

ANÁLISIS DE EXPERIENCIAS RECIENTES EN EL TRATAMIENTO Y
DISPOSICIÓN DE RESIDUOS INDUSTRIALES DE PERFORACIÓN DE LAS
OPERACIONES COSTA AFUERA EN EL CARIBE COLOMBIANO

ANDRITH FABIAN GÜIZA ZAMBRANO

MARIA KAMILA RIOS BERNAL

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICOQUÍMICA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BUCARAMANGA

2018

ANÁLISIS DE EXPERIENCIAS RECIENTES EN EL TRATAMIENTO Y
DISPOSICIÓN DE RESIDUOS INDUSTRIALES DE PERFORACIÓN DE LAS
OPERACIONES COSTA AFUERA EN EL CARIBE COLOMBIANO

ANDRITH FABIAN GÜIZA ZAMBRANO
MARIA KAMILA RIOS BERNAL

Trabajo de grado para optar el título de
INGENIERO DE PETRÓLEOS

Director
Harving Díaz Consuegra
Ingeniero de Petróleos

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICOQUÍMICA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BUCARAMANGA

2018

AGRADECIMIENTOS

A Dios por haberme guiado en todo el transcurso de mi vida y mi carrera, por ser el autor de mis obstáculos que por medio de ellos he aprendido y me han hecho crecer como persona, y por los premios que he recibido a través de mis triunfos. Gracias por poner en mi camino todo como debe ser, porque a pesar que las oportunidades que me puso en el camino en un principio no fueron de mi agrado, entendí que todo debía suceder de esa manera para superarme, y poder lograr ser la persona que soy ahora. A Dios gracias por destinarme los mejores padres que pueden existir en este mundo. Gracias pa, gracias ma, porque soy testigo de todo el esfuerzo que han hecho para sacarnos adelante a mi hermano a mí, gracias por todo el amor y apoyo brindado, prometo que todo eso será remunerado de parte mía, porque sin ustedes no hubiese podido lograr lo que hasta hoy he construido. Gracias a mis abuelos por todo el apoyo ofrecido, sin duda alguna es parte de esos peldaños que debí subir para lograr lo que he logrado y lo que me falta aún. Gracias Yu, por ayudarme a ser una mujer más fuerte, por brindarme seguridad, por darme ánimos en el momento que lo necesite, por enseñarme a amar y por enseñarme que en esta vida hay que disfrutar cada segundo de ella. Gracias Ing. Harving por aceptar ser parte en la ejecución de este proyecto, por sus aportes y buenas ideas para lograr cumplir cada uno de los objetivos planteados.

A Andrith Güiza, compañero de tesis, por aceptar ser parte de este proyecto, por sus buenos aportes y por la paciencia que me tuvo.

Y, por último, pero no menos importante, a todos los profesores que hicieron parte de mi formación académica, por enseñarme a conocer esta industria, por enseñarme no solo a ser buena profesional sino también buena persona.

Kamila Rios.

AGRADECIMIENTOS

Doy gracias a Dios por permitirme alcanzar esta meta, a mi padre y a mi madre por formarme en valores y creer en mí, por incúlcame la disciplina necesaria para cumplir mis sueños, a mi hermana por ayudarme cuando más lo necesitaba, a mi novia que me dio buenos consejos, a mis amigos y familia que me brindaron su apoyo en los momentos tristes y alegres. A la Universidad Industrial de Santander por abrirme sus puertas, a mis maestros por brindarme sus conocimientos, en especial al Ingeniero Harving Díaz Consuegra por dirigir este proyecto, y a mi compañera Maria Kamila Rios Bernal por formar un buen grupo de trabajo.

Andrieth Güiza.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	17
1 GENERALIDADES DEL TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE CORTES Y FLUIDOS DE PERFORACIÓN OFFSHORE.	18
1.1 TIPOS DE ESTRUCTURAS Y UNIDADES DE PERFORACIÓN	19
1.1.1 Jack up.....	19
1.1.2 Platform rig.....	20
1.1.3 Drillships.	21
1.1.4 Equipo de perforación semisumergibles.	21
1.1.5 Drilling barge.....	22
1.1.6 Tension leg platforms (TLP).....	22
1.1.7 Spar platform.	22
1.2 CLASIFICACIÓN DEL AGUA SEGÚN LA PROFUNDIDAD DE LA COLUMNA.....	23
1.3 FLUIDOS DE PERFORACIÓN	23
1.3.1 Lodos base agua.	24
1.3.2 Lodos base aceite.....	24
1.3.3 Lodos base sintética.	25
1.4 ECOSISTEMAS ACUÁTICOS	25
1.3.1 Ecosistemas marinos.....	26
1.5 MARCO JURÍDICO.....	28
1.6 METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	32

1.6.1	Revisión bibliográfica de las operaciones de perforación costa afuera.....	32
1.6.2	Revisión bibliográfica de los requerimientos legales para la ejecución de las operaciones de perforación costa afuera en Colombia.....	32
1.6.3	Revisión bibliográfica de los programas de lodos y estado mecánico de los pozos exploratorios más recientes del Caribe Colombiano.	32
1.6.4	Revisión bibliográfica de los programas de manejo de residuos de los pozos exploratorios ubicados en los campos más distintivos del Caribe Colombiano.	33
1.6.5	Revisión bibliográfica de los impactos ambientales que genera el vertimiento de los residuos de perforación en el mar Caribe Colombianos.....	34
1.6.6	Identificación de los impactos ambientales generados por la disposición de los residuos de perforación en el caribe colombiano.	34
1.6.7	Análisis de datos.....	34
2	DESCRIPCIÓN DE LOS ESTADOS MECÁNICOS Y PROGRAMA DE LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN	35
2.1	CASO I. CALASÚ 1	37
2.2	CASO II. GORGÓN A	38
2.3	CASO III. KRONOS 1	40
2.4	CASO IV. MAPALÉ 2.....	41
2.5	CASO V. ORCA 1	43
2.6	CASO VI. PURPLE ANGEL C	44
3	TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE LODOS Y CORTES DE PERFORACIÓN.....	48
3.1	TIPO DE FLUIDO DE PERFORACIÓN UTILIZADO SEGÚN LA PROFUNDIDAD DE LOS POZOS DE ESTUDIO	51
3.2	TOXICIDAD DE LODOS DE PERFORACIÓN.....	53

3.3	DISPOSICIÓN DE LODOS Y CORTES DE PERFORACIÓN PARA CADA CASO DE ESTUDIO.....	55
4	IMPACTOS AMBIENTALES GENERADOS POR LA DISPOSICIÓN DE LOS CORTES Y LODOS DE PERFORACIÓN.....	58
4.1	CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE LOS POSIBLES IMPACTOS AMBIENTALES GENERADOS.....	59
4.1.1	Probabilidad.....	60
4.1.2	Intensidad.....	60
4.2	MEDIO ABIÓTICO.....	64
4.2.1	Cambio en los niveles de la presión sonora.....	64
4.2.2	Cambios en la calidad del aire.....	64
4.2.3	Alteración fisicoquímica de la calidad del agua marina.....	65
4.2.4	Alteración fisicoquímica del fondo marino.....	66
4.3	MEDIO BIÓTICO.....	67
4.3.1	Modificación en la estructura y funcionamiento de las comunidades planctónicas.....	67
4.3.2	Modificación en la estructura y funcionamiento de las comunidades bentónicas.....	69
4.3.3	Cambios en el comportamiento y distribución de las especies ícticas.....	70
4.3.4	Cambios en el comportamiento y distribución de mamíferos y tortugas marinas.....	71
4.3.5	Alteración por introducción de especies alóctonas.....	72
4.3.6	Alteración a las rutas de migración de las aves.....	72
5	ANÁLISIS DE VERTIMIENTO DE FLUIDOS Y CORTES DE PERFORACIÓN EN EL CARIBE COLOMBIANO.....	81

5.1	ÁREA Y EXTENSIÓN MÁXIMA DE DISPERSIÓN DE LOS CORTES Y FLUIDOS DE PERFORACIÓN.	81
5.2	VELOCIDAD DE LAS CORRIENTES OCEÁNICAS.	87
6	RECOMENDACIONES DE BUENAS PRÁCTICAS SOBRE DEL MANEJO, TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE LOS CORTES Y LODOS DE PERFORACIÓN.	91
7	CONCLUSIONES.	94
8	RECOMENDACIONES	96
	BIBLIOGRAFÍA	97
	ANEXOS	103

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Convenios y tratados internacionales adoptados por Colombia	28
Tabla 2. Normatividad para actividades en áreas marítimas nacionales colombianas.....	29
Tabla 3. Normatividad en materia ambiental general.....	30
Tabla 4. Expedientes solicitados al ANLA con su respectivo radicado	33
Tabla 5. Resumen datos principales de los pozos exploratorios de estudio.....	36
Tabla 6. Tipo de lodo usado según las secciones perforadas	52
Tabla 7. Disposición y tratamiento de los lodos y cortes de perforación basada en la profundidad y el tipo de fluido de perforación para los 6 pozos de estudio.	56
Tabla 8. Nivel de probabilidad de ocurrencia del impacto.....	60
Tabla 9. Nivel de intensidad del impacto.	61
Tabla 10. Tabla de valoración asociada a los impactos generados en el medio abiótico por la disposición de cortes y fluidos de perforación de los 6 pozos de estudio	62
Tabla 11. Tabla de valoración asociada a los impactos generados en el medio biótico por la disposición de cortes y fluidos de perforación de los 6 pozos de estudio	63
Tabla 12. Información del área de influencia y extensión máxima alcanzada por los cortes y lodos de perforación vertidos en el lecho marino	82
Tabla 13. Relación de las velocidades de corrientes marinas con la extensión máxima de dispersión	88

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Estados mecánicos simplificados	47
Figura 2. Identificación de los componentes y medios asociados a los posibles impactos ambientales generados por la disposición de cortes y lodos de perforación.....	58
Figura 3. Intensidad de los posibles impactos generados en el medio abiótico.....	74
Figura 4. Intensidad de los posibles impactos generados en el medio biótico.....	76
Figura 5. Probabilidad de ocurrencia de los posibles impactos generados en el medio abiótico.....	78
Figura 6. Probabilidad de ocurrencia de los posibles impactos generados en el medio biótico.....	79
Figura 7. Área de dispersión máxima en el escenario más crítico para cada caso de estudio	83
Figura 8. Extensión máxima de dispersión en el escenario más crítico para cada caso de estudio.....	84
Figura 9. Representación gráfica de la relación de la profundidad de la lámina de agua respecto al área de influencia	85
Figura 10. Representación gráfica de la relación de la profundidad de la lámina de agua respecto a la extensión máxima alcanzada por los residuos	86
Figura 11. Velocidad de las corrientes oceánicas con relación a la extensión máxima alcanzada por el vertimiento de cortes y lodos de perforación.....	89

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Estado mecánico del pozo exploratorio Calasú 1.....	103
Anexo B. Estado mecánico del pozo exploratorio Gorgón A.	104
Anexo C. Estado mecánico del pozo exploratorio Kronos 1.	105
Anexo D. Estado mecánico del pozo exploratorio Mapalé 2.....	106
Anexo E. Estado mecánico del pozo exploratorio Orca 1.....	107
Anexo F. Estado mecánico del pozo exploratorio Purple Angel C.....	108

RESUMEN

TÍTULO: ANÁLISIS DE EXPERIENCIAS RECIENTES EN EL TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE RESIDUOS INDUSTRIALES DE PERFORACIÓN DE LAS OPERACIONES COSTA AFUERA EN EL CARIBE COLOMBIANO*

AUTORES: ANDRITH FABIAN GÜIZA ZAMBRANO

MARIA KAMILA RIOS BERNAL**

PALABRAS CLAVE: Tratamiento de residuos industriales, Perforación de pozos exploratorios costa afuera, Cortes de perforación, Lodos de perforación.

DESCRIPCIÓN:

El Caribe Colombiano ha tenido un incremento en las actividades de perforación de pozos exploratorios costa afuera en los últimos años, pues se pretende lograr un aumento significativo en las reservas de hidrocarburos y garantizar la autosuficiencia energética. Puesto que es un tema que hasta hace pocos años tomó fuerza, en Colombia no se cuenta con la suficiente legislación que rija estas actividades para la protección del medio ambiente.

Es por esto, que es necesario realizar un análisis en las actividades que generen mayor impacto ambiental en el ecosistema marino como lo es la generación de residuos industriales de perforación y vertimiento de estos mismos. Con el fin de alcanzar los objetivos de este trabajo, se analizó el estado mecánico, los programas de lodos y el tratamiento y vertimiento de cortes y lodos de perforación para cada uno de los pozos de estudio. Posterior a esto se analizó el comportamiento ambiental teniendo en cuenta algunos aspectos ambientales como los cambios fisicoquímicos del agua, del aire y del lecho marino, así como el comportamiento de las comunidades marinas en los lugares de vertimiento de residuos de perforación. Además, se presenta una matriz, en donde se logra identificar que tan significativos son cada uno de los posibles impactos que puedan generarse debido a la actividad de disposición de cortes y fluidos de perforación. Por último, se establecen algunas recomendaciones para un manejo adecuado en el tratamiento y disposición de los residuos de perforación.

*Trabajo de grado

**Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Director: Harving Díaz Consuegra, Ingeniero de Petróleos.

ABSTRACT

TÍTULO: ANALYSIS OF RECENT EXPERIENCES IN THE TREATMENT AND DISPOSAL OF INDUSTRIAL WASTES FROM OFFSHORE DRILLING IN THE COLOMBIAN CARIBBEAN*

AUTHORS: ANDRITH FABIAN GÜIZA ZAMBRANO

MARIA KAMILA RIOS BERNAL**

KEYWORDS: Industrial waste treatment, offshore drilling, drilling cuts, drilling fluids.

DESCRIPTION: The Colombian Caribbean has had an increase in the activities of exploratory offshore drilling in recent years, thus intends to achieve a significant increase in the reserves of hydrocarbons and ensure energy self-sufficiency. Since it is a subject that until a few years ago took strength, in Colombia there isn't sufficient legislation governing these activities for the protection of the environment.

