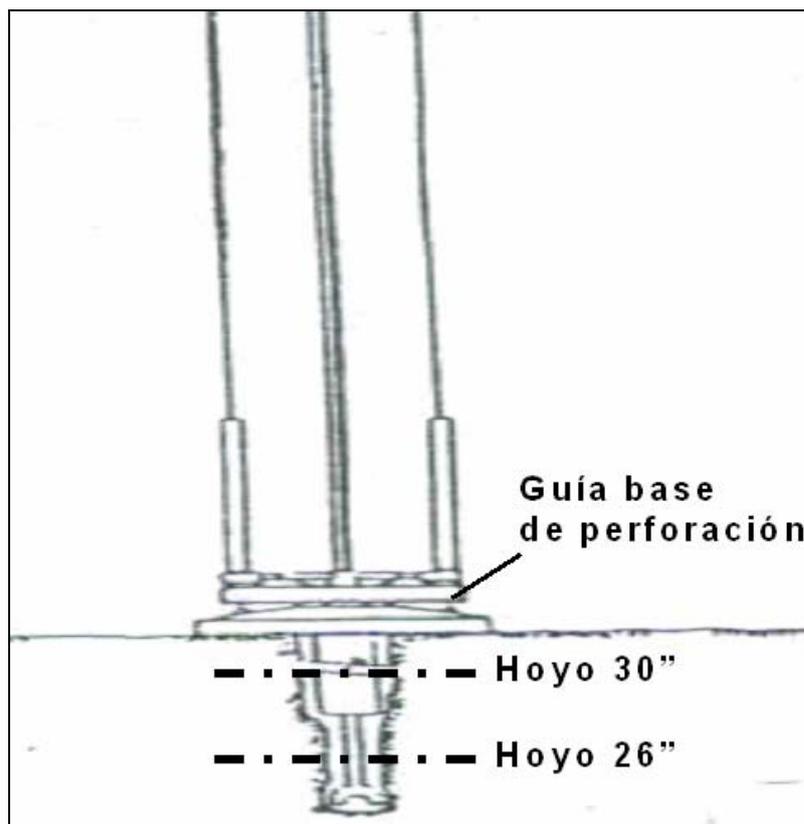


Figura III.36. Perforación hoyo 26". ^[16]

Esta sección de perforación intermedia se establece hasta alcanzar una profundidad promedio de los 450 m. (1500 pies) de profundidad, de forma vertical con pequeñas desviaciones, pero manteniendo siempre la verticalidad con respecto al plano formado con el lecho marino. Al igual que el hoyo de 36" se hace imprescindible la prevención del fenómeno de hundimiento o colapso de las paredes del hoyo por medio de bombeo fluido de perforación al interior del hoyo.

III.5.8 CORRIDA Y CEMENTACIÓN DE REVESTIDOR DE 20", BAJADO Y COLOCACIÓN DE CABEZAL DE POZO 18 3/4" ^{[16] [17]}

Ya perforado en su totalidad el hoyo de 26", hasta la profundidad estipulada en la planificación de perforación del pozo, se procede a realizar el proceso de corrida y colocación del casing del hoyo conductor o revestidor de 20" desde el tope de la perforación inicial por el interior del revestidor de 30", como lo indica la figura III.37; hasta la profundidad estipulada, con la particularidad que este revestidor

posee anexado en su parte superficial las bridas de conexión para la colocación del cabezal de pozo.

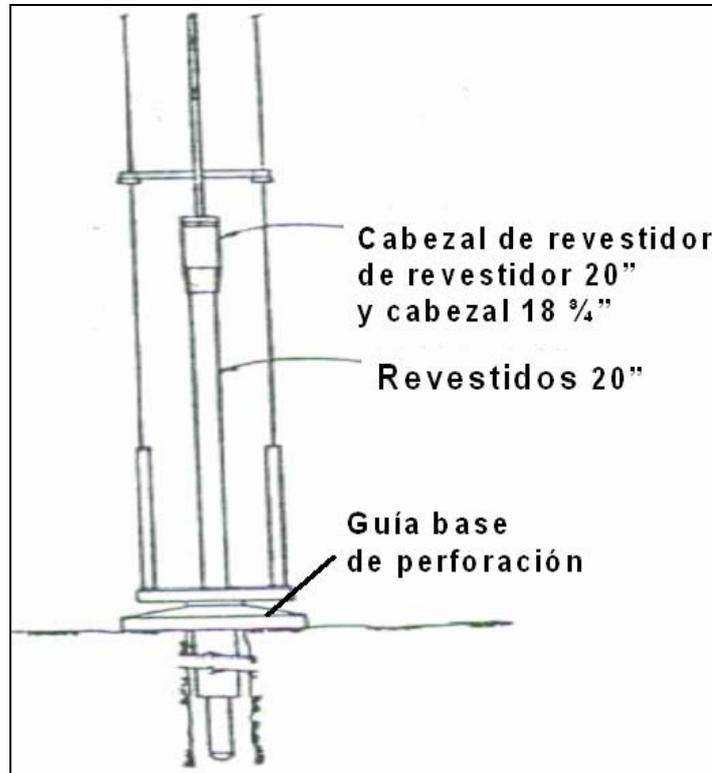


Figura III.37. Corrida de revestidor de 20". ^[16]

El tamaño del revestidor conductor de 20" se encuentra determinado por el calibre o diámetro de la válvula o stack BOP que se usara para controlar el pozo. El proceso de cimentación de este revestidor se realiza similar a la cimentación de revestidor estructural de 30", para el cual se bombea a altas tasas de presión un volumen determinado de cemento al interior del revestidor, para que este pueda invadir el espacio vacío entre las paredes de la formación y las paredes externas del revestidor; y de esta forma conferirle mayor estabilidad a las paredes del hoyo y contrarrestar los efectos de contra-presión de los fluidos de la formación hacia el pozo. Ya cementado el revestidor de 20" se procede a bajar el cabezal del pozo, el cual posee un diámetro interno nominal de 18 3/4", diámetro que es similar a la conexión del stack BOP, lo que hace posible su conexión en una fase posterior.

III.5.9 CORRIDA Y COLOCACIÓN DE VALVULA IMPIDE REVENTONES (BOP) 18 ¾” [16][17]

Una vez colocado en casing de 20” en la profundidad indicada y cementado, en conjunto con la colocación del cabezal de pozo (en el caso de colocar el cabezal de pozo en la zona inferior de la profundidad de operación); se procede a bajar a la profundidad de operación el conjunto de válvulas de protección y estabilización del pozo (ver figura III.38)

Estas válvulas se les conoce como el sistema de válvulas stack BOP, en esta caso de 18 ¾” de apertura, correspondiente a 15.000 lpc, y con un peso mayor a los 400.000 libras de peso muerto en el aire por cada 30 pies o 40 pies de longitud. Este conjunto de válvulas por lo general son bajadas a profundidad del cabezal del pozo por medio de su conexión a un conjunto de tuberías “riser” de perforación o sección de tubería perforación ascendente de 21”; como se observa en la figura III.39.

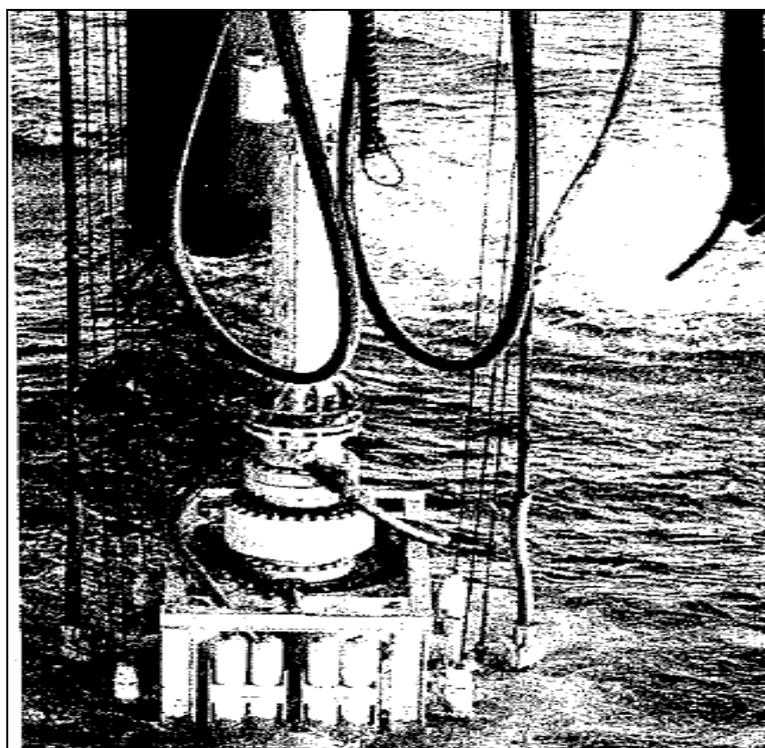


Figura III.38. Corrida de válvula impide reventones (BOP) de 18 ¾”, hacia el cabezal el pozo. [11]

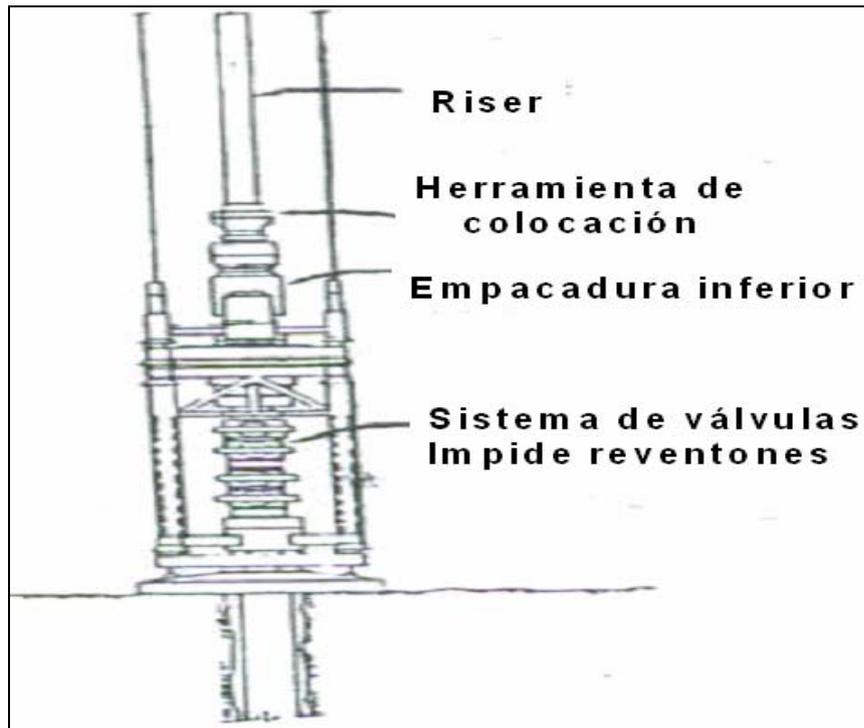


Figura III.39. Posicionamiento de válvula impide reventones (BOP) de 18 3/4". [16]

Después de colocadas las válvulas BOP en su posición, se procede a realizar pruebas hidráulicas; con la finalidad de corroborar el soporte de los niveles de presión a nivel de cabezal del pozo para asegurar un buen efecto de sello y continuar con la perforación del pozo hasta llegar a obtener un valor de profundidad final o profundidad total (TD).

A través de este conjunto de tuberías o risers ascendente puede ser introducido al interior del pozo cualquier herramienta necesaria para proseguir con la operación de perforación, al igual que los fluidos de perforación empleados y los recortes o ripios de perforación, los cuales pueden ser retornados a superficie a través de esta tubería hacia los equipos de separación de sólidos ubicados en la planchada de la unidad de perforación, y no ser descartados directamente sobre el lecho marino como en las fases de perforación de los hoyos anteriores. En caso de que algún volumen de gas penetrara al interior de la tubería con sentido ascendente hacia el riser, se activaría el sistema de válvulas BOP cerrando la línea de flujo; y

desviando fuera del riser dicho influjo de gas por medio de sistemas deflectores que son controlados directamente desde la cabina del operador perforador.