That's why it is necessary to perform an analysis on activities. That generate greater environmental impact on the marine ecosystem as the generation of industrial wastes of drilling-pouring of these same. In order to achieve the objectives of this work is analyzing the mechanical condition, mud programs and treatment and dumping of sludge and cuts and drilling muds to each of the Wells of study.

This will analyze environmental performance taking into account environmental aspects like changes physico-chemical water, air and the seafloor, as well as the behavior of the marine communities in the places of dumping of waste drilling, also presents a matrix, where is achieved to identify as significant are each of the possible impacts that can arise due to the activity of available cuts and drilling fluids finally settle some recommendations for use in the treatment and disposal of waste from drilling.

*Degree Project.

** Facultad de Ingenierías Físico-químicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Director: Harving Díaz Consuegra, Ingeniero de Petróleos

INTRODUCCIÓN

Las operaciones de perforación de yacimientos costa afuera (offshore) es uno de los desafíos más significativos con los que cuenta Colombia hoy en día, puesto que lo que se pretende lograr es el aumento de las reservas de hidrocarburos y de este modo garantizar la autosuficiencia energética del país.

Desde hace más de una década, el tema de la perforación de pozos en el Caribe Colombiano se consideraba como una posibilidad, pero con el desarrollo de nuevas tecnologías y el interés de las multinacionales, como Chevron, Repsol, Shell, Ecopetrol, Anadarko, Equion y Petrobras, se han venido adelantando actividades de perforación costa afuera en diferentes pozos.

El presente documento analiza principalmente las operaciones de perforación costa afuera, enfocándose en el tratamiento y disposición de residuos generados (cortes y lodos) por las actividades de perforación de pozos en el Caribe Colombiano.

Inicialmente, se realiza un respectivo análisis teórico del tema principalmente tratado, destacando los estados mecánicos de cada pozo de estudio y el tratamiento respectivo al que deben someterse los cortes y lodos de perforación de acuerdo a su naturaleza (base agua, base aceite o base sintética). Posteriormente se detallan los resultados obtenidos de los pozos de estudio, y como parte final del documento se destaca una serie de conclusiones y recomendaciones para el manejo ambiental adecuado que debe darse respecto al tratamiento y disposición de cortes y lodos de perforación de pozos en el Caribe Colombiano.

Todo el desarrollo del documento se efectuó con base en la información obtenida de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), específicamente de los Planes de Manejo Ambiental (PMA), Evaluaciones de Impacto Ambiental (EIA) y de los Informes de Cumplimiento Ambiental (ICA) de los expedientes de los proyectos que se han realizado hasta el momento en Colombia.

1 GENERALIDADES DEL TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE CORTES Y FLUIDOS DE PERFORACIÓN OFFSHORE.

La industria del petróleo y el gas ha extendido sus primeras operaciones de exploración y producción con taladros montados en tierra firme, cabezales de pozos y tuberías de conducción para explotar las riquezas del volumen de la tierra que se encuentra cubierta por el mar. Esta evolución desde la tierra hacia el mar se ha producido a lo largo del último siglo, a partir de 1897 cuando se instaló el primer mástil de perforación encima de un muelle en las costas de California (EE. UU). Más adelante, se comenzaron a utilizar los equipos de perforación costa afuera, con plataformas marinas, semisumergibles y taladros de perforación auto elevables y embarcaciones de perforación con sistema de posicionamiento dinámico, desde un punto de una plataforma fija o un equipo flotante, se podían perforar pozos en distintas direcciones con el fin de explotar el yacimiento al máximo posible.

A medida que se perfeccionó la tecnología de operaciones marinas en busca de la conquista de ambientes cada vez más hostiles y desafiantes, la perforación costa afuera evolucionó en dos direcciones principales. En primer lugar y, según lo previsto, los pozos se perforaban en zonas en las que la columna de agua aumentaba año tras año.

En segundo lugar, los equipamientos de completamiento de pozos de han sumergido en el agua. En lo que se denomina completamiento, los cabezales de los pozos que se encuentran sobre el lecho del mar se conectan con las líneas de flujo que transportan el petróleo y el gas a la superficie. Al contar con diversos puntos de acceso, es posible alcanzar una mayor superficie del yacimiento respecto de los pozos de alcance extendido, lo cual permite explotar el volumen del yacimiento con mayor eficiencia. Asimismo, el uso de una instalación central común permite reducir el costo de desarrollo del campo en forma significativa.

Los primeros pozos submarinos se completaban desde taladros de perforación semisumergibles con ayuda de buzos que dirigían el emplazamiento de los equipos y operaban las válvulas. Hoy en día, las completaciones submarinas pueden resultar demasiado profundas para los buzos, de tal modo que los equipamientos de producción se controlan y manejan por medio de vehículos operados por el control remoto (ROV's, por sus siglas en inglés).

Para comprender mejor como se realiza una perforación, se debe tener conocimiento de que tan profundas son las aguas a intervenir y los tipos de plataformas que pueden usarse.

1.1 TIPOS DE ESTRUCTURAS Y UNIDADES DE PERFORACIÓN

Las torres de perforación podemos clasificarlas como las apoyadas en fondo y las torres flotantes. Dentro de las torres apoyadas en fondo tenemos:

1.1.1 Jack up. Las plataformas de perforación Jack-up son usadas en aguas someras cuya profundidad se encuentra por encima de 110 metros de profundidad. Este es un tipo de plataforma móvil. Puede ser transportado por un remolcador desde un lugar de perforación a otro, y luego se eleva por encima de la superficie del mar en las patas (legs) de la torre de perforación. Es necesario asegurarse de que las condiciones meteorológicas no excedan los parámetros operativos.

Existen dos clases de Jack up:

- De superficie fija: Tienen columnas cilíndricas de 8 a 12 pulgadas. La superficie se transporta bajo el casco. No requieren de pre carga, son económicas. La superficie puede dañarse por causa de objetos en el suelo marino.
- De bases independientes: Requieren de un pre cargado. Las columnas son llevadas hasta el fondo marino. El casco es levantado 5 pies, y cuando por el

peso, el casco alcanza el agua, se levanta de nuevo. Son unidades modernas que requieren de una sola carga.

1.1.2 Platform rig. (Submersible Drilling Rigs). Este tipo de plataforma es usado en aguas someras con profundidades que se encuentran normalmente en menos de 40 metros. Actualmente es la plataforma de perforación menos usada.

Según la operación se clasifican en plataformas independientes o asistidas.

- Plataformas independientes: Usualmente manejan mas de 3 pozos llegando hasta un poco más de 50. Esta plataforma es usada para atender trabajos de workover o mantenimiento de pozo. Además, son muy completas con locaciones, equipos de perforación, plantas eléctricas y equipo auxiliar.
- Plataformas asistidas: Permiten la perforación en una plataforma fija sin que esta tenga el equipo de perforación. Cuenta con un Tender Assist Drilling (TAD), el cual se ubica cerca de la plataforma y traslada el equipo de perforación. Este tipo de plataforma permanece en el sitio suministrando potencia y servicios auxiliares a la plataforma. En el mundo se cuenta con más de 25 plataformas de este tipo y están ubicados principalmente en África y en aguas tranquilas.

Según su montaje, podemos clasificar las plataformas de la siguiente forma:

- Plataforma estándar o convencional: Este tipo de plataforma es pesada y construida según el espaciamiento de los pozos según la norma API. Puede trabajar en un amplio rango de profundidades. El tiempo de montaje puede variar entre 2 a 4 semanas aproximadamente, y se requiere de una barcaza o grúa para cargarse y montarse. Su peso es de 5000 kips.
- Plataforma auto-eregible y auto-cargable: Esta plataforma pesa menos que una convencional (750 a 1250 kips), se transporta a sitio y no requiere ayuda para su armado. Este tipo de plataformas son seleccionadas para operaciones sencillas.

- Plataformas de perforación modular: Son diseñadas para aguas profundas, son ligeras y compactas y toman mucho más tiempo para poder levantarse.

Dentro el grupo de torres de perforación flotantes encontramos:

1.1.3 Drillships. (Barco de perforación). Los barcos de perforación contienen todo el equipo y material necesario para perforar y completar el pozo. Son de nueva generación, construidos en los años 90 y tienen la capacidad de perforar pozos en aguas con profundidades mayores a los 3000.

Los buques de perforación usan un sistema de posicionamiento con múltiples anclajes o propulsión dinámica, o una combinación de ambos. Normalmente, los Drillships son usados para aguas profundas y ultra profundas usando un sistema de posicionamiento dinámico, y, aunque cuentan con capacidad de carga mayor que los equipos de perforación semisumergibles, tienen características de movilidad inferiores.

Estos buques tienen instalaciones de prueba de producción y tanques de almacenamiento de petróleo además del equipo de perforación habitual.

1.1.4 Equipo de perforación semisumergibles. Estas plataformas son las más ampliamente usadas para perforación en aguas con profundidades que exceden los 100 metros. Las plataformas semisumergibles cuentan con 2 o más soportes de flotación que forman el casco de la embarcación. La plataforma de perforación, el área de almacenamiento y los cuartos son montados en la cima del casco. Cuando se desplaza de una locación a otra, los tanques de lastre se vacían, dejando que la plataforma flote mientras esta es arrastrada. Estas plataformas son remolcadas por barcos, y algunas tienen capacidad autopropulsada. Después de ser posicionada en la locación, los tanques son llenados con agua, sumergiendo la menor parte de la estructura.

En las operaciones de perforación, los cascos inferiores se sumergen en el agua aproximadamente a la mitad de la longitud de la columna, pero no descansan sobre el lecho marino. Cuando una plataforma semisumergible se mueve a una nueva localización, los cascos inferiores flotan en la superficie del mar. En el sitio de perforación para mantener la posición se utilizan anclas o sistemas de posicionamiento dinámico para semisumergibles de nueva generación.

Las estructuras expuestas a las olas en las plataformas semisumergibles son mínimas por lo que son más estable para las operaciones de perforación y son capaces de operar en condiciones ambientales más fuertes en comparación con los "Drillships". La principal desventaja de los semisumergibles es que la capacidad de carga variable de la plataforma requerida para almacenar materiales de perforación está limitada por la estructura.

Actualmente, este tipo de plataforma tiene la capacidad de perforar en aguas con profundidades mayores a los 2400 metros.

1.1.5 Drilling barge. También llamado barcazas. Considerada como plataforma de perforación móvil, usada para aguas someras preferiblemente, normalmente a profundidades menores a los 50 metros. Diseñada para perforar en lagos, ríos y canales. No se apropiada para aguas con fuertes movimientos. Transportados de una locación a otra por remolcadores.

1.1.6 Tension leg platforms (TLP). Es una plataforma anclada verticalmente por amarres que van a un sistema de anclaje por pilotes en el fondo marino. Estos se mantienen en tensión por la flotación del casco. Permite realizar perforación en aguas que se encuentran en un rango entre 400 y 1400 metros de profundidad.

1.1.7 Spar platform. (Single point anchor reservoir). Su estructura es cilíndrica y tiene una aleta en espiral lo que reduce el movimiento circular (vortex) en condiciones de corrientes fuertes. Normalmente usadas en profundidades de agua

mayores a los 1600 metros y existen estudios tecnológicos que indican que su uso puede excederse a más de 2000 metros de profundidad.

1.2 CLASIFICACIÓN DEL AGUA SEGÚN LA PROFUNDIDAD DE LA COLUMNA

El proceso básico de perforación de pozos costa afuera no es significativamente diferente del proceso realizado en tierra. Las principales diferencias son el tipo de plataforma de perforación y los métodos modificados utilizados para llevar a cabo las operaciones en una situación más compleja.

Para el desarrollo de la temática se hace necesario definir la clasificación del agua según la profundidad de su columna, de la siguiente forma¹:

- Aguas someras: Se refiere a la columna de agua menor a los 500 metros (1640 ft).
- Aguas profundas: Se refiere a la columna de agua que está en el rango de los 500 a los 1500 metros (4921 ft).
- Aguas ultra profundas: Se refiere a la columna de agua mayor a los 1500 metros.

1.3 FLUIDOS DE PERFORACIÓN

Los fluidos de perforación son parte fundamental para llevar a cabo la operación de perforación de un pozo exploratorio tanto Onshore como Offshore. Los fluidos de perforación son mezclas complejas de químicos y sólidos que son usadas para

¹MINAMBIENTE-Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; ANLA-Autoridad Nacional de Licencias Ambientales. Términos de referencia para la elaboración del estudio de impacto ambiental-EIA en proyectos de perforación exploratoria de hidrocarburos costa afuera. Bogotá D.C. (2016).

cumplir una serie de funciones muy importantes, la principal, transportar los cortes de perforación desde fondo de pozo hasta superficie. Hoy día, son reconocidas algunas funciones significativas:

- ✓ Remover cortes de perforación.
- ✓ Proporcionar soporte y estabilidad al pozo.
- ✓ Enfriar y lubricar la broca de perforación.
- ✓ Controlar las presiones sub-superficiales.
- ✓ Transmitir potencia hidráulica a la broca de perforación.
- ✓ Mantener parte del peso de la tubería.
- ✓ Control de corrosión.

Los lodos de perforación son clasificados principalmente en 3 tipos:

- Lodos base agua (WBM)
- Lodos base aceite (OBM)
- Lodo base sintética (SBM)

1.3.1 Lodos base agua. El término lodo base agua se refiere a cualquier fluido de perforación compuesto por agua como el líquido en la fase continua en donde los materiales son retenidos en suspensión y otros materiales son disueltos. Existe una cantidad muy grande de aditivos usados para obtener propiedades especiales pero básicas. Todos los lodos bases agua se componen principalmente por lo siguiente:

- Fase agua.
- Fase sólida reactiva.
- Sólidos inertes.

1.3.2 Lodos base aceite. Los tipos de lodo base aceite pueden ser los siguientes:

- **Lodo de base aceitosa verdadera:** Contiene menos del 5% de agua y mezclas de asfáltenos oxidados, ácidos orgánicos, alcalinos, agentes estabilizadores y altos puntos de descarga de diésel. Han sido usados en

formaciones con condiciones problemáticas. Son inertes a contaminantes y tienen una buena aplicación en pozos con temperaturas muy altas. Es por esto que tienen efectos tóxicos y pueden causar problemas ambientales.

- **Lodo de base aceitosa no tóxico con aromático reducido:** su toxicidad es mínima y podría ser descargado al mar o a tierra directamente sin ningún tipo de restricción ya que no tiene ningún efecto contaminante para el ambiente. Es muy costoso y no está disponible en las cantidades suficientes en el mercado.
- **Lodo base aceite emulsionado:** El sistema base aceite puede contener agua por encima del 50%, el cual está contenida dentro de una película continua de aceite y emulsionantes especiales. Varios aditivos son usados para estabilizar la emulsión después de ser formado. Este sistema es usado en el Mediterráneo, y demostró tener un buen rendimiento para eliminar problemas de formación y disminuir el daño a los yacimientos de manera que mejore la producción. Este sistema es muy fácil de manejar y no es sensible a ningún tipo de contaminación y su mantenimiento no requiere mucho trabajo comparado con otro sistema.

1.3.3 Lodos base sintética. Actúa como un lodo base aceite, y no tiene efectos tóxicos para el ambiente, pero la disponibilidad en el mercado no es suficiente y es costoso comparado con otros sistemas.

1.4 ECOSISTEMAS ACUÁTICOS

Un ecosistema, es una comunidad de organismos de diferentes especies que interactúan entre sí y con el medio en que viven. En un ecosistema tanto los organismos como el medio ejercen influencia uno sobre el otro y se constituyen en unidades de organización biológica; entre éstos se puede mencionar un jardín, un terrario, un acuario, un bosque, una pradera, incluso nuestro planeta, al que

llamamos biosfera o ecosfera. Entre los factores que influyen sobre los ecosistemas se encuentra: la luz, el agua, el viento y los seres vivos. Estos factores se denominan factores ecológicos y se clasifican en dos grandes grupos: factores bióticos y factores abióticos.

Los factores bióticos, son todas las acciones de los seres vivos animales, plantas, microorganismos y el hombre-sobre el medio. Los factores abióticos, son todos aquellos cuyo origen es inorgánico; algunos de ellos y entre los más importantes tenemos: la luz, la temperatura, el suelo y el agua.

Dentro de los ecosistemas acuáticos hallamos tres grandes grupos: los mares, cuya característica principal es su salinidad, los estuarios, que se caracterizan por tener agua salobre (mezcla de agua salada proveniente del mar y agua dulce procedente de un río) y aguas continentales (de agua dulce), dentro de las que se encuentran los lagos, los ríos, las aguas subterráneas y los pantanos.

1.3.1 Ecosistemas marinos. Aproximadamente el 71% de la superficie terrestre está cubierta por mar. Este porcentaje equivale a 361 millones de kilómetros cuadrados, en los cuales las mayores profundidades sobrepasan por 10 mil metros y la profundidad promedio es de 3700 metros. Hoy día se conoce que hay vida en todas las profundidades marinas, aunque de manera más intensa se da en las zonas menos profundas, hasta de 200 metros y cercanas las costas. A diferencia de los ecosistemas terrestres y de agua dulce el mar es una masa continua que se encuentra en permanente circulación.

Organismos marinos. A los organismos también se les conoce con el nombre de biota, es decir, vivo. En el mar podemos encontrar los siguientes seres vivos:

- **Organismos bentónicos:** Se conocen como organismos bentónicos todos aquellos que viven en el bentos o suelo marino. (Son los que viven enterrados o parcialmente enterrados en el suelo, sobre las rocas o parcialmente enterrados en ellas, desplazándose de un lugar a otro, en trayectos

relativamente cortos. Encontramos organismos bentónicos en todo el suelo marino, excepto en las plantas y en los protistos (algas), cuya presencia en determinado lugar está restringida por la luz. A la fauna bentónica pertenecen animales como corales (celenterados), esponjas (poríferos), gusanos (anélidos) y caracoles (moluscos) y representantes del microbentos, organismos microscópicos que habitan en el suelo marino.

- **Organismos pelágicos:** Estos seres pueden desplazarse a su voluntad o ser desplazados por las corrientes marinas. En el primer grupo se encuentran los organismos nectónicos (necton), y en el segundo los planctónicos (zooplancton y fitoplancton).

Necton: son todos los animales capaces de nadar libremente y de desplazarse hacia donde lo deseen. En su gran mayoría, el necton está conformado por animales vertebrados, aunque también los hay invertebrados como los pulpos. Dentro de los vertebrados podemos citar a todos los peces, mamíferos, como las ballenas y los delfines, y reptiles, como las tortugas y las serpientes venenosas. Encontramos organismos nectónicos en todas las zonas marina descritas anteriormente.

Zooplancton: pertenecen al plancton todos aquellos organismos que se dejan arrastrar por la corriente, es decir, que no pueden ir contra ella. El zooplancton está formado por protistos, pequeños invertebrados, huevos y larvas de organismos que luego formaran en bentos, tales como corales y esponjas. El zooplancton se alimenta del fitoplancton y sirve a su vez, de alimento para animales mayores, como peces y ballenas. Encontramos zooplancton en la zona eufótica.

Fitoplancton: lo conforman algas microscópicas como las diatomeas y dinoflageladas. Las diatomeas por poseer un caparazón de sílice, son especialmente importantes en la formación del suelo marino, pues son más

fáciles de digerir que las dinoflageladas: estas últimas poseen en su caparazón largas espinas que dificultan su ingestión

1.5 MARCO JURÍDICO

El marco legal colombiano en materia de medio ambiente está compuesto por normas constitucionales; convenios, protocolos y acuerdos de carácter internacional ratificados por el país; documentos de política, leyes, decretos y resoluciones de alcance nacional, acuerdos y resoluciones de carácter regional; ordenanzas y decretos ejecutivos de alcance departamental y acuerdos y resoluciones ejecutivas de alcance municipal o distrital.

A continuación, se describe la principal normativa relacionada en el país sobre estudios ambientales con énfasis en asuntos marinos y de costa afuera.

Tabla 1. Convenios y tratados internacionales adoptados por Colombia

NORMATIVIDAD	AÑO	DESCRIPCIÓN
Ley 12	1981	Por medio del cual se aprueba la "Convención Internacional para la Prevención de la Contaminación por Buques" MARPOL 73-78 dada en Londres el 2 de Noviembre de 1973.
Ley 55	1989	Por medio de la cual se aprueba el Convenio Internacional sobre Responsabilidad Civil por Daños Causados por la Contaminación de las Aguas del Mar por Hidrocarburos.
Ley 356	1997	Por medio de la cual se aprueban el "Protocolo relativo a las áreas y flora y

		fauna silvestres especialmente protegidas del Convenio para la Protección y el Desarrollo del Medio Marino de la Región del Gran Caribe", hecho en Kingston el 18 de enero de 1990.
Tratado Liévano – Boyd	1976	Definición del límite entre las respectivas áreas marinas y submarinas de Colombia y Panamá. Firmado en Cartagena el 20 de noviembre de 1976

Tabla 2. Normatividad para actividades en áreas marítimas nacionales colombianas

NORMATIVIDAD	AÑO	DESCRIPCIÓN
Código ISM	1993	International Safety Management Code. Código Internacional para el Manejo de Operaciones Seguras en Buques y Prevención de la Contaminación Marina.
Decreto 1875	1979	Normas sobre la prevención de la contaminación del medio marino y otras disposiciones
Ley 56	1987	Por medio del cual se aprueba el convenio para la protección y desarrollo del medio marino en la Región del Mar Caribe y el Protocolo relativo a la cooperación para combatir los derrames de Hidrocarburos en la Región del Gran Caribe (Cartagena 1983).
Ley 1523	2012	Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se

		establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones
--	--	--

Tabla 3. Normatividad en materia ambiental general

NORMATIVIDAD	AÑO	DESCRIPCIÓN
Ley 23	1973	Por la cual se conceden facultades extraordinarias al Presidente de la República para expedir el Código de los Recursos Naturales y de Protección al Medio Ambiente y se dictan otras disposiciones.
Ley 99	1993	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones.
Decreto 1895	1973	Dicta normas sobre exploración y explotación de petróleo y gas, con el fin de evitar el desperdicio físico y económico de las reservas de petróleo y gas de propiedad nacional o privada y de asegurar su máxima recuperación final y tomar medidas para la prevención de la contaminación ambiental.

Decreto - Ley 2811	1974	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.
Decreto 321	1999	Por el cual se adopta el Plan Nacional de Contingencia contra Derrames de Hidrocarburos, Derivados y Sustancias Nocivas.
Decreto 3930	2010	Artículo 35. Plan de Contingencia para el Manejo de Derrames de Hidrocarburos o Sustancias Nocivas. Los usuarios de exploren, exploten, manufacturen, refinan, transformen, procesen, transporten o almacenes hidrocarburos o sustancias nocivas para la salud y para los recursos hidrobiológicos, deberán estar provistos de un plan de contingencia y control de derrames, el cual deberá contar con la aprobación de la autoridad ambiental competente.
Resolución 631	2015	Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.

1.6 METODOLOGÍA DE TRABAJO

Para el completo desarrollo de este proyecto, se llevó a cabo una serie de actividades con la finalidad de cumplir a cabalidad todos los objetivos propuestos en el plan de trabajo realizado anteriormente. A continuación, se enuncia cada tarea en orden cronológico y el detalle de su desarrollo.

1.6.1 Revisión bibliográfica de las operaciones de perforación costa afuera.

Como primera fase, se realizó una búsqueda bibliográfica y electrónica, sobre las operaciones de perforación costa afuera, con el fin de adquirir un conocimiento general sobre estos procesos. De esta manera se determinó la información más relevante para llevar a cabo un resultado positivo en la finalización de esta propuesta de trabajo.

1.6.2 Revisión bibliográfica de los requerimientos legales para la ejecución de las operaciones de perforación costa afuera en Colombia. En esta fase, se dio enfoque a la búsqueda de la normatividad legal vigente que regulan las actividades de perforación Costa afuera, desde la etapa de planeación, pasando por la etapa de perforación y producción, para finalmente llegar a la etapa de abandono de pozo.

1.6.3 Revisión bibliográfica de los programas de lodos y estado mecánico de los pozos exploratorios más recientes del Caribe Colombiano. Esta etapa se enfocó en buscar información general sobre los pozos perforados costa afuera en el Caribe Colombiano. Se escogieron los pozos exploratorios perforados en los últimos 5 años, y seguido de esto, se realizó la búsqueda de información sobre el estado mecánico y programa de lodos con el que operan dichos pozos. Lo anterior, con la finalidad de analizar qué tipo de tratamiento pueden recibir los residuos de perforación, teniendo en cuenta las características de los pozos. Para adquirir esta información, fue necesaria la obtención de los Planes de Manejo Ambiental (PMA) de cada uno de los pozos de estudio, que fueron solicitados en las oficinas de la

Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) mediante los expedientes con su respectivo radicado.

Tabla 4. Expedientes solicitados al ANLA con su respectivo radicado

EXPEDIENTE	DESCRIPCIÓN	RADICADO
LAM5901-00	PMA para la perforación exploratoria del pozo Orca 1 AMI* Jarara	4120-E1-56644
LAM5026-00	PMA pozo Calasú 1, APEM** Fuerte Norte	4120-E1-62929
LAM5026-00	ICA No. 2 pozo Calasú 1, APEM**Fuerte Norte	2016017887-1-000
LAM4701-00	PMA pozo exploratorio Mapalé 2 Bloque RC5	4120-E1-30646
LAM4971-00	PMA pozo Kronos 1, APEM** Fuerte Sur (parte 1/2)	4120-E1-61486
LAM4971-00	PMA pozo Kronos 1, APEM** Fuerte Sur (parte 2/2)	4120-E1-61486
LAM4971-00	ICA No. 2 pozo Kronos 1, APEM** Fuerte Sur	2016013324-1-000
LAV0052-00-2015	PMA pozo exploratorio Purple Angel C	2016046896-1-000
LAV0052-00-2015	PMA pozo Gorgón A, proyecto de perforación exploratoria costa fuera Purple Angel	2016046901-1-000

API* = Área de Mayor Interés

APEM** = Área de Perforación Exploratoria Marina

1.6.4 Revisión bibliográfica de los programas de manejo de residuos de los pozos exploratorios ubicados en los campos más distintivos del Caribe Colombiano. De los expedientes facilitados por el ANLA, se encontró información sobre los programas de manejo de residuos de perforación de los pozos exploratorios perforados recientemente costa afuera en el Caribe Colombiano.

Seguido de esto, se realizó un comparativo del tratamiento y vertimiento de los cortes y lodos de perforación que se están ejecutando actualmente en Colombia.

1.6.5 Revisión bibliográfica de los impactos ambientales que genera el vertimiento de los residuos de perforación en el mar Caribe Colombianos.

Adicionalmente, se solicitó al ANLA información sobre los informes de cumplimiento ambiental (ICA) de los pozos de estudio previamente seleccionados, con el fin de comparar el estado ambiental del medio biótico y abiótico antes y después de la ejecución de las operaciones de perforación de pozos exploratorios marinos en Colombia.

1.6.6 Identificación de los impactos ambientales generados por la disposición de los residuos de perforación en el caribe colombiano.

En esta etapa del proceso, se definieron los impactos ambientales que pueden ser causados por la disposición de los fluidos y cortes de perforación, resaltando así el impacto ambiental más frecuente y de mayor intensidad.

1.6.7 Análisis de datos. Como etapa final, se realizó una recopilación de toda la información y los resultados de la búsqueda selectiva y sistemática de información pública disponible, determinando cual era la más necesaria para la elaboración del documento final.

2 DESCRIPCIÓN DE LOS ESTADOS MECÁNICOS Y PROGRAMA DE LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN

A continuación, en la tabla 5 se presentan los datos básicos de los pozos de estudio seleccionados. Esta selección se realizó con base en los pozos exploratorios que han sido perforados en los últimos cinco años y que cuentan con un Plan de Manejo Ambiental radicado hasta la fecha.