III.5.10 BAJAR HERRAMIENTA DE PERFORACIÓN, PERFORACIÓN DE HOYO DE 17 ½” HASTA 7003’ TVD^[16]

Ya perforado, corridos y cementados los hoyos y revestidores estructurales e intermedios, que son los responsables de brindar el soporte mecánico e hidráulico del pozo durante el proceso de perforación final; se procede a realizar la perforación de las secciones finales para lograr alcanzar la profundidad total del pozo, para esto es necesario perforar el hoyo correspondiente al diámetro de 17 ½””; que en muchos de los casos estándar de la industria de la perforación de pozos se considera como el punto donde se establece el cambio de dirección o punto de inflexión de la perforación (KOP), profundidad a la cual se realizan las desviaciones direccionales iniciales de la trayectoria del pozo.

Esta desviación se ejecuta por medio de la utilización de una serie de equipos y herramientas (ver figura III.40) que son introducidas y bajadas al interior del pozo por medio de tuberías de perforación o risers, hasta alcanzar el KOP, punto de profundidad donde se destinara su uso para realizar la desviación correspondiente.

En esta sección de desviación y en las secciones perforadas a futuro en la trayectoria final del pozo, se adiciona al fondo de la tubería de perforación un equipo de desbaste y corte accionado por la presión del fluido de perforación bombeado al interior del pozo, este se le conoce como motor de fondo, o por sus siglas en ingles *MWD tool (mud dowhole drilling tool)*. Este equipo a la par de ir realizando el proceso de perforación de la formación, va realizando una medición de la desviación realizada, la cual puede y es monitoreada desde la superficie por el equipo de ingenieros de perforación, este monitoreo constante es transmitido a la superficie por medio de cambios de presión en el fluido de perforación en la cara de la herramienta de perforación, las cuales generan pulsaciones y estas son traducidas e interpretadas en superficie.

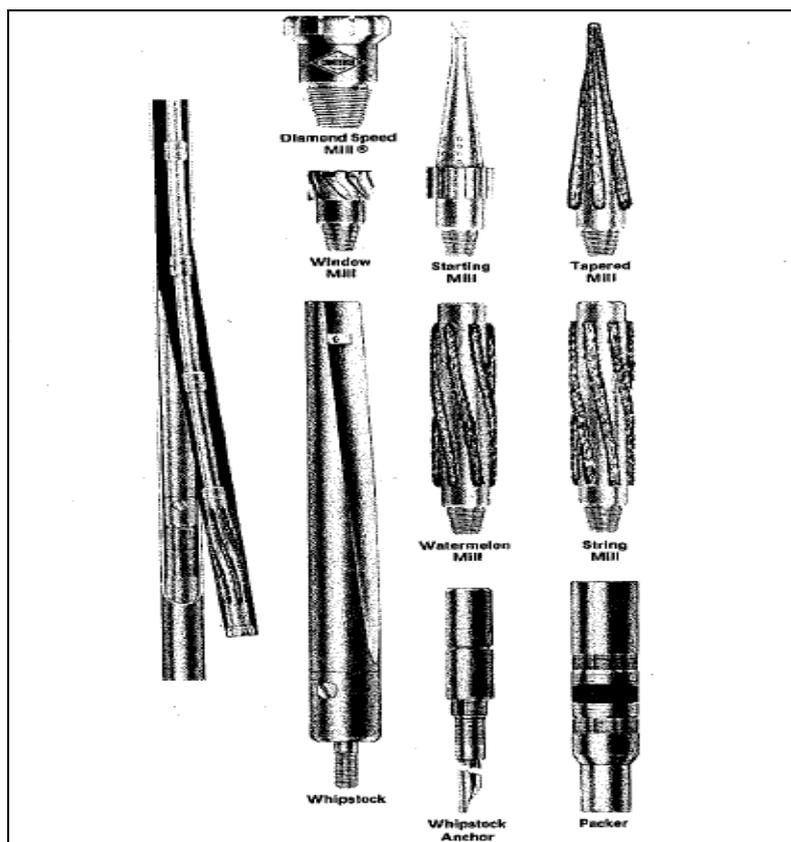


Figura III.40. Equipos y herramientas empleadas para la desviación correspondiente en el KOP, antes de perforar el hoyo de 17 1/2". [16]

Una vez obtenido el hoyo de 17 1/2" hasta la profundidad vertical TDV de 7003', se procede a realizar una corrida de registro eléctrico; con la finalidad de registrar y determinar el estado mecánico y estabilidad del interior de la perforación antes de realizar la corrida del revestidos de 13 3/8". El dispositivo o sonda de registro es introducido al interior del hoyo a través de un sistema de guayas por el cabezal del pozo en la mesa rotatoria hasta el fondo del hoyo, y posteriormente es subido lentamente registrando todas las secciones internas del pozo, hasta cubrir la totalidad de la profundidad del pozo. Las lecturas registradas por este tipo de registros posteriormente son interpretadas por el cuerpo de ingenieros de perforación y los geólogos.

III.5.11 CORRIDA Y CEMENTACIÓN DE REVESTIDOR DE 13 3/8” [16][17]

Una vez ya alcanzado una profundidad sobre los 7000 pies, en el hoyo perforado con 17 1/2” de diámetro interno; se procede a colocar la protección interior del mismo mediante la corrida y cementación del revestimiento de 13 3/8”. Esta cementación se ejecuta por medio de unidades de cementación ubicadas en la parte superficial de la operación, desde donde es bombeada la mezcla de cemento a altas presiones para tratar de ocupar el mayor espacio vacío dentro del espacio anular entre las paredes de la formación y las paredes externas del revestidor. En esta fase se hace común realizar una revisión de los estados mecánicos y físicos del interior del hoyo así como también una revisión del estado de las cementaciones previas hasta alcanzar esta ultima fase de cementación de este revestidor intermedio; estos procesos de revisión los elaboran por medio de equipos de guaya eléctrica como los que se observan en la figura III.42, son introducidos al interior del hoyo y monitorean variables críticas como la medida del caliper interno de la tubería, reportándolo por medio de registros (ver figura III.41) que posteriormente serán analizados.

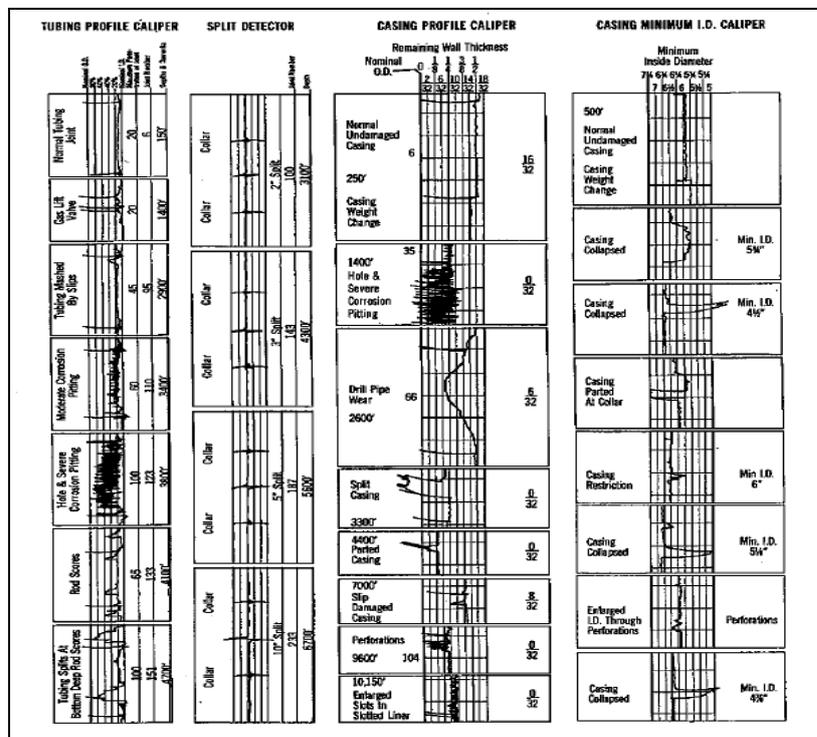


Figura III.41.Registros de Caliper, determinación del diámetro interno del pozo [12]

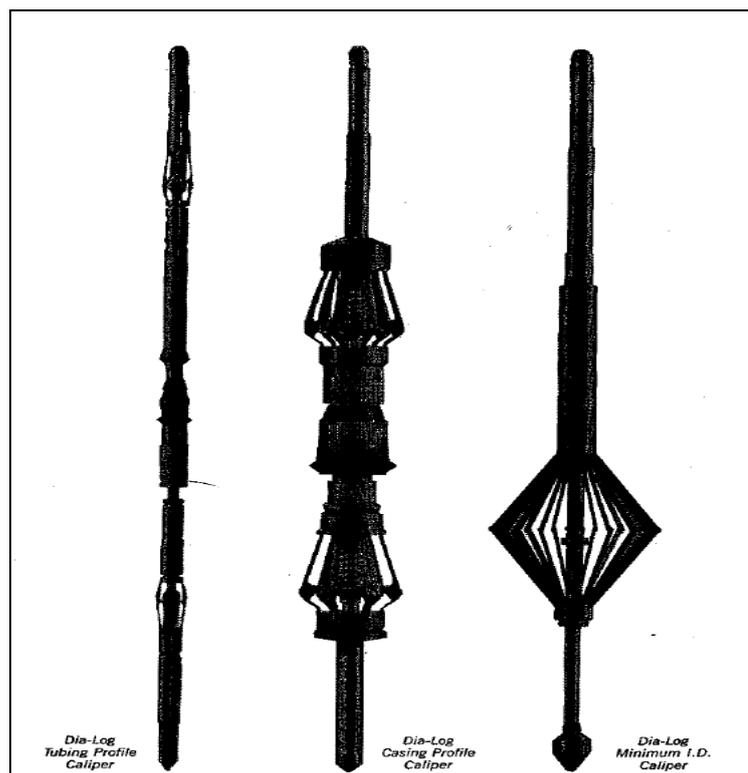


Figura III.42 Equipos de registro y monitoreo del Caliper interno del pozo ^[16]

Posterior a la determinación del Caliper interno del revestimiento, se ejecuta la corrida de un registro eléctrico que determina la inclinación y desviación de la trayectoria del pozo en una profundidad determinada, en referencia a un punto fijo en la superficie; este registro se denomina *GYRO DATA* o *GYRO LOG* el cual es un registro que emplea como principio operativo un giroscopio de principio electro-magnético y la sonda o herramienta de registro puede configurarse operativamente según la información requerida en el registro.

III.5.12 BAJAR HERRAMIENTA DE PERFORACIÓN, PERFORACIÓN DE HOYO DE 12 ¼” Y CORRIDA DE REVESTIDOR DE 9 5/8” ^[16]

^[17]

Luego de corrido y cementado el revestidor de 13 3/8”, se procede a realizar la operación de perforación del hoyo de diámetro de 12 ¼” por medio del motor de fondo, con este sistema se pueden realizar perforaciones del tipo direccional hasta alcanzar las profundidades que preceden a la profundidad total del pozo. Este hoyo alcanza una profundidad total de 12.150 pies.

Al llegar a la profundidad determinada al diámetro de 12 ¼”, se procede a bajar y correr el revestidor intermedio final, que posee un diámetro de 9 5/8”, luego es cementado como los revestidores de profundidades anteriores, y asentado y colgado en las paredes internas del revestidor anterior de 13 3/8”.

III.5.13 DESPLAZAMIENTO DE FLUIDOS DE PERFORACIÓN BASE ACEITE Y RESTOS DE FLUIDOS DE CEMENTACIÓN ^[16] ^[17]

En esta fase se desplaza al exterior del pozo el contenido interno de fluidos de perforación a base de aceite, o restos de fluidos de cementación que pudiesen haber quedado en el interior del mismo. Este desplazamiento básicamente se realiza con el bombeo al interior del pozo otra serie de fluidos de perforación que sean más compatibles con la geoquímica de la formación, por lo general los fluidos bombeados son mezclas de salmueras, las cuales permiten realizar un mejor control del diferencial de presión en la fase final del hoyo de producción.