El pozo Calasú 1 es un pozo exploratorio que se encuentra localizado dentro del bloque APEM Fuerte Norte enmarcado en las coordenadas de longitud de 76° 15' 25.4" en dirección Oeste, con una latitud de 10° 27' 11.8" en dirección Norte. Es operado en sociedad por las empresas Anadarko y Ecopetrol. El inicio de la perforación de este pozo comienza en el mes de febrero del 2015.

El pozo exploratorio Gorgón A, se encuentra localizado dentro del bloque Purple Angel enmarcado en las coordenadas con longitud de 76° 44' 54.1" en dirección Oeste y a una latitud 9° 25' 59.3" en dirección Norte. Operado por la compañía Anadarko y el inicio de su perforación fue en el mes de julio de 2016.

Por su parte, el pozo Kronos 1 es un pozo exploratorio, ubicado dentro del bloque APEM Fuerte Sur a una longitud de 76° 49' 55.9" en dirección Oeste y a una latitud 9° 9' 53.1" en dirección Norte. Es operado en sociedad por las compañías Anadarko y Ecopetrol. Este pozo dio inicio a su perforación en enero del 2015.

El pozo exploratorio Mapalé 2 está ubicado dentro del área conocida como Área de Interés de Perforación Exploratoria – Bloque RC5 (Ronda Caribe 5). Operado por Equión Energía Limited y dio inicio a su perforación en el primer trimestre del 2012.

La perforación del pozo exploratorio Orca 1 dio inicio en el mes de agosto del 2014, fue localizada en el Bloque Tayrona enmarcado en las coordenadas de latitud de 12° 46' 57.4" en dirección Norte y a una longitud de 71° 35' 49.2" en dirección Oeste. Operado por Petrobras S.A.

La perforación del pozo exploratorio Purple Angel C dio inicio en el año 2016 en el Bloque Purple Angel enmarcado en las coordenadas de latitud de 9° 12' 25.7" en dirección Norte y a una longitud de 76° 49' 55.1" en dirección Oeste. Operado por la compañía Anadarko y Ecopetrol.

Tabla 5. Resumen datos principales de los pozos exploratorios de estudio.

Pozo	Bloque	Compañía operadora	Año de perforación
Calasú 1	APEM Fuerte Norte	Anadarko - Ecopetrol	2015
Gorgón A	Purple Angel	Anadarko	2016
Kronos 1	APEM Fuerte Sur	Anadarko - Ecopetrol	2015
Mapalé 2	RC5	Equion Energy	2012
Orca 1	Tayrona	Petrobras	2014
Purple Angel C	Purple Angel	Anadarko - Ecopetrol	2016

Fuente: Modificado de COLOMBIA. AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS (ANH). Listado áreas. 17 de febrero del 2017.

A continuación, se dará una breve descripción de los estados mecánicos y programa de los fluidos de perforación para cada uno de los pozos de estudio. En este apartado, se describe el número de secciones perforadas, la profundidad de la columna de agua de cada pozo, los diámetros de perforación, y las características de los fluidos de perforación. Todas las profundidades mencionadas en esta sección son medidas desde el nivel del mar. (TVD SS, True Vertical Depth Sub Sea).

2.1 CASO I. CALASÚ 1

Ver estado mecánico en el anexo A.

La profundidad de la lámina de agua del pozo Calasú 1 es de 2229 metros. La perforación de este pozo está dividida en 8 secciones hasta alcanzar una profundidad final de 6850 metros medidos desde el nivel del mar. (Ver figura 1). Las 3 primeras secciones perforadas se hacen sin la presencia del riser, y a partir de la sección 4 se hace su respectiva instalación.

Sección I

Se entierra un revestimiento de 36" de diámetro en el suelo marino por medio de pilotaje/martilleo hasta una profundidad de 2286 m (TVD S), usando agua de mar como fluido para remover sólidos de 8.6 ppg.

Sección II

Esta sección es perforada con broca de 26" y ensanchada hasta 32", se perfora con agua de mar, al finalizar la perforación a una profundidad estimada de 2660 m (TVD SS), se baja y cementa el revestimiento de 28".

Sección III

Esta sección es perforada con broca de 26" se perfora con lodo base agua de 11.5 ppg, al finalizar la perforación a una profundidad estimada de 3060 m (TVD SS), se baja y cementa el revestimiento de 22".

Sección IV

Esta sección es perforada con broca de 17 ½" y ensanchada hasta 20", se usa lodo base sintética (SBM) de 9.5 ppg, una vez finalizada la perforación a una profundidad estimada de 3300 m (TVD SS), se baja y cementa un liner de 16".

Sección V

Esta sección es perforada con broca de 12 ¼” y ensanchado hasta 17 ½”, se usa lodo SBM de 10.0 ppg, una vez finalizada la perforación a una profundidad estimada de 3875 m (TVD SS), se baja y cementa un revestimiento de 13 5/8”.

Sección VI

Esta sección es perforada con broca de 12 ¼”, es usado lodo SBM de 10.4 ppg, una vez finalizada la perforación a una profundidad estimada de 4885 m (TVD SS), se baja y cementa un liner de 11 ¾”.

Sección VII

Esta sección es perforada con broca de 10 5/8”, es usado lodo SBM de 11.9 ppg, una vez finalizada la perforación a una profundidad estimada de 6015 m (TVD SS), se baja y cementa un liner de 9 5/8”.

Sección VIII

Esta última sección es perforada con broca de 8 ½”, es usado lodo SBM de 13.2 ppg, una vez finalizada la perforación a una profundidad estimada de 6850 m (TVD SS), se baja y cementa un liner de 7”.

2.2 CASO II. GORGÓN A

Ver estado mecánico en el anexo B.

La profundidad de la lámina de agua del pozo Gorgón A es de 2319 metros. La perforación de este pozo está dividida en 6 secciones hasta alcanzar una profundidad final de 4550 metros medidos desde el nivel del mar. (Ver figura 1). Las 2 primeras secciones perforadas se hacen sin la presencia del riser, y a partir de la sección 3 se hace su respectiva instalación.

Sección I

Se entierra un revestimiento de 36" de diámetro en el suelo marino por medio de pilotaje/martilleo hasta una profundidad de 2381 m (TVD SS), usando agua de mar como fluido para remover solidos de 8.6 ppg.

Sección II

Esta fase es perforada con broca de 26", se usa agua de mar y lodo base agua de 9.2 ppg para perforar esta sección y una vez finalizada, es bajado y cementado el revestimiento de 22" a una profundidad cercana a los 2850 m (TVD SS).

Sección III

Para esta sección se usa una broca de 18 1/8" y ensanchador de 22", el lodo empleado es NADF de 9.7 ppg; al finalizar la sección se baja y cementa un liner de 18" a una profundidad estimada de 3250 m (TVD SS).

Sección IV

Esta sección es perforada con broca de 16½", se utiliza el mismo tipo de lodo de la sección anterior, pero con densidad de 10.0 ppg y se baja un liner de 13 5/8" a la profundidad aproximada de 3625 m (TVD SS).

Sección V

Esta sección es perforada con broca de 12 ¼", se utiliza el mismo tipo de lodo de la sección anterior de densidad de 11.0 ppg y una vez finalizada, se baja y cementa un liner de 9 5/8" con profundidad máxima de 4020 m (TVD SS).

Sección VI

Esta fase es perforada con broca de 8½", se utiliza el mismo tipo de lodo de las secciones anteriores de 11.7 ppg, se baja y cementa un liner de 7" hasta una profundidad final de 4550 m (TVD SS).

2.3 CASO III. KRONOS 1

Ver estado mecánico en el anexo C.

La profundidad de la lámina de agua del pozo Kronos 1 es de 1585 metros. La perforación de este pozo está dividida en 8 secciones hasta alcanzar una profundidad final de 5850 metros medidos desde el nivel del mar. (Ver figura 1). Las 3 primeras secciones perforadas se hacen sin la presencia del riser, y a partir de la sección 4 se hace su respectiva instalación.

Sección I

Esta primera sección es perforada con broca de 30" y ensanchada hasta 42", se perfora con agua de mar, una vez finalizada la perforación a una profundidad estimada de 1642 m (TVD SS), se baja y cementa el revestimiento de 36".

Sección II

Esta sección es perforada con broca de 26" y ensanchada hasta 32", se perfora con agua de mar, al finalizar la perforación a una profundidad estimada de 2000 m (TVD SS), se baja y cementa el revestimiento de 28".

Sección III

Esta sección es perforada con broca de 26", se perfora con lodo base agua de 11.5 ppg, al finalizar la perforación a una profundidad estimada de 2305 m (TVD SS), se baja y cementa el revestimiento de 22".

Sección IV

Esta sección es perforada con broca de 17 ½" y ensanchada hasta 20", se usa lodo SBM, una vez finalizada la perforación a una profundidad estimada de 3080 m (TVD SS), se baja y cementa un liner de 16".

Sección V

Esta sección es perforada con broca de 14 ¾", se usa lodo SBM, una vez finalizada la perforación a una profundidad estimada de 3760 m (TVD SS), se baja y cementa un revestimiento de 13 5/8".

Sección VI

Esta sección es perforada con broca de 12 ¼", es usado lodo SBM, una vez finalizada la perforación a una profundidad estimada de 4550 m (TVD SS), se baja y cementa un liner de 11 ¾".

Sección VII

Esta sección es perforada con broca de 10 5/8", es usado lodo SBM, una vez finalizada la perforación a una profundidad estimada de 5125 m (TVD SS), se baja y cementa un liner de 9 5/8".

Sección VIII

Esta última sección es perforada con broca de 8 ½", es usado lodo SBM, una vez finalizada la perforación a una profundidad estimada de 5850 m (TVD SS), se baja y cementa un liner de 7".

2.4 CASO IV. MAPALÉ 2

Ver estado mecánico en el anexo D.

La profundidad de la lámina de agua del pozo Mapalé 2 es de 40 metros. La perforación se realizó en 6 secciones llegando a una profundidad final de 3689 metros medidos desde el nivel del mar.

Sección I

Se asienta un revestimiento de 30" de diámetro en el suelo marino por medio de pilotaje/martilleo hasta una profundidad de 104 m (TVD SS).

Sección II

Esta sección se arma y se corre un ensamblaje de 26"x28" para ensanchar hueco, se usa lodo base agua de alto rendimiento de 10-10.8 ppg y posteriormente se corre un revestimiento de 24" y es asentado a una profundidad de 300 m (TVD SS) que esta cementado de zapato a tope.

Sección III

Se arma y se corre un ensamblaje de perforación de 21"x26", con ayuda de lodo base agua de alto rendimiento de 10-10.8 ppg, posteriormente se corre un revestimiento de 20" de OD con centralizadores y empaques para asentarlos a una profundidad de 575m (TVD SS) y cementarlos de zapato a tope.

Sección IV

Se perfora con una broca de 17 ½", usando lodo base agua de alto rendimiento de 11.1-12.5 ppg se corre un revestimiento de 13 5/8" hasta una profundidad de 2160m (TVD SS) y se cementa de zapato hasta una altura superior al zapato del casing anterior.

Sección V

Se perfora con una broca de 12 ¼" empleando lodo base agua de alto rendimiento de 13.1-14.0 ppg, para correr un revestimiento de 9 5/8" hasta llegar a una profundidad de asentamiento de 3114m (TVD SS) y se cementa de zapato a una altura superior al zapato del casing anterior.

Sección VI

Se perfora con una broca de 8 ½" con ayuda de lodo base agua de alto rendimiento de 13.1-11.7 ppg, para correr un liner de 7" hasta llegar a una profundidad de asentamiento de 3689m (TVD SS) y se cementa de zapato a tope de liner.

2.5 CASO V. ORCA 1

Ver estado mecánico en el anexo E.

La profundidad de la lámina de agua del pozo Orca 1 es de 674 metros. La perforación se realizó en 6 secciones llegando a una profundidad final de 4770 metros medidos desde el nivel del mar.

Sección I

Esta sección es perforada con broca de 26" y ensanchada hasta 42", se perfora con agua de mar y píldoras viscosas a base de bentonita. Una vez finalizada la perforación a una profundidad estimada de 771 m (TVD SS), se baja y cementa el revestimiento de 36".

Sección II

Esta fase es perforada con broca de 26", se usa agua de mar y píldoras viscosas a base de bentonita para perforar esta sección y una vez finalizada, es bajado y cementado el revestimiento de 22" a una profundidad cercana a los 1850 m (TVD SS).

Sección III

Para esta sección se usa una broca de 18" y ensanchador de 22", el lodo empleado es un lodo de alto rendimiento base agua; al finalizar la sección se baja y cementa un liner de 18" a una profundidad estimada de 2400 m (TVD SS).

Sección IV

Esta sección es perforada con broca de 16½", se utiliza el mismo lodo de la sección anterior se usa un ensanchador de 20" y se baja un liner de 16" a la profundidad aproximada de 2640 m (TVD SS).

Luego de bajar el liner de 16" se perfora con broca de 14 3/4", se utiliza el mismo lodo de la sección anterior; al finalizar la sección se baja y cementa revestimiento de 13 5/8" a una profundidad de 3638 m (TVD SS).

Sección V

Esta sección es perforada con broca de 12 1/4", se utiliza el mismo lodo de la sección anterior y una vez finalizada, se baja y cementa un liner de 11 7/8" con profundidad máxima de 4060 m (TVD SS).

Luego de bajar el liner de 11 7/8" se perfora con broca de 10 5/8", se usa el mismo lodo de la sección anterior y al finalizar la sección se baja y cementa un revestimiento de 9 5/8" a una profundidad cercana a los 4500 m (TVD SS).

Sección VI

Esta fase se perfora con broca de 8 1/2", se utiliza el mismo lodo de las secciones anteriores, se baja y cementa un liner de 7" hasta una profundidad final de 4770 m (TVD SS).

2.6 CASO VI. PURPLE ANGEL C

Ver estado mecánico en el anexo F.

La profundidad de la lámina de agua del pozo Purple Angel C es de 1825 metros. La perforación de este pozo está dividida en 7 secciones hasta alcanzar una profundidad final de 4800 metros medidos desde el nivel del mar. (Ver figura 1). Las 2 primeras secciones perforadas se hacen sin la presencia del riser, y a partir de la sección 3 se hace su respectiva instalación.

Sección I

Se entierra un revestimiento de 36" de diámetro en el suelo marino por medio de pilotaje/martilleo hasta una profundidad de 1887 m (TVD SS), usando agua de mar como fluido para remover sólidos.

Sección II

Esta sección se perfora con una broca de 26", se usa agua de mar con aditivos de 9 ppg y posteriormente se corre un revestimiento de 22" y es asentado a una profundidad de 2425 m (TVD SS) que esta cementado de zapato a tope.

Sección III

Se arma y se corre un ensamblaje de perforación de 18 ¼"x22", con ayuda de lodo SBM de 10.2 ppg, posteriormente se corre un liner de 18" de OD para asentarlos a una profundidad de 2825m (TVD SS) y cementarlos.

Sección IV

Se perfora con una broca de 16 ½", usando lodo SBM de 10.6 ppg se corre un revestimiento de 14" hasta una profundidad de 3900 m (TVD SS) y es cementado.

Sección V

Esta sección se perfora con una broca de 12 ¼" empleando lodo SBM de 10.0-10.3 ppg, hasta llegar a una profundidad de 4575 m (TVD SS) y se deja hueco abierto.

Sección VI

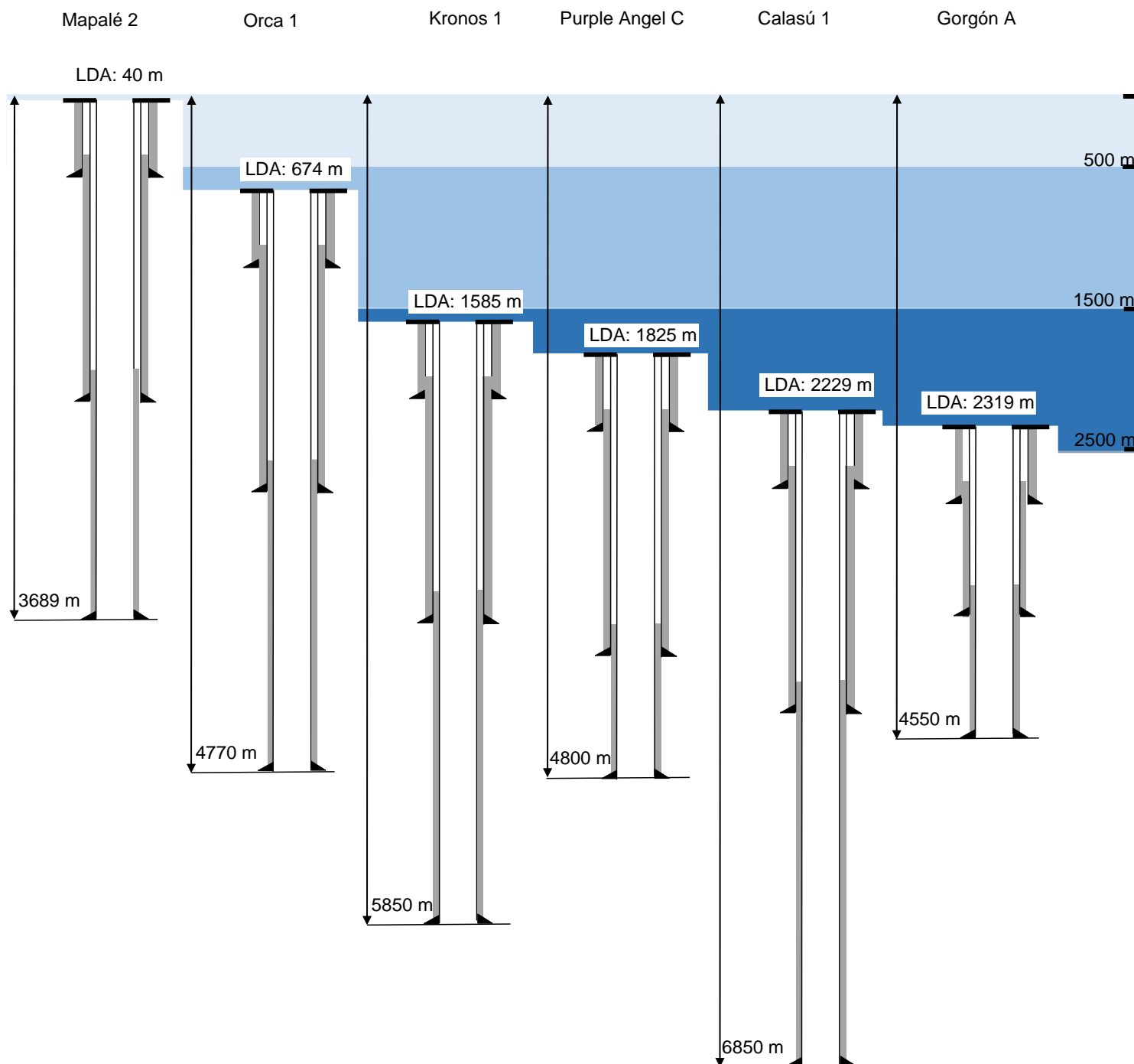
Esta sección se realiza un sidetrack y se perfora con una broca de 12 ¼" empleando lodo SBM de 10.4-11.8 ppg, para correr un revestimiento de 9 7/8" hasta llegar a una profundidad de asentamiento de 4575 m (TVD SS) y se cementa completamente.

Sección VII

En esta sección se perfora con una broca de tamaño 8 1/2" empleando lodo SBM de 11.8-13.1 ppg, hasta llegar a una profundidad de 4800 m (TVD SS).

La figura 1 presenta los estados mecánicos de todos los pozos de forma simplificada.

Figura 1. Estados mecánicos simplificados



3 TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE LODOS Y CORTES DE PERFORACIÓN

El tratamiento de lodos y cortes de perforación, se realiza con el objetivo de remover la mayor cantidad posible de residuos que se generan a causa del proceso de perforación de un pozo exploratorio, para posteriormente reajustar las propiedades del fluido como la viscosidad, PH y peso con la finalidad de mejorar su desempeño para luego ser reinyectado.

Puede considerarse como residuos, a los cortes, arenilla, arcilla y demás materiales finos que son separados durante el tratamiento de los fluidos (sistema de control de sólidos).

El sistema de control de sólidos está compuesto por tamices o zarandas vibratorias, desarenador, deslimador, centrífugas de alta revolución, desgasificador y un sistema de secado de cortes.

A continuación, se explica las funciones de cada unidad anteriormente mencionadas:

- **Tamices o zarandas vibratorias:** Son mallas metálicas empleadas para la separación de los cortes de perforación, estos cortes son descargados posteriormente al lecho marino.
- **Desarenadores:** Empleados para la separación de granos de arena y partículas de arcilla del fluido de perforación. En éstos el fluido es bombeado tangencialmente por el interior de uno o varios ciclones, dentro de los cuales la rotación del fluido provee una fuerza centrífuga que permite separar las partículas densas por efecto de su peso.

- **Deslimador:** Empleados para la separación de las partículas más pequeñas como arenas y limos.
- **Centrífugas:** Equipos que permiten efectuar la separación mecánica de sólidos de elevado peso específico, suspendidos en el fluido de perforación; la separación se obtiene por medio de la rotación mecánica del fluido en un tambor a alta velocidad.
- **Desgasificador:** Separador del gas que pueda contener el fluido de perforación.
- **Sistema de secado de cortes:** Se podrá utilizar una centrífuga vertical tipo malla. Los cortes son alimentados hacia una tolva, estos a su vez son transportados por un tornillo sin fin para su homogenización e ingreso al secador. Después de que el recorte es introducido es acelerado por el cono y las cuchillas enviándolo a la superficie de la malla para la separación de la fase líquida y sólida, las cuchillas raspan los sólidos para permitir a la separación. Los sólidos son descargados por la parte inferior de la malla, cayendo por gravedad al área de descarga y a su vez son transportados hacia el tanque de recibo de cortes por un tornillo sin fin. El líquido que atraviesa la malla, cae al área de lavado y descarga de la fase líquida hacia el tanque de recepción.

Durante la actividad de perforación de un pozo exploratorio marino, se generan los siguientes tipos de vertimientos de fluidos de perforación:

- **Vertimiento de fluidos de perforación base agua (WBM).**
Los fluidos base agua, son dispuestos en el lecho marino siempre y cuando no se lleve a cabo la utilización de riser.

- **Vertimiento de fluidos de perforación base sintética (SBM).**

Este tipo de fluido de perforación es reutilizado tantas veces como sea posible y una vez que ya no pueda reinyectarse, se recolecta en tanques y se transporta por tierra para regresarlo a su proveedor. Este fluido puede ser utilizado en otros pozos, o se procede a su disposición final a cargo de las compañías debidamente autorizadas².

El vertimiento de los cortes de perforación base agua, se realiza directamente al lecho marino, en caso de no utilizar el riser.

Por el contrario, para el vertimiento de los cortes de perforación de base sintética se debe tener en cuenta lo siguiente:

Los residuos sólidos separados durante el tratamiento de los fluidos de perforación, pueden ser descargados directamente al mar, siempre y cuando la concentración promedio de fluido contenido en ellos, sea menor al 6,9%, y menor del 1% de concentración de hidrocarburos provenientes de la formación³.

Para determinar la concentración de fluido contenido en los cortes de perforación, se debe realizar la práctica recomendada conocida como la prueba de retorta (Práctica Recomendada API 13B-2, 2014). En esta prueba se miden los fluidos de base sintética y el agua que son liberados de una muestra de cortes, al ser calentados y posteriormente condensados en un instrumento de 'retorta' específicamente proyectado y calibrado para este tipo de pruebas. El peso del fluido de base sintética recuperado de la muestra mediante la prueba, es utilizado para determinar el porcentaje de fluido contenido en la muestra húmeda.

² COLOMBIA. AUTORIDAD NACIONAL DE LICENCIAS AMBIENTALES. Resolución 1016 (7, diciembre, 2012). Por el cual se otorga una licencia ambiental y se toman otras determinaciones.

³ COLOMBIA. AUTORIDAD NACIONAL DE LICENCIAS AMBIENTALES. Resolución 1072 (31, agosto, 2015). Por el cual se otorga una licencia ambiental y se toman otras determinaciones.

La descarga de los cortes se debe realizar por debajo de la superficie del mar. Si no es posible su descarga, se deben trasladar a tierra y disponerse mediante terceros autorizados para dicho fin.

3.1 TIPO DE FLUIDO DE PERFORACIÓN UTILIZADO SEGÚN LA PROFUNDIDAD DE LOS POZOS DE ESTUDIO

Como ya se indicó en el capítulo anterior, la perforación de los pozos de estudio se realizó en etapas diferenciadas teniendo en cuenta el tipo de fluido a utilizar.

El fluido de perforación, es básicamente una suspensión coloidal con propiedades tixotrópicas que tiene diversas finalidades. Entre ellas tenemos:

- Transporte y suspensión de cortes de las formaciones perforadas.
- Control de presiones del subsuelo.
- Lubricación y enfriamiento de la broca y la sarta.
- Soporte de las paredes del pozo.
- Transmitir energía hidráulica a la broca.
- Control de formaciones problemáticas (zonas hinchables, de pérdida, formaciones sobre presurizadas, formaciones altamente permeables).

En la tabla comparativa número 6 se puede diferenciar las profundidades de cada uno de los pozos de estudio, el equipo de perforación utilizada, y el tipo de fluido que se usó en cada sección de perforación de acuerdo a su profundidad.

En las primeras etapas de perforación de los pozos Calasú 1, Gorgón A, Kronos 1, y Purple Angel C, se utilizó como fluido de perforación el agua de mar y lodo base agua (WBM), y para las secciones más profundas, se usó lodo base sintética (SBM).

Por el contrario, el pozo de estudio Orca 1, se perforó inicialmente con agua de mar, y finalmente con lodo base agua. Por último, el pozo Mapalé 2, se perforó en su totalidad utilizando lodo base agua (WBM).

Tabla 6. Tipo de lodo usado según las secciones perforadas

Nombre de pozo	Tipo de plataforma	Intervalo perforado (m)
Calasú 1	Drilling Ship	2229 - 2660
		2660 - 3060
		3060 - 6850
Purple Angel C	Drilling Ship	1825 - 1887
		1887 - 2425
		2425 - 4800
Gorgón A	Drilling Ship	2319 - 2381
		2381 - 2850
		2850 - 4550
Kronos 1	Drilling Ship	1585 - 2000
		2000 - 2305
		2305 - 5850
Mapalé 2	Jack up	40 - 3689
Orca 1	Drilling Ship	674 - 1850
		1850 - 4770

Agua de mar
 Lodo base agua
 Lodo base sintética

3.2 TOXICIDAD DE LODOS DE PERFORACIÓN

Como requerimiento para el licenciamiento ambiental y con miras a evaluar los efectos de lodos de perforación utilizados en exploración costa afuera, el Ministerio de Medio Ambiente y particularmente la Agencia Ambiental de Licencias Ambientales (ANLA), solicitaron el establecimiento de pruebas de toxicidad agudas, crónicas y de bioacumulación con organismos autóctonos de los ambientes marinos colombianos, ya que muchos de los estudios de los que se tenían reportes hasta la fecha estaban realizados con especies propias de otras latitudes. Las pruebas basadas en especies autóctonas se consideran más representativas de las condiciones locales y por lo tanto una herramienta más confiable para evaluar la aceptabilidad de las propuestas de perforación. Es así como la Empresa Colombiana de Petróleos (ECOPETROL S.A.), que en su momento estaba en proceso de licenciamiento de bloques en el Caribe colombiano, realizó convenios con laboratorios públicos y privados del país para llevar a cabo estos bioensayos. Son ellos la Universidad Jorge Tadeo Lozano (UJTL) y el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR), ambos con sede en Santa Marta. Cabe apuntar que el uso habitual de estos laboratorios es de tipo investigativo y que el país no cuenta con laboratorios acreditados para la realización de pruebas comerciales con organismos marinos. Además, son escasas las especies que se encuentran adaptadas a condiciones de confinamiento.