III.5.14 BAJAR HERRAMIENTA DE PERFORACIÓN, PERFORACIÓN DE HOYO DE PRODUCCION DE 8 ½” HASTA LA PROFUNDIDAD TOTAL ^[16] ^[17]

Para la perforación del hoyo de producción final hasta alcanzar la profundidad final (TD) de 14.200 pies se usa como sistema de perforación el motor de fondo

(MWD). Cuando el equipo de perforación registra que ha llegado a la profundidad de interés, se procede a realizar una navegación de la formación para incrementar el área de drenaje del yacimiento hacia el pozo.

III.5.15 CORRIDA Y CEMENTACIÓN DE LINER DE PRODUCCIÓN DE

7” [16] [17]

En esta fase cobra gran importancia el control de los parámetros hidráulicos con que se esta perforando, mediante el control del diferencial de presiones y el control de no exceder la presión de rompimiento del poro de la formación, ya que esto podría traer como consecuencia el colapsamiento de la fase final de perforación. Una vez controlado el pozo por medio de las características del lodo, se procede a utilizar y correr al interior del pozo un revestidor especial denominado *Liner*, el cual es colocado y colgado en la parte inferior del revestidor anterior de 9 5/8”, al igual que los revestidores anteriores, debe ser cementado por medio de la inyección de un fluido cementante por el espacio vacío en el anular entre el *liner* y la formación. Justo sobre la parte superior del *liner* donde se encuentra hincado al revestidor anterior, es colocado un sello hidráulico o sistema de empacadura, para realizar un mejor control de los fluidos producidos en el pozo.

Posteriormente es bajado al interior del pozo una herramienta de control de entrada de fluidos al interior de la tubería de producción acompañada de un sistema de cañones de perforación, los cuales son los encargados de realizar las aperturas finales e incrementar el área efectiva de flujo de fluidos hacia el interior del pozo a través del *liner*.

III.6 NUEVAS PROPUESTAS TECNOLOGICAS EN PERFORACION COSTA AFUERA

Con el desarrollo de la tecnología aplicada a los procesos industriales, la industria de perforación de pozos a sido beneficiada con una serie de desarrollos que han permitido alcanzar excelentes resultados en cuanto a la perforación de pozos de hidrocarburos localizados en ambiente marinos costa afuera, en especial alcanzando registros de alcances de perforaciones de pozos a grandes profundidades y altas presiones.

Entre algunos de los desarrollos tecnológicos que se presentan en las actividades de perforación costa afuera, se mencionan los siguientes:

- Uso de Riser o Tubo Vertical Marino.
- Manejo de BOP submarino.
- Implementación de Vehículo Operado a Control Remoto (ROV), en el fondo marino.

III.6.1 RISER O TUBO VERTICAL MARINO ^[20]

En décadas pasadas las primeras perforaciones de pozos localizados en ambientes marinos, se desarrollaban con los principios de perforación manejados en tierra firme, con lo cual las tuberías de perforación usadas eran las mismas usadas en las perforaciones de pozos en tierra firme. Esto factor traía como consecuencia que el reflujó de fluidos de perforación y los cortes de formación que se extraían, eran desechados libremente sobre el lecho marino, provocando un exceso en el costo operativo provocado por la pérdida del fluido de perforación, cuando se trataba de pozos perforados con lodos de perforación base aceite. Por tal razón, el desarrollo de tecnológico enfocado en los sistemas de sartas de perforación, se enfoco en desarrollar una tubería de perforación costa afuera que pudiese alojar la sarta de perforación, el fluido de perforación y los fluidos provenientes del pozo, como

resultados de este desarrollo se obtiene la aplicación de una tubería ascendente vertical o Riser.

Los sistemas risers consisten en un sistema de tubería vertical ascendente, el cual posee como finalidad operativa, realizar la interconexión entre el pozo y la unidad de perforación en la superficie marina, este sistema de tubería se encuentra conectado en el fondo marino al sistema de impide reventones y en la superficie marina al piso de la unidad perforadora. La función principal de este tipo de sistemas, es permitir el retorno efectivo de los volúmenes de fluidos o lodos de perforación desde el pozo hacia el taladro.

Por lo general este tipo de sistema de tubería ascendente se utiliza cuando se una perforación de un pozo con el sistema de válvulas impide reventones en el lecho marino, por lo general equipos o unidades semisumergibles y barcos perforadores. Este sistema de tubería ascendente debe adecuarse a la profundidad operativa del agua donde se va a aplicar debido a una serie de factores que pudiesen afectar su desempeño, tales como:

- La existencia de fuerzas laterales cíclicas, provocadas por la acción de las fuerzas hidrodinámicas, presentes por medio de los sistemas de corrientes marinas y desplazamientos aceptables provocados por el movimiento de la unidad de perforación.
- La acción de cargas axiales sobre el sistema de risers, provocadas por las cargas hidráulicas debidas a las características de peso del fluido de perforación y desplazamientos mecánicos del sistema de perforación en el interior del tubo ascendente.
- Presencia de fuerzas, provocando la acción de fuerzas dinámicas durante la bajada y subida del sistema de impide reventones, durante la operación de perforación.

Este sistema de tubería ascendente, por sus características operativas, se encuentra sujeto a soportar rangos de presión en el interior del mismo, que debe soportar

una presión hidrostática equivalente a la presión de trabajo del sistema de recirculación de fluidos mas un adicional de un diferencial de presión existente entre la presión aportada por el fluido de perforación en el interior del sistema y el agua de mar existente en el fondo del lecho marino. Operativamente, este sistema de tubería ascendente se encuentra restringido cuando se realizan operaciones de perforación a grandes profundidades, debido a que el sistema de riser pudiese colapsar, provocado por un efecto de caída de presión en el interior del sistema; dicha caída de presión puede ser ocasionada por la existencia de una pérdida de circulación o algún proceso de desconexión imprevista cuando el interior del sistema de riser se encuentre lleno de fluidos de perforación.

III.6.2 SISTEMA IMPIDE REVENTONES SUBMARINO O BOP SUBMARINO ^[20]

Este equipo, al igual que los equipos usados en operaciones de perforación en tierra firme; consiste en una serie de válvulas, las cuales tienen como finalidad mantener o realizar un bloqueo entre las líneas de comunicación del pozo hacia la superficie, permitiendo conocer y manipular los rangos de presiones operativas en caso de que hay la existencia de algún fenómeno de influjo de fluidos hacia el interior del pozo y hacia el sistema tuberías de perforación durante el proceso de perforación del pozo.

Actualmente el desarrollo de la tecnología a permitido extrapolar herramientas y equipos usados en tierra firme a las operaciones en espacios marinos y a grandes profundidades, escenarios donde las condiciones operacionales son totalmente distintas a los niveles de referencias a los rangos de presiones a nivel del lecho marino, por tal razón se han desarrollado sistemas de BOP que pueden ser colocados en el cabezal del pozo a profundidades del lecho marino, como se muestra en la figura III.43.

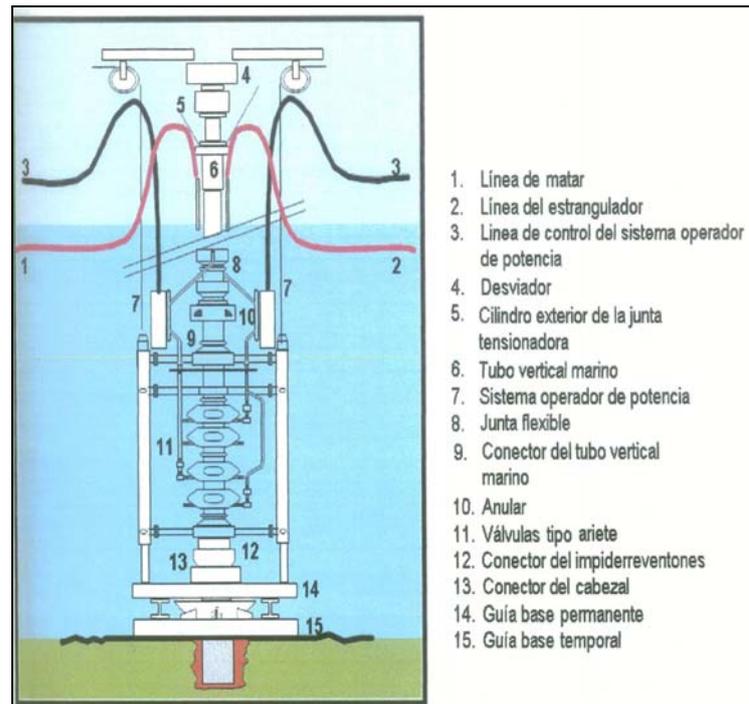


Figura III.43 Configuración del impide reventones submarino o BOP submarino [20]

La configuración espacial y mecánica de estos sistemas de impide reventones pudiese ser variable, según; sea el caso operativo. Sin embargo la profundidad operativa, el tipo de pozo y el tipo de zona a perforar se muestran como los factores determinantes para la selección de dicha configuración de válvulas. Este sistema de válvulas posee como función principal la apertura y el cierre controlado del pozo durante la operación de perforación, durante un viaje o cuando no se ha colocado tubería en el pozo, permitiendo realizar el bombeo de un fluido dentro del mismo, así como el viaje de la tubería durante el influjo y controlar el escape de fluidos.

Cada componente que conforma el ensamblaje de un sistema de BOP, puede ser manejado por medio de un principio de empuje hidráulico o electro-hidráulico, el control del BOP se encuentra directamente relacionado a la presión de empuje ejercida por un fluido, que permite accionar una válvula interna de cierre o de apertura. Este sistema de impide reventones se encuentra conformado por un número mínimo de válvulas de control, las cuales son las encargadas de direccionar el fluido hacia y hasta la función requerida durante la operación de

perforación y control del pozo, estas válvulas a su vez, permiten realizar el recorrido de retorno del fluido hasta la unidad de control para su uso posterior.

Existen diferentes tipos de válvulas BOP, tales como: las válvulas tipo anulares, las válvulas tipo ariete, las válvulas de seguridad y las válvulas internas del impide reventones.

III.6.3 SISTEMA DE VEHICULO OPERADO A CONTROL REMOTO (ROV), EN EL FONDO MARINO ^[20]

En las operaciones de perforación costa afuera, y en especial las que se realizan en profundidades que se clasifican como aguas profundas y aguas ultra profundas, en oportunidades se hace necesario la utilización de una serie de herramientas y equipos que no pueden ser manipulados y manejados por medios manuales por los operadores en superficie, por tal razón se hace necesario la utilización de equipos mecánicos que sean controlados desde superficie por medio de controles remotos dirigidos desde superficie en las instalaciones de perforación. La industria de perforación ha desarrollado un dispositivo de trabajo submarino llamado Vehículo Operado a Control Remoto (ROV), el cual sirve de herramienta de trabajo para las operaciones submarinas, por medio del comando de la misma desde superficie.

El ROV se trata de un equipo de alta tecnología el cual es operado a distancia desde superficie por medio de un sensor o una línea de conducción de corriente eléctrica, el cual es visualizado por una serie de cámaras desde la instalación de perforación en superficie, como se muestra en la figura III.44.



Figura III.44 Vehículo operado a control remoto o ROV ^[20]

El *ROV* se encuentra conformado por una serie de sub equipos y sistemas que le brindan una independencia operativa en la realización de diversas operaciones en el fondo marino, entre los cuales se pueden mencionar: un mando principal o control principal, una polea, un brazo giratorio y una serie de cámaras de observación.

Este vehículo de observación y de de soporte alas operaciones de perforación, se encuentra en la industria en diversas modalidades; según el tipo de operación al cual será asignado: los ROV de observación simple, ROV de observación y trabajo ligero, ROV de observación y trabajo pesado y los ROV especiales. Los mismos se describen a continuación:

- **ROV de observación simple:** estos vehículos de observación se encuentran provistos de sistemas de iluminación de alta intensidad y sistemas de video cámara, para realizar la captación de imágenes del lecho marino. Estos están destinados solo a las operaciones y funciones de observación.
- **ROV de observación y trabajo ligero:** estos vehículos controlados a control remotos se encuentran equipados igual que los ROV de observación simple, y adicional poseen uno o dos brazos de trabajos ligeros. Estos se usan para realizar operaciones de inspección de sistemas de tubería y realizar el

reconocimiento del fondo marino donde serán asentados el resto de las herramientas y equipos de cabezal del pozo.