Las especies utilizadas en los ensayos de toxicidad son *Litopenaeus vannamei*, *Argopecten nucleus*, *Artemia salina*, *Balanus amphitrite*, *Isochrysis galbana* y *L. variegatus*. El objetivo de los bioensayos es determinar la toxicidad aguda y/o crónica de la fase suspendida particulada (FSP), obtenida según metodología EPA, de lodos de perforación de base agua y sintética de las empresas M-I Swaco, Halliburton y/o Baker Hughes. Se establece la Concentración Letal, de Efecto y de Inhibición media (CL50, CE50 y CI50 respectivamente), para las pruebas agudas y la Concentración de Efectos No Observable (CENO), para las crónicas.

Los ensayos realizados en la Universidad Jorge Tadeo Lozano et al. (2011 y 2013), arrojaron los siguientes resultados. Para el caso de lodos base agua, en general, se obtuvieron valores de toxicidad aguda (CL50), más bajos que los lodos base sintético. Los datos obtenidos en el estudio, para los casos de *L. vannamei* y *A. nucleus*, determinaron que los lodos base sintético se encontraron en la categoría “Prácticamente no tóxicos” de EPA (> 10.000 ppm⁴). Por el contrario, *A. salina* mostró valores entre 1.000 y 10.000 ppm, indicando que los lodos son “Ligeramente tóxicos”. La actual normativa EPA de cortes de perforación en el Golfo de México fija los límites de CL50 para disposición en el agua de mar por encima de las 30.000 ppm. Las concentraciones de efectos no observables conseguidas en las pruebas crónicas con los diferentes lodos de perforación indican que, todos los lodos analizados presentaron valores de CENO para alguna de las dos especies que los permiten clasificar como de toxicidad despreciable. Aún no se han llevado a cabo los análisis del contenido de metales de soluciones y bioacumulación en tejidos de los organismos en los ensayos de toxicidad crónica realizados.

Los lodos de perforación (Pad mud), RISERVIS, RISERVIS SUPER SATURADO y ENCORE han sido evaluados a lo largo de varios años por laboratorios certificados en ensayos de toxicidad aguda y crónica con especies marinas (*L. variegatus*, *Americamysis bahia* y/o *Mysidopsis juniae*), tanto en Brasil (Laboratorio de Análisis Ambiental - Labtox), como en Estados Unidos (Baroid Quality Assurance Laboratory), utilizando la metodología EPA para evaluar la FSP de lodos de perforación.

Las pruebas de toxicidad realizadas a la fase suspendida particulada de lodos de perforación arrojan resultados de CL50, CENO, CEO y biodegradabilidad satisfactorios. Para los lodos Pad mud se observaron valores de CL50 superiores a 1.000.000 de ppm de fase suspendida particulada en casi todos los casos; sólo el experimento agudo realizado con *M. juniae* obtuvo un valor inferior, pero que sigue

⁴ Jones et al., 1986.

siendo muy superior a los límites de toxicidad del lodo según las consideraciones de la EPA para pruebas agudas. De igual manera, los efectos crónicos del lodo estuvieron muy alejados de los límites tóxicos. Algo similar sucede con los lodos RISER-VIS, los datos de toxicidad aguda y crónica están muy por encima de los valores que la EPA considera tóxicos para los bioensayos. Las pruebas de toxicidad con el lodo ENCORE arrojaron resultados similares a los de los otros lodos evaluados, las pruebas tanto agudas como crónicas no presentaron indicios de toxicidad en ninguno de los casos. La prueba de biodegradabilidad del mismo lodo arrojó un resultado al 99% para este aspecto superior después de 28 días de incubación.

3.3 DISPOSICIÓN DE LODOS Y CORTES DE PERFORACIÓN PARA CADA CASO DE ESTUDIO.

En tabla 7, se muestra en detalle el análisis de datos sobre la disposición de lodos y cortes de perforación para cada pozo de estudio, teniendo en cuenta la profundidad de perforación de cada pozo con su referente tipo de lodo. Así mismo, se determina el tratamiento pertinente que se debe llevar a cabo para los lodos y cortes, como también la disposición final de los mismos de acuerdo a sus características.

Tabla 7. Disposición y tratamiento de los lodos y cortes de perforación basada en la profundidad y el tipo de fluido de perforación para los 6 pozos de estudio.

Pozo	Profundidad (metros)	Tipo de fluido			Control de sólidos	Vertimiento			
		Agua de mar	WBM	SBM		Lodo		Cortes	
						Lecho marino	Transportados a costa	Lecho marino*	Transportados a costa*
Calasú 1	2254 - 2685	x				x		x	
	2685 - 3085		x		x	x		x	
	3085 - 6875			x	x		x	x	x
Purple Angel C	1850 - 1912	x				x		x	
	1912 - 2850		x		x	x		x	
	2850 - 4825			x	x		x	x	x
Gorgón A	2344 - 2406	x				x		x	
	2406 - 2875		x		x	x		x	
	2875 - 4575			x	x		x	x	x
Kronos 1	1610 - 2025	x				x		x	
	2025 - 2330		x		x			x	
	2330 - 5875			x	x		x	x	x
Mapalé 2	139 - 3749		x		x	x		x	
Orca 1	771 - 1850	x							
	1850 - 4770		x		x	x		x	

Lecho marino*: los cortes de perforación deben ser vertidos en el lecho marino si cumplen con lo estipulado en la resolución 1016 del 7 de diciembre del 2012. (En caso de no utilizar un riser, los cortes de perforación base agua pueden ser descargados directamente en el mar).

Transportados a costa*: Los cortes deben ser transportados a costa a los proveedores si no cumplen con lo estipulado en la resolución 1016 del 7 de diciembre del 2012.

Como se observar en la tabla anterior, para los pozos en los cuales no se hizo necesaria la utilización del riser en las primeras secciones (Calasú 1, Purple Angel C, Gorgón A y Kronos 1), los fluidos base agua son vertidos directamente al lecho marino. Por el contrario, para los pozos Mapalé 2 y Orca 1, los fluidos base agua son recirculados hasta superficie, y al final de su vida útil son vertidos en el lecho marino. Este mismo proceso se realiza para los cortes de perforación base agua.

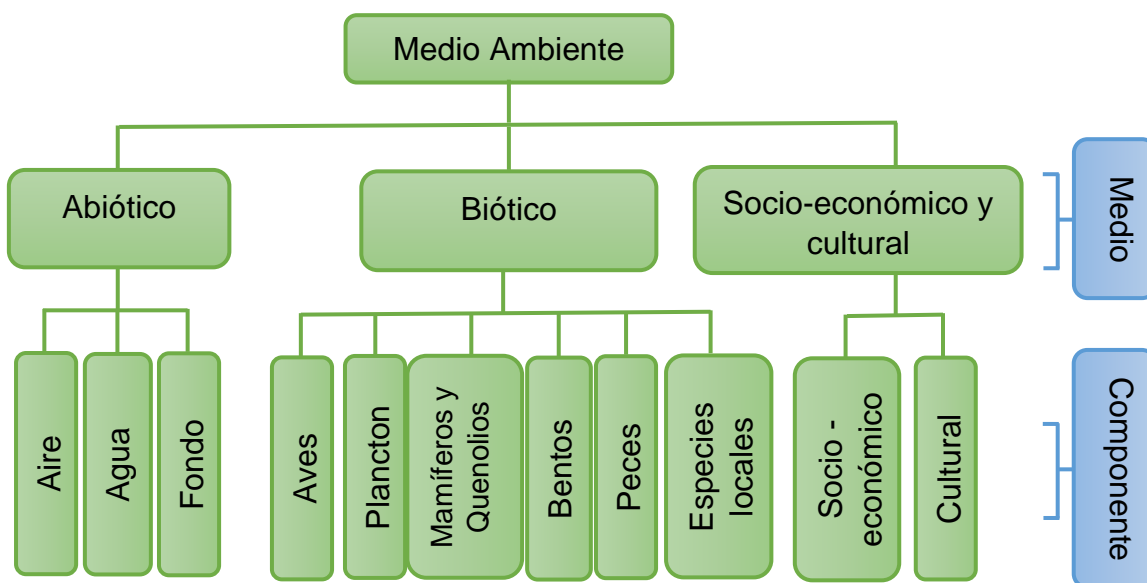
En el caso de los fluidos de perforación base sintética, se reutilizan tantas veces como sea posible y una vez ya no puedan ser reusados, se recolectan en tanques y se transportan a tierra para su regreso al proveedor, o para su disposición final por compañías debidamente autorizadas⁵. Por otro parte, los cortes de perforación base sintética, deben cumplir con las especificaciones estipuladas por la resolución 1016 del 7 de diciembre del 2012 para poder ser vertidos al mar. De no cumplir con la norma, estos cortes deben ser transportados a costa para hacer una disposición final a cargo de las autoridades competentes.

⁵ GUO, Boyun; LI jun; LIN Shuhua. Where do drill cutting go in offshore drilling. Artículo SPE 139466. Presentado en la Conferencia de Seguridad, Salud y Ambiente en Exploración y Producción. Houston, Texas. 2011.

4 IMPACTOS AMBIENTALES GENERADOS POR LA DISPOSICIÓN DE LOS CORTES Y LODOS DE PERFORACIÓN.

Para la identificación de los posibles impactos generados durante la actividad de disposición de cortes y lodos de perforación, la valoración se tuvo en cuenta en los efectos concebidos directamente a los medios biótico y abiótico, sin incluir los efectos relacionados con el medio socio – económico y cultural. En la figura 1, podemos identificar los componentes y los medios asociados a estos.

Figura 2. Identificación de los componentes y medios asociados a los posibles impactos ambientales generados por la disposición de cortes y lodos de perforación.



Fuente: Modificado de ANADARKO. Evaluación de Impactos ambientales Bloque Purple Angel. 2016.

Teniendo en cuenta la información suministrada por el gráfico 1, se determinó que los siguientes son los posibles impactos que pueden considerarse como significativos y potenciales para el medio.

Medio abiótico:

- ✓ Cambios en los niveles de la presión sonora.
- ✓ Cambios en la calidad del aire.
- ✓ Alteración fisicoquímica de la calidad del agua marina.
- ✓ Alteración fisicoquímica del fondo marino.

Medio biótico:

- ✓ Modificación en la estructura y funcionamiento de las comunidades planctónicas.
- ✓ Modificación en la estructura y funcionamiento de las comunidades bentónicas.
- ✓ Cambios en el comportamiento y distribución de las especies ícticas.
- ✓ Cambios en el comportamiento y distribución de mamíferos y tortugas marinas.
- ✓ Alteración por introducción de especies alóctonas.
- ✓ Alteración a las rutas de migración de las aves.

4.1 CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE LOS POSIBLES IMPACTOS AMBIENTALES GENERADOS.

El análisis de impactos que se generan a causa de la disposición de cortes y lodos de perforación, en cada uno de los componentes que conforman tanto el medio abiótico como biótico, se realiza bajo una valoración tanto cualitativa como cuantitativa teniendo como criterios de evaluación la probabilidad y la intensidad de ocurrencia de cada uno de los impactos propuestos. Esto, en base a información suministrada por la evaluación ambiental contenida en el plan de manejo ambiental de cada pozo de estudio.

4.1.1 Probabilidad. Para cada impacto se estimó la probabilidad de ocurrencia, la cual está definida como la posibilidad o certeza de que el impacto tenga lugar.

La probabilidad de ocurrencia se estableció en un rango numérico de la escala de 1 al 5, en donde el 1 corresponde a la probabilidad más baja (ocurrencia improbable) y el 5 a la más alta, en donde el impacto ocurrirá en un alto nivel de certeza (Tabla 8).

Tabla 8. Nivel de probabilidad de ocurrencia del impacto.

Clasificación	Escala
Prácticamente improbable que ocurra	1
Poco probable que ocurra	2
Es posible que ocurra	3
Bastante probable que ocurra	4
Ocurrirá con alto nivel de certeza	5

4.1.2 Intensidad. La intensidad se refiere al grado de incidencia de la acción sobre el medio ambiente. Evalúa en una escala de 1 a 5 la gravedad de los efectos de la alteración producida en los componentes ambientales del área.

La intensidad se estableció en un rango numérico de escala del 1 al 5, en donde el 1 corresponde a los efectos ambientales no significativos y el 5 a que el impacto afecta de manera significativa al entorno (Tabla 9).

Tabla 9. Nivel de intensidad del impacto.

Clasificación	Escala	Descripción
Muy baja	1	El impacto está presente pero el efecto en el componente ambiental es nulo.
Baja	2	Efectos ambientales no significativos. Las consecuencias del impacto son asimilados rápidamente y generan modificaciones mínimas sobre el medio o la comunidad (Sin consecuencias económicas)
Media	3	El efecto no es suficiente para poner en grave riesgo los recursos naturales o la comunidad, pues sólo se generan afectaciones o alteraciones moderadas en el entorno analizado; pérdida ambiental o económica mínima
Alta	4	El efecto genera un deterioro o alteración del ecosistema y/o la comunidad, puede haber pérdida/beneficio ambiental o económico intermedia
Muy alta	5	El impacto afecta de manera significativa o grave los ecosistemas o el entorno sociocultural o causa pérdidas/beneficios económicos significativas.

A continuación, se presenta una tabla de valoración en donde se puede evidenciar la calificación dada en cada uno de los criterios a evaluar (probabilidad e intensidad), Se tuvo en cuenta cada uno de los posibles impactos que pueden generarse a causa de la actividad de disposición de cortes y fluidos de perforación tanto para el medio abiótico (tabla 10) como para el medio biótico (tabla 11).

Tabla 10. Tabla de valoración asociada a los impactos generados en el medio abiótico por la disposición de cortes y fluidos de perforación de los 6 pozos de estudio

Pozo	Criterio de valoración	Impacto ambiental					
		Medio					
		Abiótico					
		Cambios en los niveles de la presión sonora	Cambios en la calidad del aire	Alteración fisicoquímica de la calidad del agua debido a los cortes de perforación	Alteración fisicoquímica de la calidad del agua debido a los fluidos de perforación	Alteración fisicoquímica del fondo marino debido a los cortes de perforación	Alteración fisicoquímica del fondo marino debido a los fluidos de perforación
Calasú 1	Probabilidad	1	1	5	5	5	5
	Intensidad	1	1	3	3	3	2
Kronos 1	Probabilidad	1	1	5	5	5	5
	Intensidad	1	1	3	3	3	2
Gorgón A	Probabilidad	1	1	5	5	5	5
	Intensidad	1	1	2	2	2	2
Purple Angel C	Probabilidad	1	1	5	5	5	5
	Intensidad	1	1	2	2	2	2
Orca 1	Probabilidad	1	1	5	5	5	5
	Intensidad	1	1	2	2	2	2
Mapalé 2	Probabilidad	1	1	5	5	5	5
	Intensidad	1	1	3	3	3	3

Tabla 11. Tabla de valoración asociada a los impactos generados en el medio biótico por la disposición de cortes y fluidos de perforación de los 6 pozos de estudio

Pozo	Criterio de valoración	Impacto					
		Medio					
		Biótico					
		Modificación en la estructura y funcionamiento de las comunidades planctónicas	Modificación en la estructura y funcionamiento de las comunidades bentónicas	Cambios en el comportamiento y distribución de las especies ícticas	Cambios en el comportamiento y distribución de mamíferos y tortugas marinas	Alteración por introducción de especies alóctonas	Alteración a las rutas de migración de las aves
Calasú 1	Probabilidad	5	5	5	2	1	1
	Intensidad	2	5	2	1	1	1
Kronos 1	Probabilidad	5	5	5	2	1	1
	Intensidad	2	5	2	1	1	1
Gorgón A	Probabilidad	2	5	2	2	1	1
	Intensidad	2	5	2	1	1	1
Purple Angel C	Probabilidad	2	5	2	2	1	1
	Intensidad	2	5	2	1	1	1
Orca 1	Probabilidad	3	5	3	2	1	1
	Intensidad	2	4	2	1	1	1
Mapalé 2	Probabilidad	5	5	3	2	1	1
	Intensidad	2	4	2	1	1	1

A continuación, se presenta una explicación de cómo es la afectación en cada uno de los posibles impactos que pueden ser ocasionados por la actividad de disposición de fluidos y cortes de perforación en cada componente del medio abiótico y biótico.

4.2 MEDIO ABIÓTICO.

4.2.1 Cambio en los niveles de la presión sonora. Durante las fases de movilización, perforación, abandono y desmovilización, se presentan incrementos en la presión sonora del aire debido a las maniobras de posicionamiento y perforación del buque de perforación, el tráfico de embarcaciones de apoyo y de otro tipo de embarcaciones por la zona y por las pruebas de sísmica.

El ruido que genera los motores de las embarcaciones es molesto para los oídos de los trabajadores y personal que están cerca del punto de perforación y durante el tránsito de las embarcaciones de apoyo. La exposición al ruido excesivo puede causar perturbación, estrés, problemas estomacales y daños irreparables de la audición.

Es por esto, que el impacto sobre los cambios en los niveles de la presión sonora debido al vertimiento de cortes y lodos de perforación, se considera como prácticamente improbable que ocurra y de una intensidad nula en todos los casos de estudio.

4.2.2 Cambios en la calidad del aire. Durante las etapas movilización, posicionamiento, perforación, abandono y desmantelamiento de pozo, se producen algunas emisiones atmosféricas generadas por las plataformas de perforación, uso de tea, uso de helicópteros y embarcaciones de apoyo.

La emisión de gases contaminantes proviene del uso de motores, generadores, calentadores y demás maquinaria necesario para la perforación. Algunos de los

componentes más importantes de estas emisiones incluyen, contaminantes fotoquímicos, dióxido de carbono, vapor de agua, óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre, metano y compuestos orgánicos volátiles.

Por esta razón, el impacto sobre la calidad del aire debido al vertimiento de cortes y fluidos de perforación es considerado como prácticamente improbable que ocurra y con una intensidad nula en todos los casos de estudio.

4.2.3 Alteración fisicoquímica de la calidad del agua marina. La disposición de cortes y lodos de perforación tiene relación directa sobre la alteración fisicoquímica de la calidad del agua. Las partículas provenientes de los fluidos base agua y cortes impregnados con este mismo fluido, son disueltas en el sedimento y en la capa de agua inmediatamente por encima del punto de perforación (en el caso de los pozos en donde sus primeras secciones son perforadas sin riser), lo que ocasiona modificaciones en las características fisicoquímica del agua, como pueden ser la turbidez, la transparencia, la densidad, el PH, entre otros.

Estos cambios fisicoquímicos son causados gracias al aporte de contaminantes provenientes de los aditivos químicos del lodo o por la geología misma del fondo del pozo⁶.

Las partículas finas de los lodos base agua se asientan lentamente. Sin embargo, estas partículas interactúan con el agua de mar y la materia orgánica formando copos, esto incrementa la velocidad de asentamiento permitiendo retener el material cerca del punto de descarga impidiendo su dispersión⁷ (en el caso de los pozos en donde se hace uso del riser, y el vertimiento de los residuos está definido en un punto de descarga específico en la columna de agua). De esta manera, las características de la columna de agua alrededor del pozo se ven afectadas medianamente por la descarga de lodos base agua y todo el material que los

⁶ Buchanan *et al.*, 2003.

⁷ Muschenheim y Milligan, 1996.

componen (metales pesados, hidrocarburos, barita, anticorrosivos, biosidas, etc.) tienen un mayor efecto sobre el sedimento que sobre la masa de agua.

Por otra parte, luego de que los cortes de perforación pasan por el proceso de control de sólidos y cumplen con la normatividad de los límites de contaminantes, estos son vertidos en el agua en donde se sedimentan en el fondo marino. Por consiguiente, las partículas más pesadas se depositan en las zonas más cercanas al punto de perforación, mientras las partículas más livianas se asientan a distancias más alejadas del punto de emisión. Estos cortes están compuestos por los desechos proveniente de los fluidos base sintética, barita, metales, hidrocarburos en muy baja concentración, etc.; que al entrar en el ambiente modifican las características de la masa oceánica.

El cambio en las características físico químicas de la columna de agua se hace más evidente en los primeros metros de vertimiento en donde se espera que la capacidad de dilución del agua amortigüe la entrada de los cortes y de esta manera permitir la recuperación del sistema de una forma casi inmediata.

Varios estudios de campo han demostrado que los cortes descargados al océano se diluyen rápidamente, en áreas con velocidades de corrientes altas se pueden encontrar diluciones de hasta 10000 veces a tan sólo 100 m de la plataforma⁸.

4.2.4 Alteración fisicoquímica del fondo marino. En cuanto a la disposición de cortes de perforación en el fondo marino, en el caso que son vertidos inmediatamente después de la perforación de una sección de pozo (cuando no se usa riser), estos se acumulan alrededor del pozo formando una circunferencia y alcanzando una extensión máxima de las partículas con un respectivo espesor. La descarga de lodos base agua, puede enriquecer los sedimentos levemente con metales pesados tales como bario, arsénico, cadmio, cobre, mercurio, plomo, y zinc, y en ocasiones, la distancia de dispersión puede aumentar dependiendo de los

⁸ Houghton *et al.*, 1980.

volúmenes de lodo y las condiciones ambientales tales como la profundidad del agua, y la velocidad y dirección de la corriente de agua.

Cuando los desechos son vertidos a una profundidad determinada por debajo de la superficie, se espera que la capacidad de dilución de los fluidos disminuya las concentraciones de los metales pesados, y al llegar estos al lecho marino, el impacto no alcance niveles de intensidad altos para el medio.

En cuanto a la descarga de los cortes, las partículas más pesadas sedimentan cerca al punto de descarga y pueden formar una pila en el fondo⁹. Estos cortes generan cambios en las características físicas y químicas de los sedimentos donde son depositados y reflejan la geoquímica de la formación que está siendo taladrada y la cantidad de aditamentos de los lodos de perforación añadidos a los cortes en el momento de la descarga¹⁰.

Esta actividad tiene un efecto directo e inmediato sobre la calidad fisicoquímica del fondo marino. Es por esto que se considera que la probabilidad de ocurrencia se encuentre en un alto nivel de certeza, y su intensidad varíe de baja a media, para todos los casos de estudio.

4.3 MEDIO BIÓTICO.

4.3.1 Modificación en la estructura y funcionamiento de las comunidades planctónicas. Las descargas operativas permitidas durante la perforación exploratoria corresponden a fluidos base agua y cortes de perforación impregnados con estos y cortes de perforación impregnados con fluido de base no acuosa, que

⁹ Buchanan, 2003).

¹⁰ Neff, 2010

aumentan la turbidez en el área inmediata de la actividad de perforación durante un corto tiempo.

Las descargas de fluidos y cortes de perforación provocan un aumento en las concentraciones de material particulado suspendido en la columna de agua¹¹. No obstante, los organismos en la columna de agua están en bajo riesgo de daño debido a los vertimientos de la perforación¹².

La afectación de la cantidad de luz en la columna de agua, podría afectar la producción primaria del fitoplancton y por consiguiente al zooplancton, que se alimenta del mismo. Una vez vertidos al mar, estos cortes comienzan a perder concentración debido a la difusión turbulenta, siendo este un mecanismo propiamente físico. A mayor turbulencia mayor será el proceso de difusión. El enturbiamiento cerca de la fuente de vertimiento dificulta la penetración de la luz, alterando así el proceso biológico de fotosíntesis realizado por las comunidades fitoplanctónicas¹³, lo que ocasiona una posible mortandad masiva, dada la baja capacidad de desplazamiento de estas especies.

Los fluidos y cortes de perforación tienen un corto tiempo de residencia, se asientan rápidamente a través de la columna de agua y se acumulan en el lecho marino cerca del sitio del vertimiento¹⁴.

De acuerdo a lo anterior, se puede decir que el vertimiento de cortes y fluidos de perforación en la columna de agua, ocurre en un alto nivel de certeza en la actividad de perforación de un pozo exploratorio, pero teniendo en cuenta la capacidad de recuperabilidad de esta comunidad, no se considera como un impacto de gran magnitud la modificación en la estructura y funcionamiento de las comunidades planctónicas.

¹¹ Smit et al. (2006).

¹² (OGP, 2005).

¹³ (ERM, 2009)

¹⁴ (Neff et al., 2000; NRC, 1983).

4.3.2 Modificación en la estructura y funcionamiento de las comunidades bentónicas. La comunidad bentónica se ve afectada desde el inicio de la perforación de un pozo, ya que en el preciso instante que la broca inicia su proceso de excavación, el lecho marino sufre afectaciones significativas. Adicionalmente, en más del 50% de los pozos de estudio en las primeras secciones de perforación no se hizo uso del riser, por tal motivo y como se explica en el capítulo 3 (tratamiento y disposición de lodos y cortes de perforación), los fluidos y cortes de perforación se vierten directamente en el lecho marino, causando así un cambio inmediato en la calidad de los sedimentos y en las comunidades bentónicas.

Los lodos y cortes que son vertidos en las inmediaciones del hueco perforado, afecta de manera localizada e inmediata los sedimentos causando la modificación en su composición granulométrica y de igual forma, aumentando la concentración de metales e hidrocarburos, concentración de barita y bentonita debido a la presencia de lodos ocasionando la ausencia de oxígeno, lo cual genera el enterramiento y en la mayoría de los casos la muerte directa o por asfixia.

La dispersión de los fluidos de perforación en el fondo marino genera efectos directos de fuga y evasión¹⁵, o indirectos asociados a los contaminantes presentes en los fluidos que se pueden bioacumular en la cadena trófica, produciendo un debilitamiento o muerte de los organismos que se encuentran en los niveles más bajos de la cadena. Estos fluidos podrían incrementar la concentración de hidrocarburos alrededor de una plataforma hasta 10.000 veces la concentración natural¹⁶.

No obstante, Los lodos base agua tienen mayor capacidad de dispersión comparados con los lodos de base sintética, debido a que las gravas de estos últimos se agrupan formando partículas mayores que se precipitan mucho más

¹⁵ Rogers, 1999.

¹⁶ Breuer *et al.*, 2004.

rápido¹⁷. Por el contrario, los lodos base agua debido a su solubilidad y bajo las condiciones hidrodinámicas del ambiente marino, tienen una rápida biodegradación y dispersión, lo que genera una importante disminución de las concentraciones de las sustancias químicas que están presentes en su composición¹⁸. Generalmente los metales provenientes de los fluidos base agua no se bioacumulan a niveles peligrosos en las cadenas tróficas marinas, debido a que estos se caracterizan por ser altamente ecológicos, de baja toxicidad y con consecuencias mínimas sobre el ambiente.

Dado lo anterior, se considera que la dispersión de cortes y lodos de perforación tanto en la columna de agua como en el lecho marino, es una actividad que ocurre en un alto nivel de certeza, afectando en gran magnitud la comunidad bentónica.

4.3.3 Cambios en el comportamiento y distribución de las especies ícticas. La disposición de cortes en la columna de agua genera una dispersión de partículas por el cual ocasiona una alteración en las comunidades de peces, cerca de la pluma de sedimentación. Sin embargo, estas alteraciones tienen un efecto transitorio en donde se espera que el medio retorne a sus condiciones iniciales a corto plazo.

De igual forma, asociados a los cortes de perforación se pueden encontrar lodos de perforación, los cuales contienen aditivos que generan modificaciones en la composición química de la zona adyacente al lugar de disposición, ocasionando afectaciones en las comunidades de peces bentónicos.

Dependiendo del grosor de las partículas, estas pueden suspenderse en la columna de agua cerca al sedimento, lo que podría obstruir los conductos u órganos de respiración en organismos de tamaño pequeño (zooplancton y peces pelágicos)¹⁹. A pesar de lo anteriormente dicho, en estudios de laboratorio realizados con peces

¹⁷ Delvigne, 1996.