- **ROV de observación y trabajo pesado:** esta serie de vehículos no son construidos para la realización de inspecciones, a diferencia de las otras dos clases anteriores. Estos brindan el soporte operativo a los sistemas de perforación y taladros de perforación y de producción.
- **ROV especiales:** estos dispositivos de trabajo, son construidos especialmente para darle soluciones y brindar apoyos a operaciones muy específicas dentro de las actividades de perforación y de posteriormente en las fase de producción en aguas profundas y ultra profundas, o en las construcciones y reparaciones profundas de los sistemas de tubería de perforación.

Estos equipos de trabajos controlados a control remoto desde superficie generalmente están destinados a cubrir el requerimiento de soporte de observación y soporte operaciones en las siguientes operaciones definidas:

- Inspeccionar el sitio de trabajo antes de realizar la bajada de los primeros equipos y herramientas de perforación.
- Realizar la observación rutinaria del indicador o nivel localizado en la base guía de perforación.
- Observar a todo lo largo el sistema de tubería ascendente o riser para localizar posibles pérdidas de circulación de fluidos durante la perforación.
- Monitorear los procesos y operaciones de cementación del revestidor superficial.
- El reemplazo de herramientas.
- Realizar el posicionamiento de la carga explosiva.
- Efectuar operaciones de inspección y limpieza.
- Realizar el cerrado y apertura del sistema de válvulas del impide reventones de forma manual.

III.7 PERSONAL DE OPERACIONES DE PERFORACION COSTA AFUERA (OFF-SHORE), ENTRENAMIENTO OPERATIVO DEL PERSONAL.

El complemento operativo para el desarrollo de las unidades de perforación costa afuera se encuentra constituido por el personal de labores, normalmente se considerado por las compañías operadoras como su mas valioso recurso. Esta personal de operaciones sobre las instalaciones o plataformas de perforación costa afuera es el encargado del desarrollo de las actividades de apoyo y operaciones técnicas.

III.7.1 PERSONAL DE OPERACIONES COSTA AFUERA ^{[12] [13]}

El personal a bordo de una plataforma de perforación costa afuera, posee ciertas limitantes en cuanto al numero máximo de operadores y de personal de apoyo; sin embargo se deben de considerar el numero mínimo de personas necesarias para el desarrollo de cualquier operación sobre las instalaciones costa afuera, debido al escaso y restringido espacio que se dispone para el desarrollo normal de cada individuo que conforme parte del personal a bordo.

La determinación del número de personas que se requieren para el desarrollo de las operaciones a bordo de una plataforma petrolera costa afuera, se convierte en uno de los parámetros críticos al momento de tomar decisiones sobre un proyecto de desarrollo de un campo costa afuera. Desde el inicio de las operaciones de perforación y su continuación con las operaciones de producción, debe preverse la estadía y resguardo de las condiciones básicas de alojamiento y servicios básicos para los equipos que integran las unidades de perforación y de control de pozo, operaciones de mantenimiento y servicios generales. Hoy en día se estima que el promedio general del personal que opera en las instalaciones de una plataforma de petrolera costa afuera, se encuentra constituido entre 200 a 210 personas, este número puede ser desglosado de la siguiente manera de acuerdo a la unidad operativa y del tipo de servicio que presta y desarrolla sobre la plataforma:

- Personal de operaciones generales: 40.
- Personal de mantenimiento de instalaciones y apoyo operacional: 50.
- Personal de equipo de perforación: 70.
- Personal de servicios generales a bordo: 50.

El personal que integra el desarrollo de las operaciones de perforación sobre una instalación o plataforma costa afuera, debe funcionar como una sola unidad muy bien coordinada y sincronizada para asegurar el efectivo desarrollo de las operaciones y alcanzar en un tiempo determinado los objetivos propuestos dentro de los planes de la perforación del pozo o de los pozos.

Como se menciona, la conformación estándar de un equipo de personal que se encuentra encargado del desarrollo de las operaciones sobre una plataforma de perforación costa afuera alcanza alrededor de 70 personas, sin embargo este número puede ser incrementado alrededor de 80 personas, dependiendo de las características técnicas y logísticas que presenten las operaciones sobre las instalaciones. Este número de personas que conforman el equipo de operaciones de perforación suele ser menor durante las operaciones preliminares de la perforación; por ejemplo durante el posicionamiento definitivo de la unidad perforadora en la localización de interés.

La conformación del equipo de operaciones de perforación que labora sobre una plataforma costa afuera esta conformado por múltiples grupos de personal destinadas al desarrollo de una función en específico, según sea su nivel operativo dentro del seguimiento de la planificación de la perforación, estos distintos grupos pueden ser integrantes de dos staff muy diferentes; que sin embargo por el tipo de operación que representa la perforación de un pozo costa afuera se encuentran estrechamente integrados, ya que del efectivo desenvolvimiento de un staff dependerá el efectivo desenvolvimiento y alcance de los objetivos del otro.

Los *staff* o grupos de operaciones de un equipo de perforación se encuentran divididos en dos, según su nivel de operatividad que este desarrolle dentro de las

operaciones. Un primer staff ubicado en la costa, se encarga de las operaciones de planificación y de logística, de todo lo que involucre la planificación del equipo de perforación costa afuera, el cual se encuentra operando sobre las instalaciones costa afuera sobre la plataforma petrolera (ver figura III.45). Este personal que labora costa afuera sobre la plataforma, se encuentra constituido principalmente por: el equipo de personal de taladro, personal empleado para las operaciones de apoyo a la perforación (operaciones de cementación y registros de pozo); un gran numero de personal que no están ligados directamente con las operaciones de perforación como lo son: el personal de navegación en caso de tratarse de una embarcación, personal contratado temporalmente para brindar soporte técnico a las instalaciones y servicios (personal medico, cocineros y otros) a bordo de las instalaciones costa afuera.

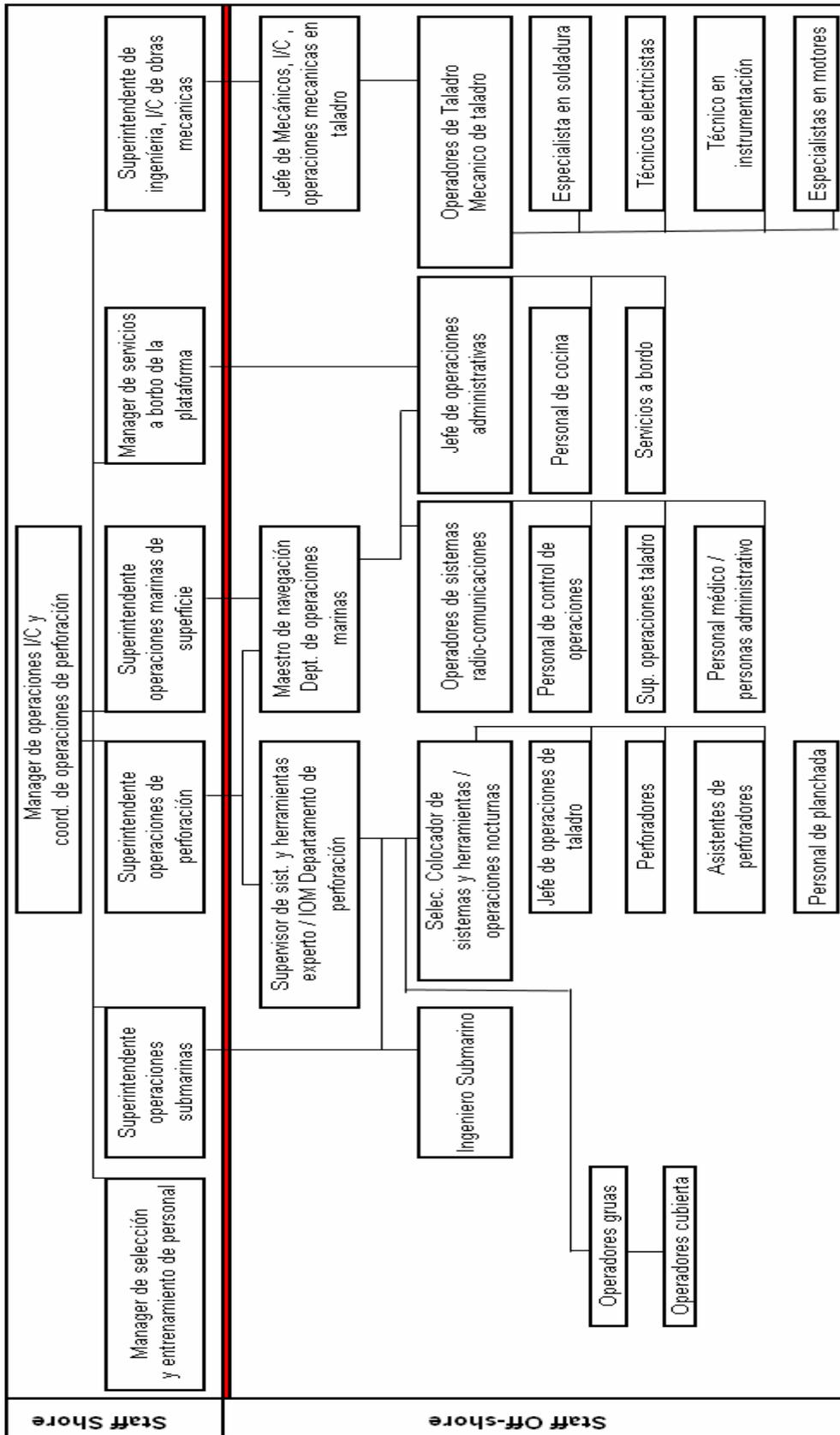


Figura III.45. Organigrama de los staff operativos en una unidad de perforación costa afuera^[12]

El siguiente listado presenta la conformación típica estándar de un equipo de personal que interactúa en las operaciones técnicas, de apoyo y de servicios; según sea su actividad a desarrollar en las instalaciones de perforación costa afuera.

Personal de la compañía petrolera operadora:

- 1 Representante de la compañía operadora.
- 2 Ingenieros geólogos.
- 1 Ingeniero de perforación.
- 1 Coordinador y superintendente de materiales.

Personal del equipo de perforación de la compañía contratista:

- 1 Seleccionador y colocador de herramientas experto / OIM.
- 1 Seleccionador y colocador de herramientas júnior.
- 1 Maestro de navegación.
- 1 Jefe de mecánicos.
- 2 Operadores de radio.
- 1 Médico.
- 1 Oficinista administrativo.
- 1 Jefe de camareros.
- 1 Jefe de cocina.
- 2 Cocineros.
- 5 Camareros.
- 2 Supervisores de habitaciones.
- 1 Almacenista.
- 1 Ingeniero sub.-marino.

- 2 Perforadores.
- 2 Asistentes de perforadores (A/D).
- 2 Jefes de taladro.
- 6 Obreros de planchada.
- 6 Obreros de labores de cubierta / superficie.
- 2 Operadores de grúas auxiliares.
- 1 Jefe de operaciones de cubierta.
- 1 Jefe de mantenimiento (AB).
- 2 Técnicos electricistas.
- 1 Técnico de instrumentación.
- 2 Mecánicos.
- 2 Especialistas en motores.
- 1 Técnico especialista en soldadura.

Personal de apoyo a operaciones:

- 1 Ingeniero de fluidos de perforación.
- 1 Ingeniero de cementación.
- 4 Especialistas en control de fluidos de perforación.
- 3 Buzos.
- 1 Jefe supervisor de operaciones de buceo.
- 3 Técnicos en manejo de ROV

III.7.2 ADIESTRAMIENTO DEL PERSONAL Y ASPECTOS DE SEGURIDAD OPERACIONAL EN OPERACIONES DE PERFORACIÓN COSTA AFUERA ^[13] ^[16]

El personal que labora en operaciones de perforación costa afuera se encuentra expuesto a los mismos riesgos operacionales existentes en operaciones de perforación en tierra firme, sumado a los innumerables riesgos adicionales específicos de trabajar en operaciones de perforación sobre una instalación petrolera costa afuera en alta mar, como trabajar bajo condiciones climáticas muy adversas, la posibilidad del desplome de la plataforma en el mar, la necesidad de bucear a diferentes profundidades para la instalación, mantenimiento e inspección de equipo y muchos otros más.

Las compañías operadoras y compañías de servicios encargadas de realizar las operaciones de perforación costa afuera en instalaciones o plataformas costa afuera, poseen como filosofía de operaciones, la disminución de riesgos operacionales y alcance de objetivos en el menor tiempo posible; para lo cual cada uno de los miembros que conforman la unidad operativa que desarrolle cualquier labor sobre este tipo de instalaciones; debe cumplir de forma obligatoria con un programa de adiestramiento y entrenamiento certificado para obtener un mínimo de conocimiento técnico/operacional de todas las acciones que se desarrollen sobre las plataformas petroleras costa afuera, así como también una instrucción muy detallada en aspectos de seguridad integral para brindar el soporte necesario durante el desarrollo de las operaciones y disminuir las posibilidades de incidencias y ocurrencias de accidentes, así como también el control efectivo de pérdidas de tiempo reflejado en posibles costos de operaciones y personal operativo.

Por lo general los escenarios que se presentan en las estructuras de perforación ubicadas operativamente costa afuera, en cuanto a las actividades de riesgo operacional y ocupacional, pueden considerarse de alto riesgo, debido a que el ambiente donde se desarrollan las actividades se encuentra compuesto múltiples

estructuras y mecanismos que por su índole mecánico, no se encuentran desprovistas de fallar en cualquier momento.

Los programas de entrenamiento del personal operativo de las plataformas petroleras costa afuera son ofrecidos por múltiples instituciones y organizaciones internacionales como la OMI (Organización Marítima Internacional) se encargan de establecer los estándares operacionales y de la certificación de los programas de entrenamiento para el desarrollo de operaciones costa afuera, estos son especialistas en tratar de satisfacer las necesidades y requerimiento de seguridad y entrenamiento operativo de la industria petrolera costa afuera. Muchos de estos programas has sido adaptaciones de programas provenientes de otras ramas como los programas de entrenamientos y asistencia de personal de combate de incendios y los programas de entrenamiento y seguridad integral para el desarrollo de las operaciones de perforación en instalaciones en tierra firme.

Situaciones tan comunes como caminar por la cubierta o plataforma de operaciones, pudieran convertirse en riesgosas, ya que las instalaciones costa afuera por encontrarse en un medio ambiente acuático, a la intemperie, y soportando el embate de las olas sobre la estructura, que provoca que la superficie del suelo se encuentre húmedo, mojados y resbaladizos, sin contar con las continuas vibraciones provocadas debido al funcionamiento de los motores y a la perforación perse, por lo que los trabajadores han de realizar movimientos precisos y cuidadosos, y las medidas de seguridad deben ser estrictamente aplicadas. Por ello la formación del personal que labora en la plataforma es esencial para la seguridad de la operación.

Es así, que no se puede considerar ningún programa de seguridad sin tomar en cuenta los problemas del personal, es decir, que si no se atienden y satisfacen problemas del personal, el programa de seguridad no rendirá los resultados esperados, y probablemente falle completamente.

A continuación se citan los principales riesgos y accidentes a los que están expuestos el personal que labora en plataformas marinas costa afuera, causas y consecuencias, así como las medidas de prevención y de seguridad de los mismos, y las medidas en caso de que ocurran:

Causas que contribuyan al accidente:

1. HERENCIA: rasgos y características físicas del personal

- Atributos físicos (estatura, conformación del cuerpo, facultades, ojos, oídos, etc.).
- Atributos mentales (inteligencia, nerviosidad, calmado y metódico, además de otras causas adquiridas por ambientes o experiencias previa de trabajo).

2. COMPORTAMIENTO: implica acciones adquiridas, según la formación del personal; puesto que no nacemos para ellas, pueden ser buenas o malas características

- Se tiene o no la actitud apropiada.
- Se siguen las instrucciones o se hacen caso omiso de ellas y se toman riesgos.
- Se aprende con interés o se cree que ya se sabe todo.
- Se tiene mente en el trabajo o se sueña en pleno día.
- Se plantea el trabajo con esmero, o se es negligente (es importante tomar en cuenta faltas comunes como olvido, distracción o falta de consideración).

3. CONDICIONES INSEGURAS: es una de las causa principales y puede llegar a ser una causa directa del accidente, no dependen del personal que labora en la operaciones de perforación costa afuera

- Guardas inadecuadas (equipos sin protección, falta de guardas o malamente protegidas).
- Medios defectuosos (equipos desgastados, rotos o mal diseñados, condiciones resbalosas, defectuosas, ásperas, agudas, deterioradas, corroídas o deshilachadas, etc.).
- Mal procedimiento (apilamiento, almacenamiento, poco espacio en pasillos, conexiones inapropiadas).
- Precauciones inadecuadas contra incendios en pruebas de formaciones conocimientos insuficientes del uso de sistemas de prevención de reventones negligencia en usar dispositivos de seguridad disponibles.
- Alumbrado inadecuado.
- Insuficiente ventilación (común en procesos de limpieza de tanques).
- Ropa inadecuada (ropas sueltas o rotas cuando se está entre la maquinaria puede ser muy peligrosa).

4. **MOVIMIENTOS INSEGUROS:** es responsable aproximadamente del 88% de los accidentes, se debe a actos desidiosos y riesgosos, dependen del nivel de formación y conocimiento técnico que posee el personal

- Poner en funcionamiento una máquina sin autorización.
- Trabajar innecesariamente apresurado.
- Inutilizar dispositivos de seguridad.
- Usar equipos que no ofrecen protección.
- Descuidarse en las diversas posturas que se deben adoptar en el trabajo.
- Jugar mientras se trabaja.
- Dejar de usar atavíos de seguridad o dispositivos de seguridad personal.

Medidas a emplear para la prevención de accidentes:

- Elección apropiada del empleado.
- Entrenamiento: responsabilidad del supervisor y obligación del empleado aprender todos los puntos de seguridad concernientes a su puesto, y que sepa aplicar la misma, tratando siempre de evitar riesgos tanto para él como para el resto del personal que labora dentro de la plataforma costa afuera.
- Actitud debida.
- Aviso sobre condiciones riesgosas: es parte del adiestramiento del personal considerar las condiciones riesgosas en la labor diaria, y es deber de supervisor ver que las medidas se cumplan tan pronto como sea posible.
- Hábitos seguros de trabajo: los procedimientos de seguridad en el trabajo los establece la empresa. El supervisor debe ver que cada individuo entienda y acepte estos procedimientos, además es responsable de que el trabajador adquiriera hábitos seguros de trabajo.
- Uso e implementación de los equipo de protección: gafas de protección ocular, guantes, cascos, además de un programa de inspección del equipo de cuadrilla de perforación el cual se debe revisar, ajustar y recambios necesarios; periódicamente realizar la inspección y disponibilidad inmediata del equipo extintor de fuego.
- Incentivos para mantener el interés en seguridad: repetición continúa en métodos y prácticas de seguridad, emplear artefactos, ayudas gráficas, demostraciones u otros incentivos como vacaciones extras, sorteos, etc., que mantengan despierto el interés del empleado.
- Investigación exhaustiva y medidas correctivas.
- Recomendaciones para mantener accidentes al mínimo: Los operarios deben cooperar entre sí y con el supervisor para que se piense, se actúe y se realice seguridad en todo momento.

En el caso específico de incendios y explosiones durante el desarrollo de las actividades de perforación sobre una plataforma costa afuera, debido a que siempre existen riesgos de reventones cuando se perfora un pozo, con la consiguiente formación de una nube de gas o vapor, existe un potencial y adicional de riesgo de incendio y explosión en las operaciones de procesado de gas.

Los trabajadores que operan sobre plataformas marinas costa afuera y sondas de perforación deben ser evaluados cuidadosamente después de ser sometidos a un reconocimiento físico exhaustivo; debido a las condiciones de estrés operacional y largas jornadas de trabajo a la cual son expuestos. La selección de personal de plataformas marinas costa afuera con historial o síntomas evidentes de enfermedades pulmonares, cardiovasculares, o neurológicas, epilepsia, diabetes, alteraciones psicológicas y adicciones de drogas o al alcohol, debe sopesarse cuidadosamente. Dado que los trabajadores tendrán que utilizar previsiblemente equipos de protección respiratoria, en particular los que estén entrenados y equipados para la extinción de incendios, deberá evaluárseles física y mentalmente en cuanto a su capacidad de desempeñar éstas tareas. El reconocimiento médico deberá incluir una evaluación psicológica acorde a los requisitos particulares del trabajo a realizar.

Entre los servicios médicos de urgencia de los equipos de perforación en las instalaciones marinas o plataformas petroleras costa afuera deberá incluirse en el equipamiento necesario un pequeño dispensario o clínica móvil, atendido por un médico calificado que esté a bordo permanentemente.

La evacuación puede realizarse por medio de embarcaciones de emergencia, barco de apoyo operacional o por medio de vía aérea con la utilización de helicóptero (ver figura III.46), o un médico puede viajar hasta la plataforma o facilitar asesoramiento médico por radio al médico a bordo cuando sea necesario.



Figura III.46. Sistemas de evacuación existentes en plataformas petroleras costa afuera. ^[19]

También el personal que no trabaja directamente en torres o plataformas de perforación debe ser sometido a reconocimiento médico previo al empleo y periódicamente, sobre si va a ser contratado en climas inusuales o en condiciones rigurosas. En éstos reconocimientos deberán tenerse en cuenta las especiales exigencias físicas y psicológicas del trabajo.

III.7.3 PROGRAMA DE SEGURIDAD PARA OPERACIONES DE PERFORACIÓN COSTA AFUERA ^{[13] [16]}

1. Al llegar el personal de la costa en una embarcación a la plataforma, se debe tener cuidado al subir o bajar del barco. Si la parte inferior de la plataforma está provista de un atracadero para barcos, la cuadrilla debe seguir las instrucciones que la empresa haya dado para desembarcar, es decir ordenadamente, sin apuros, sin confusión. Al subir las escaleras el personal debe agarrarse firmemente de los pasamanos. Esto es imprescindible particularmente si los peldaños o el pasillo que conduce a la escalera están mojados por la marea, lluvia o neblina.
2. En caso de usar una grúa para subir al personal como sucede en algunas plataformas, establézcase la capacidad de la cesta y cuantas personas deben

entrar en ella a un tiempo. Obsérvese discreción al bajarse la cesta. La torre de control debe coordinar con el operador de la grúa los viajes para hacerlos con el menor riesgo posible. Una vez en la plataforma nadie debe permanecer debajo de la grúa especialmente si está alzando o moviendo una carga material, etc.

3. La cuadrilla debe usar salvavidas cuando se esté asentando o flotando la plataforma.
4. El supervisor es responsable de la responsabilidad de la cuadrilla de turno que esté sobre la plataforma.
5. Cerciórese de que el sistema de comunicación está en buen estado todo el tiempo para poder recibir y transmitir mensajes de emergencia.
6. En causa de huracán o tormenta, es esencial que el personal sepa que hacer. Para ello es importante que el personal esté efectivamente adiestrado, para ello deben realizarse frecuentemente simulacros de evacuación, que incluyen ordenado abandono del puesto de trabajo de cada uno, la evacuación de la plataforma y el embarque rápido y ordenado, sin olvidar los salvavidas.
7. En casos donde la instalación se encuentra a poca distancia de tierra está provisto de pasillos o andenes, al darse la alarma de huracán, temporal, u otras razones, el personal debe estar al corriente de la rutina a seguir para llegar a tierra, a punto de seguridad.
8. Dar instrucciones de cómo proceder al personal en los siguientes casos de emergencia:
 - Reventones.
 - Colapso de torres de perforación.

- Accidentes que pueden ocurrir al asentar o flotar la plataforma.
 - Accidentes causados por circuitos eléctricos o líneas vivas.
 - Encallamiento de barcaza o de barco, cuando se usan para la perforación.
 - Accidente grave que deje a un individuo mal herido, o cause la muerte.
 - Asegurarse de que todo el equipo esté en buen estado y funcionando bien, tal como el equipo de perforación, etc., para evitar accidentes lo más que sea posible. Preparar requisiciones de material, piezas, y hasta maquinaria si están desgastadas o amenazan la seguridad.
 - Adiestrar el personal en el manejo de equipos contra incendios, y conocer la ubicación exacta de los mismos.
 - Señalar los sitios de válvulas críticas que aíslan cada unidad.
9. Preparación y adiestramiento del personal para la aplicación de primeros auxilios.
 10. El faro de aviso de emergencia para aeronaves y el de navegación deben estar siempre en buenas condiciones de operación. Usar luces o reflectores que penetren la neblina, tener cohetes de señales, alarma para neblina, etc.
 11. En caso de que haya un ojo eléctrico que avise la entrada de extraños a la plataforma, éste debe estar conectado a la torre de control y provisto de un sistema de comunicación para que los extraños puedan dar la razón de su visita.
 12. Tener siempre libre y despejado el sitio de aterrizaje de helicópteros.
 13. Advertir al personal que camine con cuidado sobre la plataforma durante el desempeño de su trabajo, aún más cuando llueve o hay presencia de neblina, ya que el piso se pone resbaladizo.

14. Se debe recalcar siempre la importancia de usar cascos de seguridad, zapatos con punta de hierro, gafas, guantes, ropa adecuada, etc.

La seguridad como se conoce hoy día forma parte integral de cada operación, proyecto o programa. No se puede dejar de reconocer que está entrelazada a la parte económica de una empresa. Es un factor importante en reducir costos, y si no se controla, en aumentarlos fuera de proporción. Falta de observación de estas reglas podría perjudicar a la compañía como en casos donde el accidentado denunciara a la compañía y el fallo resultara favorable.

El hecho de que un grupo de trabajo dentro de una plataforma petrolera marina costa afuera trabaje colectivamente, en armonía, o se establezcan buenos canales de comunicación entre las unidades de trabajo, en cuyo caso ningún programa de seguridad tiene si no se cumplen tres factores indispensables como lo son:

- El exacto cumplimiento de las normas establecidas.
- Respeto de las funciones y labores; así como la máxima organización durante el desarrollo de las operaciones de perforación, y cualquier otra.
- El cumplimiento de los planes de revisión y supervisión.

III.8 REGULACION Y ASPECTOS LEGALES DE LAS PLATAFORMAS MARINAS COSTA AFUERA

III.8.1 REGULACION INTERNACIONAL DE LAS PLATAFORMAS MARINAS COSTA AFUERA ^{[21] [22] [23]}

Desde el año 1924, cuando se construyó la primera plataforma de madera perforadora sobre las aguas del Lago de Maracaibo; la industria de plataformas móviles costa afuera (*off shore craft*) ha crecido aceleradamente y se ha convertido en un gran proveedor de petróleo, para el desarrollo de todos los sectores. De tal expansión ha surgido un movimiento mundial instado a que se

elabore una convención internacional que regule las unidades o plataformas de operaciones petroleras en áreas costas afuera.

El Comité Marítimo Internacional (CMI) ha estado realizando ensayos y trabajos para la elaboración de una convención, adoptando su primer proyecto en el año de 1977 en Rio de Janeiro y luego aprobando el bosquejo nuevo en la conferencia de Octubre 1994 del CMI en Sydney, Australia. Hasta la fecha, sin embargo, aun no se ha logrado concluir dicha convención, aunque se ha efectuado una conferencia en Londres en el año de 2005 y se tiene previsto la elaboración de una convención en Diciembre del 2007. Las actividades del CMI, en sus esfuerzos de elaborar una convención internacional que cubra a las unidades móviles costa afuera, enfocando principalmente la responsabilidad en el área ambiental hasta ahora han sido infructuosas.

La Asociación Canadiense de Derecho Marítimo, concluyo que a nivel internacional se tiene la necesidad imperante de la creación de normativas generales para el desarrollo de las operaciones del sector petrolero, mercantil y naviero en espacios marinos costa afuera, lo cual dicha situación no es satisfactoriamente demarcadas por las acciones anteriores plasmadas en el bosquejo de Sydney, por lo cual se creo un documento denominado *Discussion Paper on the Need for an International Convention on Offshore Units, Artificial Islands and Related Structures used in the Exploration for and Exploitation of Petroleum and Seabed Mineral Resources*. En el mismo la Asociación canadiense de Derecho Marítimo indica que la regulación existente crea escenarios de incertidumbre y desconcierto sobre situaciones específicas, que afectan el crecimiento de una fuerza multinacional de trabajo y evidencia la necesidad de identificar métodos de seguridad estándares operacionales y gerenciales.

Actualmente no existe un instrumento internacional multinacional que defina y regule el funcionamiento de las plataformas marinas, lo cual no significa la inexistencia de normas internacionales aplicables a éstas.

III.8.2 NATURALEZA JURIDICA DE LAS PLATAFORMAS COSTA AFUERA EN VENEZUELA ^{[24] [25] [26] [27]}

El Estado de la Republica Bolivariana de Venezuela, al no contar con una normativa de carácter internacional que regule de manera general la totalidad de las actividades de las plataformas petroleras en aguas afuera, debe resguardar a dichas instalaciones y sus actividades derivadas por medio de la aplicación de las normativas marítimas administrativas y ambientales que se encuentren en los articulados y ordenamientos nacionales.

El derecho marítimo venezolano posee su nacimiento y razón de existir en los riesgos existentes en el mar, es por ello que se plantea la necesidad de otorgarle la seguridad a las operaciones relacionadas con la navegación, motivado a los peligros a que están expuestas los sistemas navales y plataformas marinas durante el desarrollo de sus operaciones de exploración y explotación de petróleo y gas en los espacios acuáticos y marinos.

El desarrollo de toda legislación, normativa o relaciones del orden jurídico; poseen su raíz de origen en lo contemplado por mandato expreso en el artículo 153 de la Constitución de la Republica Bolivariana de Venezuela y la cual es objeto de modificaciones y en especial el sector petrolero, esto cambiaría sustancialmente la ejecución de los procedimientos y el régimen que se les aplicará a dichas plataformas marítimas en el espacio acuático venezolano, en este contexto histórico. Dicho artículo expresa lo siguiente:

TÍTULO IV
DEL PODER PÚBLICO

Capítulo I

De las Disposiciones Fundamentales

Sección Quinta: De las Relaciones Internacionales

Artículo 153. La República promoverá y favorecerá la integración latinoamericana y caribeña, en aras de avanzar hacia la creación de una comunidad de naciones, defendiendo los intereses económicos, sociales, culturales, políticos y ambientales de la región. La República podrá suscribir tratados internacionales que conjuguen y coordinen esfuerzos para promover el desarrollo común de nuestras naciones, y que garanticen el bienestar de los pueblos y la seguridad colectiva de sus habitantes. Para estos fines, la República podrá atribuir a organizaciones supranacionales, mediante tratados, el ejercicio de las competencias necesarias para llevar a cabo estos procesos de integración.

Dentro de las políticas de integración y unión con Latinoamérica y el Caribe, la República privilegiará relaciones con Íbero América, procurando sea una política común de toda nuestra América Latina. Las normas que se adopten en el marco de los acuerdos de integración serán consideradas parte integrante del ordenamiento legal vigente y de aplicación directa y preferente a la legislación interna.

Del análisis, de este articulado se derivan otros vértices de relaciones jurídicas que competen el desarrollo de las actividades de las plataformas marinas costa afuera; como lo son la Ley de Comercio Marítimo, Ley General de Marinas y Actividades Conexas, Ley Orgánica de la Procuraduría General de la Republica, Decreto Ley de Procedimiento Marítimo, Ley General de Puertos.

En la actualidad el Estado venezolano y los organismos encargados de la legislación de las actividades marítimas poseen una conceptualización no muy clara hacia la definición exacta sobre las estructuras marinas, embarcaciones y de

las plataformas marinas costa afuera, que se encuentren realizando operaciones en el espacio acuático venezolano y las consecuencias prácticas que estas derivan.

En el ordenamiento marítimo venezolano, el cual es de carácter administrativo y no operativo, se encuentra la definición legal de Plataforma en los artículos 4 y 17 de la ley General de Marinas y Actividades Conexas, en donde se establece una definición unitaria que sirve a todo ordenamiento jurídico marítimo venezolano. En el aparte único extiende la aplicación a cualquier construcción flotante apta para la navegación, carente de propulsión propia, que opere en el medio acuático o auxiliar de la navegación pero no destinada a ella, que se desplace por el agua; es decir, aun en el caso de las construcciones flotantes no destinadas a la navegación (plataformas de perforación, casas flotantes, diques flotantes, etc.) serán consideradas como buques cuando se desplacen en el agua.

Es por esto, en defecto de una precisión legal del término legal asociado a la plataformas marinas, se puede concebir de una forma técnica las plataformas marinas como: las estructuras fijas o flotantes ubicadas costa afuera destinadas al desarrollo de las operaciones de perforación de pozos o a su posterior conversión a plataformas de producción una vez que los pozos entren en la fase de producción; o en su forma más detallada pueden entenderse como las estructuras móviles, fijas, flotantes o sumergibles que sean susceptibles de navegar o de ser instaladas en los espacios acuáticos y marinos destinadas a la exploración y explotación de recursos naturales.

En la actualidad la tendencia en Venezuela a lo que respecta al derecho marítimo, es trabajar por el logro de una uniformidad de criterios y conceptos que permitan el satisfactorio funcionamiento de las relaciones que se derivan con motivo de las diferentes actividades comerciales generadas en el. Todo esto aunado al hecho de que antes de la promulgación de las nuevas leyes marítimas venezolanas, se tenían unas normativas deficientes ya que faltaban en determinar los conceptos apropiados.

Sumado a este escenario esta la situación de que el negocio marítimo petrolero sigue siendo de alto riesgo, es así que en este casos se presenta una serie de consecuencias no previstas por los entes legisladores en casos especiales de objeto tales como las plataformas petroleras costa afuera, que mientras se encuentren cubriendo la fase de traslado y posicionamiento sobre el área de interés en los espacios acuáticos y marinos o cuando se encuentren fijadas al fondo marino, bajo el argumento que no se consideran buques marinos cuando no se desplacen en el agua, esto es; cuando hayan estirado y posicionado sus pilotes o piernas de soporte y se hayan elevado sobre el nivel del agua y serán consideradas buques cuando se desplacen en el agua; mientras una plataforma que sea construida directamente sobre el lugar donde se va a asentar, ya sea para perforar o explotar, sin haberse desplazado previamente por un espacio acuático no estará sometida al régimen aplicable al os buques o accesorios de navegación.

Siguiendo esta línea de pensamiento, hay que señalar que el Artículo 4 de la Ley General de Marinas y Actividades Conexas dispone que están sometidos a cualquier buque nacional o extranjero y las construcciones flotantes, aptas para navegar, carentes de propulsión propia, que operen en el medio acuático o auxiliar de la navegación pero no destinada a ella que se desplace por agua y, en el evento que éstas se desplacen para el cumplimiento de sus fines específicos con el apoyo de un buque, serán consideradas buques y, por lo tanto, deberán cumplir con las todas las regulaciones previstas en la ley.

III.8.3 INSCRIPCION DE LAS INSTALACIONES Y PLATAFORMAS MARINAS EN EL REGISTRO NAVAL VENEZOLANO (RENAVE) ^[22] ^[26]

En función de la aplicación de los artículos 4 y 17 de la LGMYAC, donde se define la descripción de las unidades marinas incluyendo las plataformas marinas de perforación, ya sea durante su traslado y su posicionamiento final, y de acuerdo a lo contemplado en los artículos 100, 101 y 129 de la misma ley, donde se expresa que dichas unidades marinas deben cumplir con el proceso de registro

ante el Registro Naval Venezolano, para que puedan ejercer operaciones en el espacio marino venezolano.

III.8.4 PROCESO DE CERTIFICACION Y DOCUMENTACION, EN EL ESTADO VENEZOLANO ^[22] ^[26]

Dando seguimiento y cumplimiento a lo expresado en el Artículo 132 de la LGMYAC, posterior a haber cumplido con el requisito de inscripción de la unidad o plataforma marina de perforación ante el Registro Naval Venezolano, los organismos pertinentes procederán a solicitar la acreditación de la Patente de Navegación. Pasado un periodo hábil de 90 días calendarios, la unidad de perforación marina se hace acreedora del documento de Patente de Navegación Definitiva, la cual será válida por un periodo de tiempo equivalente a cinco (5) años, esta Patente de Navegación Definitiva le otorga a la unidad naval o plataforma de perforación marina la nacionalidad venezolana de la Plataforma Acuática Móvil.

Las unidades navales y las instalaciones o plataformas de perforación marina, al ser ajustados ante la jurisprudencia nacional como unidades buques durante sus operaciones activas, deben cumplir con una serie de documentación de transito o trafico normal, es por esto que luego de haber realizado los procedimientos de registro ante el RENAVE, y su subsiguiente proceso de acreditación de la Patente de Navegación Definitiva y según lo descrito por el Artículo 23 de la LGMYAC, las Plataformas Marinas Móviles mayores de 150 UAB deberán llevar a bordo, en original, los siguientes documentos:

- Patente de Navegación.
- Certificado Internacional de Arqueo.
- Certificado Internacional de Francobordo.
- Cuaderno de estabilidad sin Avería.
- Certificado de tripulación mínima.
- Certificado Internacional de Contaminación por hidrocarburos.

- Libro de Registro de hidrocarburos.
- Plan de Emergencia por Contaminación de Hidrocarburos.
- Títulos y demás documentos exigibles a la tripulación.
- Certificado Internacional de la Gestión de la Seguridad.
- Roles de Tripulantes.
- Cualquier otro certificado que establezca la Ley.

III.8.5 CUMPLIMIENTO DE LA NORMATIVA AMBIENTAL ^{[28] [29] [30] [31]}

El aspecto ambiental y su respectiva regulación en la República Bolivariana de Venezuela, se encuentra regida por una serie de leyes, normativas y disposiciones especiales; que de forma conjunta al ser aplicados buscan es el resguardo efectivo de las especies naturales, tanto animal como del reino vegetal; así como también establecer políticas que se comporte de una forma amigable con el medio ambiente para lo que respecta el aprovechamiento de los recursos naturales minerales no renovables.

Las unidades navales y las plataformas marinas de perforación petrolera, que realizan el desarrollo de sus actividades y operaciones en los espacios acuáticos, y en zonas de interacción con el medio ambiente marino, entendiéndose así algún tipo de interacción, contacto o consecuencia con la flora, fauna y recursos naturales no renovables, como el agua, el suelo, el aire y otros, deben ajustar el desarrollo de sus operaciones con el cumplimiento de la normativa y legislación correspondiente al caso. De una manera general, los principios jurídicos en materia ambiental en el Estado venezolano que incumben al desarrollo de las operaciones de las plataformas marinas de perforación, están contenidos en los artículos 15, 156 numeral 23, 127, 129, 178 numeral 4, 299 y 326 de la Constitución Nacional de la República Bolivariana de Venezuela de 1999 y en normativas técnicas especializadas como la Ley Orgánica del Ambiente, la Ley Penal del Ambiente¹⁹, la Ley sobre Sustancias, Materiales y Desechos Peligrosos (LSMDP) y las Normas Sobre Evaluación Ambiental de Actividades Susceptibles de Degradar el Ambiente.

En el ámbito de la legislación de espacios acuático y marinos, el funcionamiento y aplicación de las anteriores regulaciones son complementadas por un conjunto de regulaciones de carácter legal y convencional, entre las que destacan la Ley Orgánica de los Espacios Acuáticos e Insulares, la Ley General de Marinas y Actividades Conexas, la Ley de Zonas Costeras, la Ley General de Puertos, la Ley Aprobatoria del Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los Buques de 1973, la Ley Aprobatoria del Protocolo de 1978 relativo al Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los Buques, 1973 (MARPOL 73/78) y la Ley Aprobatoria del Convenio Internacional sobre Cooperación, Preparación y Lucha contra la Contaminación por Hidrocarburos, 1990.

Estas normas contemplan una serie de mecanismos destinados a proteger y conservar el ambiente. Entre éstos mencionaremos aquí los estudios de impacto ambiental (EIA) y el Registro de Actividades Susceptibles de Degradar el Ambiente (RASDA)

CONCLUSIONES

1. La escasez de nuevos yacimientos económicamente rentables localizados en yacimientos en tierra firme ha incrementado la exploración y explotación de campos ubicados en yacimientos pozos costa afuera.
2. En la perforación de pozos de hidrocarburos localizados costa afuera se hace evidente una diferencia demarcada, la cual es el medio ambiente de perforación; con lo cual las condiciones operativas del desarrollo de la perforación es diferente a las perforaciones realizadas en tierra firme.
3. La presencia de fuerzas hidrodinámicas, y en especial las corrientes marinas influyen en el desarrollo y eficacia de cualquier perforación localizada en un espacio marino costa afuera.
4. La industria petrolera no cuenta con la certeza de un patrón de repetición o de estandarización definida de los parámetros geoambientales y geomorfológicas para los procesos de perforación costa fuera.
5. La clasificación de los tipos de instalaciones en perforación costa afuera, se debe realizar, tomando en cuenta parámetros de operatividad y capacidad de manejar diversos niveles de profundidad.
6. El diseño más idóneo del tipo de instalación de perforación a utilizar, debe hacerse desde el mismo momento del inicio de los estudios de exploración, tomando en cuenta los factores ambientales y características geomorfológicas del sub-suelo marino en las zonas en estudio.
7. La planificación completa para la construcción de un pozo de hidrocarburos localizado costa afuera, requiere un desglose cronológico de

la planificación de perforación, de forma de darle al lector una idea del tiempo estimado de la fase de perforación durante el estudio.

8. La ejecución de las operaciones de apoyo logístico, antes, durante y después de las actividades de perforación costa fuera, se constituyen como un factor determinante para el desenvolvimiento efectivo de las operaciones de perforación y producción en este tipo de ambientes marinos costa afuera.
9. El desarrollo de nuevas tecnologías y técnicas aplicadas a las actividades petroleras, ha permitido la implementación de nuevas tecnologías en la perforación como el uso de tuberías marinas ascendentes, sistemas de BOP sub marinos y el uso de nuevas herramientas de operaciones como los ROV en función de realizar nuevos descubrimientos de yacimientos en ambientes marinos costa afuera y a grandes profundidades.
10. Los factores de carácter humano y de formación profesional del personal que labora a bordo de las instalaciones de perforación costa afuera en el desarrollo de las operaciones, se manifiestan como el activo de mayor valor dentro de toda la actividad de perforación.
11. Los planes de entrenamiento y de formación del personal para las labores en instalaciones marinas requieren un mayor énfasis, en el aspecto de seguridad, debido a la existencia de una constante de riesgo durante toda la operación de perforación.
12. Las actividades de traslado de instalaciones de perforación y el desarrollo de la misma, en espacios marinos costa fuera en la Republica Bolivariana de Venezuela, se encuentran regidas principalmente por la Constitución de la Republica Bolivariana de Venezuela, así como también por las normativas y legislaciones del ámbito marino como; la Ley de Comercio Marítimo, Ley General de Marinas y Actividades Conexas, Normas Sobre

Evaluación Ambiental de Actividades Susceptibles de Degradar el Ambiente y Ley Penal del Ambiente.

13. La perforación en espacios acuáticos se concibe como un proyecto de gran envergadura operativa, en el cual se debe controlar todos los aspectos relacionados con la misma, siguiendo las normativas establecidas en los estándares operacionales de la industria de pozos costa afuera.

RECOMENDACIONES

1. Completar y mantener actualizada la información documental existente en este Trabajo Especial de Grado.
2. Impulsar el desarrollo de una materia dentro del pensum académico, que desarrolle los fundamentos básicos, operacionales y legales de la perforación de pozos costa afuera, con la finalidad de brindar un soporte y complemento a las materias de Pozos I, Pozos II, Producción I, Producción II y Legislación Minera y Petrolera, de la Escuela de Ingeniería de Petróleo de la Universidad Central de Venezuela.
3. De igual forma en las materias que tengan relación con las actividades de perforación de pozos, se debería impulsar y realizar un mayor énfasis del que en la actualidad se le brinda a la perforación de pozos de hidrocarburos costa afuera, de forma tal de repotenciar la formación de ingenieros petroleros mas integrales.
4. Incentivar a los estudiantes a la elaboración de material documental del tipo manuales teórico-practico, artículos, manuales y otros; para las diferentes asignaturas que conforman el pensum académico formativo que existe en la Escuela de Ingeniería de Petróleo de la Universidad Central de Venezuela y así poder tener acceso a material bibliográfico de calidad, a un bajo costo y en idioma español.
5. Realizar convenios entre la Escuela de Ingeniería de Petróleo de Universidad Central de Venezuela y las diversas Organizaciones Privadas y Compañías Operadoras del sector petrolero, para el desarrollo y la divulgación de material referente a las actividades referentes a la perforación de pozos costa afuera, ya que estas constituyen el medio regente de formación de profesionales en las diversas áreas de la industria petrolera.

6. Recomendar a los estudiantes de Ingeniería de Petróleo de nuestra casa de estudio, la utilización de este tipo de material documental para el desarrollo de sus investigaciones y procesos de aprendizajes durante la carrera, ya que en la actualidad la Escuela de Ingeniería de Petróleo cuenta entre sus inventarios con una serie de material documental que abarca gran parte de los aspectos relacionados con la carrera.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. [Documento en línea]. Disponible: <http://www.docencia.udea.edu.co/bibliotecología/seminario-estudios-usuario/unidad4.html>. [Consulta: 2006, Septiembre12].
2. Amorós, J. y otros. **“La información local o comunitaria en los servicios de información de las bibliotecas públicas”**. [Documento en línea]. Disponible: <http://www.ub.es/biblio/bidbid04.htm>. [Consulta: 2006, Septiembre 12].
3. González, F. (2003). **“Escritura del Estado del Arte”**. Departamento de Ingeniería, Sistemas e Industrial Universidad Nacional de Colombia, Bogota.
4. Christie, A. y otros. (2000). **“Soluciones submarinas”**. Oilfield Review [Documento en línea]. Disponible: http://www.slb.com/media/services/resources/oilfieldreview/spanish00/spr00/p2_19.pdf. [Consulta: 2006, Julio 10].
5. Cuviller, G. y otros. (2004). **“Soluciones para los problemas de la construcción de pozos en aguas profundas”**. Oilfield Reviwe [Documento en línea]. Disponible: http://www.slb.com/media/services/resources/oilfieldreview/spanish00/sum00/p2_19.pdf. [Consulta: 2006, Julio 10].
6. Carré. G. y otros. (2002). **“Buenas expectativas para los pozos en aguas profundas”** Oilfield Review [Documento en línea]. Disponible: http://www.slb.com/media/services/resources/oilfieldreview/spanish03/spr03/p38_53.pdf [Consulta: 2006, Julio 10].
7. Barberi, E. E. (1998). **“El Pozo Ilustrado”**. 4ta ed. Caracas: PDVSA. 669 p.
8. Hall, S. (1975). **“The Technology of Off-shore Drilling, Completion and Production”**. ETA OFF-SHORE Seminars, Inc. Tulsa, Oklahoma: The Petroleum Publishing Company. 426 p.

9. Albers, J.C. y otros (1980). **“Off-shore Drilling in Hostile Environments Dephts, Waves, Wind, Current, and Ice”**. SPE, paper N° 8312. 5 p.
10. Ken E. Arnold. (2004). **“Deepwater Wind Energy Planning Meeting Lessons from the Off-shore Oil & Gas Industry”**. PARAGON ENGINEERING SERVICES, INC.10777 Clay Road Houston, TX. [Presentación en línea]. Disponible en: <http://www.energetics.com/deepwater.html> [Consulta: 2006, Julio12].
11. Aird, P. (2001). **“Introduction to deepwater sedimentary environments”**. Kindom Drilling [Documento en línea]. Disponible: <http://www.kingdomdrilling.co.uk> [Consulta: 2006, Julio 15].
12. Mac Lochlan, Malcon. (1987). **“An Introduction to Marine Drilling”**. Oilfield Publications Limited. Ledbury, Herefordshire. England. 345 p.
13. Kraus, R. S. (1999). **“Petróleo: Prospección y Perforación”** [Enciclopedia en línea]. Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo. Disponible: <http://www.mtas.es/insht/EncOIT/pdf/tomo3/75.pdf> [Consulta: 2006, Julio 10].
14. De Man, M. (2004). **“Plataformas Costa Afuera (Off-shore), Perspectiva Canadiense”**. Ponencia presentada en el IX Congreso del Instituto Iberoamericano de Derecho Marítimo. [Ponencia en línea]. Disponible: <http://www..angelfire.com/mt2/nostrum/plataforma.htm> [Consulta: 2006, Julio 25].
15. Loudon, J. (1959). **“The Petroleum Handbook”**. 4ta. ed. Londres, Inglaterra: Shell International Petroleum Company Limited. 318 p.
16. Bradley, H. B. y otros. (1992). **“Petroleum Engineering Handbook”**. 3ra ed. Texas, U. S. A: Society of Petroleum Engineers. 1837 p.

17. Devereux, S. (1998). **“Practical Well Planning and Drilling Manual”**. 3ra ed. Tulsa, Oklahoma: Penn Well. 973 p.
18. Derek .A. (1986). **“Tehonology for Developing Marginal Offshore Oilfields”**, Editorial Taylor & Francis. London, UK. 285 p.
19. Documento en línea]. Disponible: <http://www.maritimereplicas.com/oilRigs.htm> [Consulta: 2006, Julio12].
20. Ruiz. R. (2007). **“Procedimientos básicos de la metodología de control de pozos osta afuera”**. Trabajo Especial de Grado. Escuela de Ingeniería de Petróleo. Universidad Central de Venezuela.
21. Anduiza, J (2002) “Contaminación del Medio Ambiente. Plataformas Móviles Costa Afuera.” [Documento en línea] Disponible: <http://members.tripod.com/ve/avdmar/anduiza.htm> [Consulta: 2007, Abril 12].
22. The Maritime Law Association of United Status of America. Formal Report of the Comitee on Comité Marítimo International 1999. [Documento en línea]. Disponible: <http://www.mlaus.org/article.ihtml?id=434&issue=30&folder=0> [Consulta: 2007, Agosto 10]
23. Asociación Canadiense de Derecho Marítimo (1996). Resumen Ejecutivo. Documento de discusión sobre la necesidad de una convención internacional sobre unidades costa afuera, las islas artificiales y las estructuras relacionadas usadas en la exploración y la explotación de los recursos mineral del petróleo y del fondo del mar. [Documento en línea] Disponible: <http://www.wob.nf.ca/News/1998/July98/offshore.Doc.ffshoremobilecraftimoconventionDG> [Consulta: 2007, Abril 15].
24. Rivera.I. (2007) **“El Embargo de las plataformas costa afuera y sus consecuencias practicas en la republica bolivariana de Venezuela”**. Trabajo de investigación. Universidad Marítima y del Caribe.

25. República Bolivariana de Venezuela. Constitución Nacional de la Republica Bolivariana de Venezuela, 1999. [Documento en línea]. Disponible: <http://www.tsj.gov.ve/legislacion/constitucion1999.htm> [Consulta: 2007, Agosto 10]
26. República Bolivariana de Venezuela. Ley de Comercio Marítimo. [Documento en línea]. Disponible: http://www.mpd.gob.ve/decretos_leyes/Leyes/ley_de_comercio_maritimo.pdf [Consulta: 2007, Agosto 10]
27. República Bolivariana de Venezuela. Ley General de Marinas y Actividades Conexas. Gaceta Oficial N° 37.570 de 14 de noviembre de 2004.
28. República de Venezuela. Normas Sobre Evaluación Ambiental de Actividades Susceptibles de Degradar el Ambiente. Gaceta Oficial N° 35.946 de 25 de abril de 1996.
29. República de Venezuela Ley Penal del Ambiente Gaceta Oficial N° 4.358 de 3 de enero de 1992. [Documento en línea]. Disponible: <http://www.gobiernoenlinea.ve/docMgr/sharedfiles/LeyPenalDelAmbiente.pdf> [Consulta: 2007, Agosto 10]
30. República Bolivariana de Venezuela. Ley sobre Sustancias, Materiales y Deshechos Peligrosos. Gaceta Oficial N° 5.554 extraordinario de 13 de noviembre de 2001. [Documento en línea]. Disponible: <http://www.iclam.gov.ve/Ley%20%20Sustancias,%20Materiales%20y%20Desechos%20Peligrosos.pdf> [Consulta: 2007, Agosto 10]
31. República de Venezuela Ley Orgánica del Ambiente Gaceta Oficial N° 31.004 de 16 de junio de 1976. [Documento en línea]. Disponible: http://www.indecu.gov.ve/educacion/educacion_portal_web/leyes-y-reglamentos/otras-leyes/ley-organica-del-ambiente.pdf [Consulta: 2007, Agosto 10]

BIBLIOGRAFIA

1. [Documento en línea]. Disponible: <http://www.maritimereplicas.com/oilRigs.htm> [Consulta: 2006, Julio12].
2. [Documento en línea]. Disponible: <http://www.docencia.udea.edu.co/bibliotecologia/seminario-estudios-usuario/unidad4.html>. [Consulta: 2006, Septiembre12].
3. Aird, P. (2001). **“Introduction to deepwater sedimentary environments”**. Kingdom Drilling [Documento en línea]. Disponible: <http://www.kingdomdrilling.co.uk> [Consulta: 2006, Julio 15].
4. Albers, J.C. y otros (1980). **“Off-shore Drilling in Hostile Environments Dephts, Waves, Wind, Current, and Ice”**. SPE, paper N° 8312. 5 p.
5. Amorós, J. y otros. **“La información local o comunitaria en los servicios de información de las bibliotecas públicas”**. [Documento en línea]. Disponible: <http://www.ub.es/biblio/bidbid04.htm>. [Consulta: 2006, Septiembre 12].
6. Anduiza, J (2002) **“Contaminación del Medio Ambiente. Plataformas Móviles Costa Afuera.”** [Documento en línea] Disponible: <http://members.tripod.com/ve/avdmar/anduiza.htm> [Consulta: 2007, Abril 12].
7. Asociación Canadiense de Derecho Marítimo (1996). Resumen Ejecutivo. Documento de discusión sobre la necesidad de una convención internacional sobre unidades costa afuera, las islas artificiales y las estructuras relacionadas usadas en la exploración y la explotación de los recursos mineral del petróleo y del fondo del mar. [Documento en línea] Disponible: <http://www.wob.nf.ca/News/1998/July98/offshore.Doc.ffshoremobilecraftimoconventionDG> [Consulta: 2007, Abril 15].

8. Barberi, E. E. (1998). **“El Pozo Ilustrado”**. 4ta ed. Caracas: PDVSA. 669 p.
9. Bradley, H. B. y otros. (1992). **“Petroleum Engineering Handbook”**. 3ra ed. Texas, U. S. A: Society of Petroleum Engineers. 1837 p.
10. Carré. G. y otros. (2002). **“Buenas expectativas para los pozos en aguas profundas”** Oilfield Review [Documento en línea]. Disponible: http://www.slb.com/media/services/resources/oilfieldreview/spanish03/spr03/p38_53.pdf [Consulta: 2006, Julio 10].
11. Christie, A. y otros. (2000). **“Soluciones submarinas”**. Oilfield Review [Documento en línea]. Disponible: http://www.slb.com/media/services/resources/oilfieldreview/spanish00/spr00/p2_19.pdf. [Consulta: 2006, Julio 10].
12. Cuviller, G. y otros. (2004). **“Soluciones para los problemas de la construcción de pozos en aguas profundas”**. Oilfield Review [Documento en línea]. Disponible: http://www.slb.com/media/services/resources/oilfieldreview/spanish00/sum00/p2_19.pdf . [Consulta: 2006, Julio 10].
13. De Man, M. (2004). **“Plataformas Costa Afuera (Off-shore), Perspectiva Canadiense”**. Ponencia presentada en el IX Congreso del Instituto Iberoamericano de Derecho Marítimo. [Ponencia en línea]. Disponible: <http://www..angelfire.com/mt2/nostrum/plataforma.htm> [Consulta: 2006, Julio 25].
14. Derek .A. (1986). **“Technology for Developing Marginal Offshore Oilfields”**, Editorial Taylor & Francis. London, UK. 285 p.
15. Devereux, S. (1998). **“Practical Well Planning and Drilling Manual”**. 3ra ed. Tulsa, Oklahoma: Penn Well. 973 p.

16. González, F. (2003). **“Escritura del Estado del Arte”**. Departamento de Ingeniería, Sistemas e Industrial Universidad Nacional de Colombia, Bogota.
17. Hall, S. (1975). **“The Technology of Off-shore Drilling, Completion and Production”**. ETA OFF-SHORE Seminars, Inc. Tulsa, Oklahoma: The Petroleum Publishing Company. 426 p.
18. Ken E. Arnold. (2004). **“Deepwater Wind Energy Planning Meeting Lessons from the Off-shore Oil & Gas Industry”**. PARAGON ENGINEERING SERVICES, INC.10777 Clay Road Houston, TX. [Presentación en línea]. Disponible en: <http://www.energetics.com/deepwater.html> [Consulta: 2006, Julio12].
19. Kraus, R. S. (1999). **“Petróleo: Prospección y Perforación”** [Enciclopedia en línea]. Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo. Disponible: <http://www.mtas.es/insht/EncOIT/pdf/tomo3/75.pdf> [Consulta: 2006, Julio 10].
20. Loudon, J. (1959). **“The Petroleum Handbook”**. 4ta. ed. Londres, Inglaterra: Shell International Petroleum Company Limited. 318 p.
21. Mac Lochlan, Malcon. (1987). **“An Introduction to Marine Drilling”**. Oilfield Publications Limited. Ledbury, Herefordshire. England. 345 p.
22. República Bolivariana de Venezuela. Constitución Nacional de la Republica Bolivariana de Venezuela, 1999. [Documento en línea]. Disponible: <http://www.tsj.gov.ve/legislacion/constitucion1999.htm> [Consulta: 2007, Agosto 10]
23. República Bolivariana de Venezuela. Ley de Comercio Marítimo. [Documento en línea]. Disponible: http://www.mpd.gob.ve/decretos_leyes/Leyes/ley_de_comercio_maritimo.pdf [Consulta: 2007, Agosto 10]

24. República Bolivariana de Venezuela. Ley General de Marinas y Actividades Conexas. Gaceta Oficial N° 37.570 de 14 de noviembre de 2004.
25. República Bolivariana de Venezuela. Ley sobre Sustancias, Materiales y Deshechos Peligrosos. Gaceta Oficial N° 5.554 extraordinario de 13 de noviembre de 2001. [Documento en línea]. Disponible: <http://www.iclam.gov.ve/Ley%20%20Sustancias,%20Materiales%20y%20De%20sechos%20Peligrosos.pdf> [Consulta: 2007, Agosto 10]
26. República de Venezuela Ley Orgánica del Ambiente Gaceta Oficial N° 31.004 de 16 de junio de 1976. [Documento en línea]. Disponible: http://www.indecu.gov.ve/educacion/educacion_portal_web/leyes-y-reglamentos/otras-leyes/ley-organica-del-ambiente.pdf [Consulta: 2007, Agosto 10]
27. República de Venezuela Ley Penal del Ambiente Gaceta Oficial N° 4.358 de 3 de enero de 1992. [Documento en línea]. Disponible: <http://www.gobiernoenlinea.ve/docMgr/sharedfiles/LeyPenaldelAmbiente.pdf> [Consulta: 2007, Agosto 10]
28. República de Venezuela. Normas Sobre Evaluación Ambiental de Actividades Susceptibles de Degradar el Ambiente. Gaceta Oficial N° 35.946 de 25 de abril de 1996.
29. Rivera.I. (2007) **“El Embargo de las plataformas costa afuera y sus consecuencias practicas en la republica bolivariana de Venezuela”**. Trabajo de investigación. Universidad Marítima y del Caribe.
30. Ruiz. R. (2007). **“Procedimientos básicos de la metodología de control de pozos osta afuera”**. Trabajo Especial de Grado. Escuela de Ingeniería de Petróleo. Universidad Central de Venezuela.

31. Skaug, L.C. (1998). **“New design advance spar technology into beeper water”**. OGJ ESPECIAL, Nov. 2: 47-53.

32. The Maritime Law Association of United States of America. Formal Report of the Comitee on Comité Maritime International 1999. [Documento en línea]. Disponible: <http://www.mlaus.org/article.ihtml?id=434&issue=30&folder=0> [Consulta: 2007, Agosto 10]