¹⁸ National Reserch Council, 1983; Neff, 1987; Hindwood *et al.*, 1994.

¹⁹ Patin, 1999.

bentónicos expuestos a cortes de perforación en el mar del Norte, no fueron identificados alteraciones físicas atribuidas a estos componentes²⁰.

Por lo anterior, se considera que la disposición de cortes en la columna de agua y en el fondo marino, tiene una intensidad de afectación baja, ya que los efectos ambientales no son significativos, pues hay que tener en cuenta que, por su tamaño, los peces tienen la capacidad de alejarse, por si solos, de las fuentes de vertimiento para evitar el contacto.

4.3.4 Cambios en el comportamiento y distribución de mamíferos y tortugas marinas. Posiblemente la disposición de cortes y fluidos de perforación no afecte directamente el comportamiento y la distribución de las comunidades de mamíferos y quelonios, sin embargo, esta actividad, como ya se mencionó anteriormente, afecta de manera directa el comportamiento de otras especies marinas (peces, plancton, etc.,) el cual hacen parte de la cadena alimenticia de los mamíferos.

El proceso de perforación de un pozo, tiene un efecto directo con las comunidades de mamíferos principalmente por el funcionamiento de equipos y taladro, ya que son actividades que generan mucho ruido, así mismo, el tránsito de embarcaciones genera un incremento en la presión sonora dentro de su operación normal.

La presencia de la embarcación de perforación y las embarcaciones de apoyo, afecta a los mamíferos marinos significativamente, ya que ellos hacen uso del sonido para realizar sus actividades rutinarias como localizar a sus presas, detectar las señales emitidas por los individuos de su especie, para comunicarse con sus crías, navegar, entre otros. Todas estas afectaciones requieren de una gran atención, ya que perturba los ciclos reproductivos de los mamíferos, sus actividades de migración y alimentación, lesiones y posible riesgo de mortalidad²¹.

²⁰ Stagg y McIntosh 1996.

²¹ Gordon et al., 2004; Miller et al., 2009; Michael et al., 2010.

Por otra parte, los quelonios no son sensibles al ruido ya que carecen del oído medio. Sin embargo, la luz presente en los buques de perforación y embarcaciones de apoyo, genera cambios en las rutas de migración²².

Es por esto, que los impactos generados en las comunidades de mamíferos y quelonios, no se están directamente relacionados con la actividad de disposición de cortes y fluidos de perforación y por esa razón se califica como impacto de intensidad baja y probabilidad prácticamente nula.

4.3.5 Alteración por introducción de especies alóctonas. La introducción de estas especies es uno de los principales factores que amenaza la biodiversidad en ambientes marinos y costeros. El incremento de comercio en grandes buques, los cuales transportan organismos asociados (fauna incrustante) o en sus aguas de lastre y sedimentos, constituyen un riesgo potencial para la fauna marina autóctona.

Estas especies que se trasladan de un área a otra se denominan especies introducidas o alóctonas. Algunas de estas especies se denominan especies invasoras, ya que pueden llegar a convertirse en una amenaza para la biodiversidad.

Teniendo en cuenta lo anterior, podemos afirmar que la actividad de vertimiento de cortes y lodos de perforación no afecta este la introducción de especies alóctonas, pues como se mencionó, estas especies son generadas gracias al transporte de buques u otras actividades que las incluyan.

4.3.6 Alteración a las rutas de migración de las aves. Los patrones de distribución y abundancia de las aves pueden ser influenciados por el tráfico marítimo, la iluminación artificial y la presencia de grandes estructuras mar adentro como las plataformas de extracción de gas y petróleo (buque de perforación)²³.

²² Witherington y Martin, 2003.

²³ Wilson et al. 2003; Wiese et al. 2001; Carter, 2003.

Comportamientos de este tipo se han registrado en el Mar del Norte, el Mar de Bering y en los Grandes Bancos, observando una mayor densidad de aves a menos de 500 m de una de estas plataformas que en aguas circundantes²⁴.

Aunque no todos los bloques se contemplan como paso obligado de las aves en sus recorridos migratorios, si se espera que las embarcaciones y plataforma marinas permitan lugares de percha durante algún recorrido²⁵, de igual forma, les genera zonas de alimentación, ya que pueden buscar las presas como los peces que se agrupan en torno a la embarcación. No obstante, la presencia de luces, especialmente en condiciones de niebla y el vuelo alrededor de las instalaciones les consumiría energía y podría retrasar su forraje o migración²⁶.

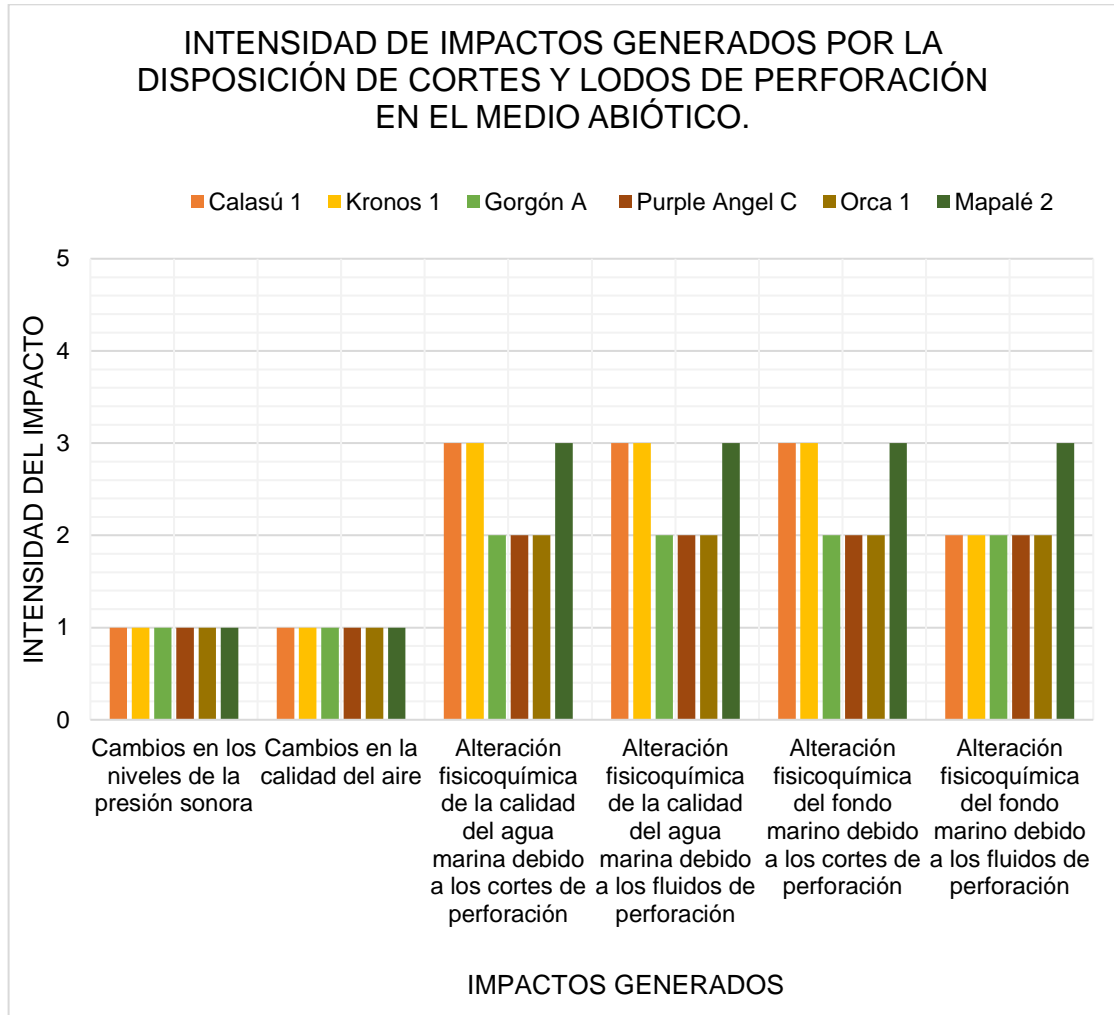
Partiendo de estos hechos, se considera que la disposición de cortes y fluidos de perforación no tienen ninguna alteración en las rutas de migración de las aves.

²⁴ Tasker *et al.*, 1986.

²⁵ Márquez y López – Victoria, 2010; Sultanov y Gyuris, 2003; Wilson *et al.*, 2003.

²⁶ Avery *et al.*, 1978; Bourne, 1979; Sage, 1979; Wood, 1999

Figura 3. Intensidad de los posibles impactos generados en el medio abiótico

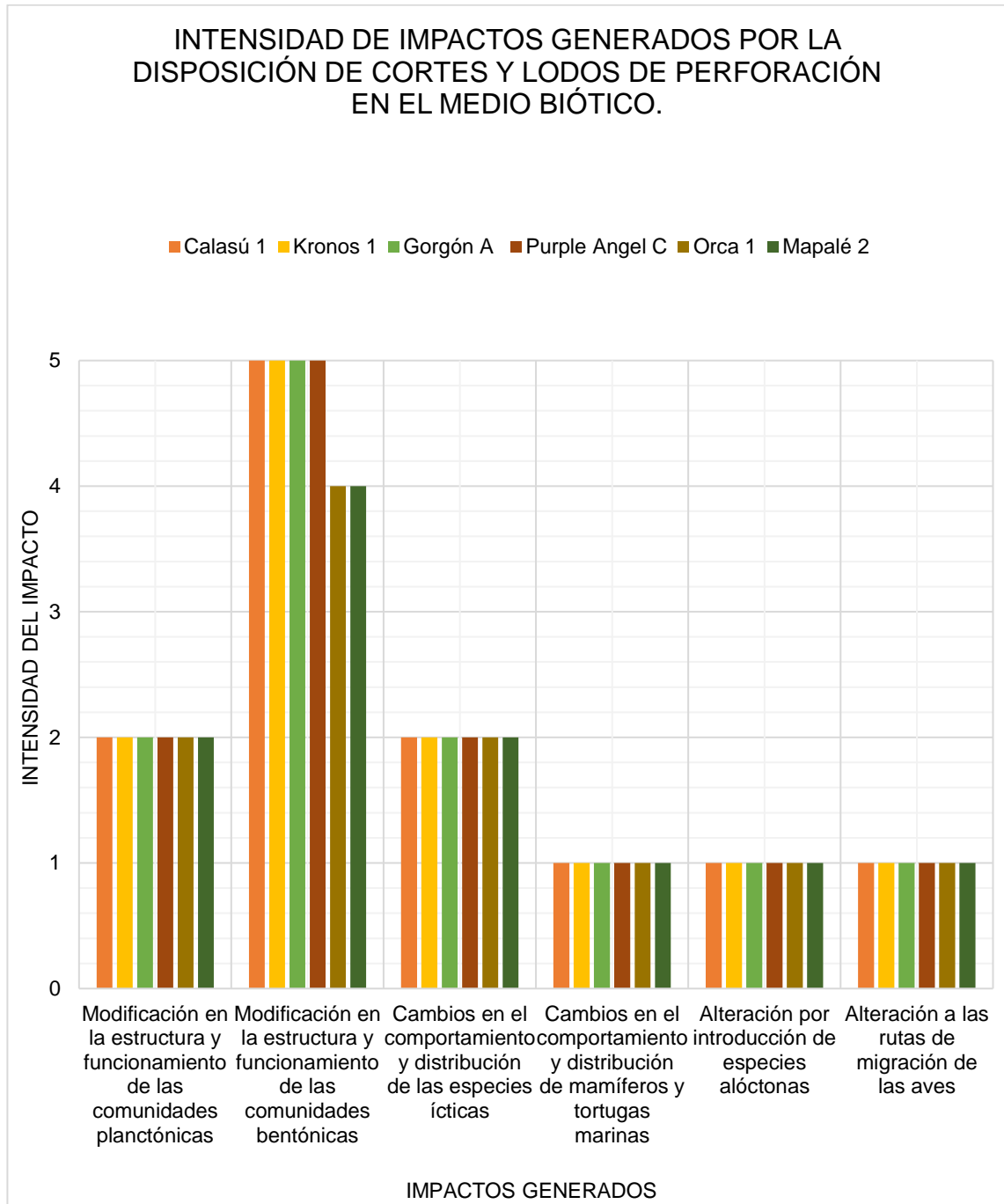


La figura 3 muestra un comparativo en la intensidad en que se impacta cada uno de los diferentes escenarios presentes en el medio abiótico en cada uno de los casos de estudio. De acuerdo a los resultados generados por la figura anterior, se puede evidenciar que la intensidad de los impactos en el peor de los casos se encuentra en una escala media (3), pues el efecto no es suficiente para poner en grave riesgo los recursos naturales o las comunidades marinas. Solo se generan alteraciones moderadas en el entorno y la pérdida ambiental es mínima.

Los componentes del medio que se ven mayormente afectados por el vertimiento de cortes y fluidos de perforación son el agua y el fondo marino el cual sufren

alteraciones fisicoquímicas. Estas alteraciones, como ya se explicó anteriormente se generan porque al realizar el vertimiento de los desechos de perforación, estos tienen un contacto directo tanto con la masa de agua como con los sedimentos que se encuentran en el fondo del mar. Al realizar el vertimiento de los fluidos de perforación, las sustancias que lo componen reaccionan con las partículas de agua generando cambios en la composición de la misma. Ahora, al verter los cortes de perforación, también surgirán cambios en la composición de los sedimentos, debido a las concentraciones de lodo, lo que hace que todos los aditivos químicos que lo conforman (metales pesados, barita, bentonita, etc..) cambie la composición en los sedimentos.

Figura 4. Intensidad de los posibles impactos generados en el medio biótico



En la figura 4 encontramos un comparativo de la intensidad en que se impacta cada uno de los diferentes escenarios presentes en el medio abiótico en cada uno de los pozos de estudio. En el gráfico de barras podemos identificar que las comunidades

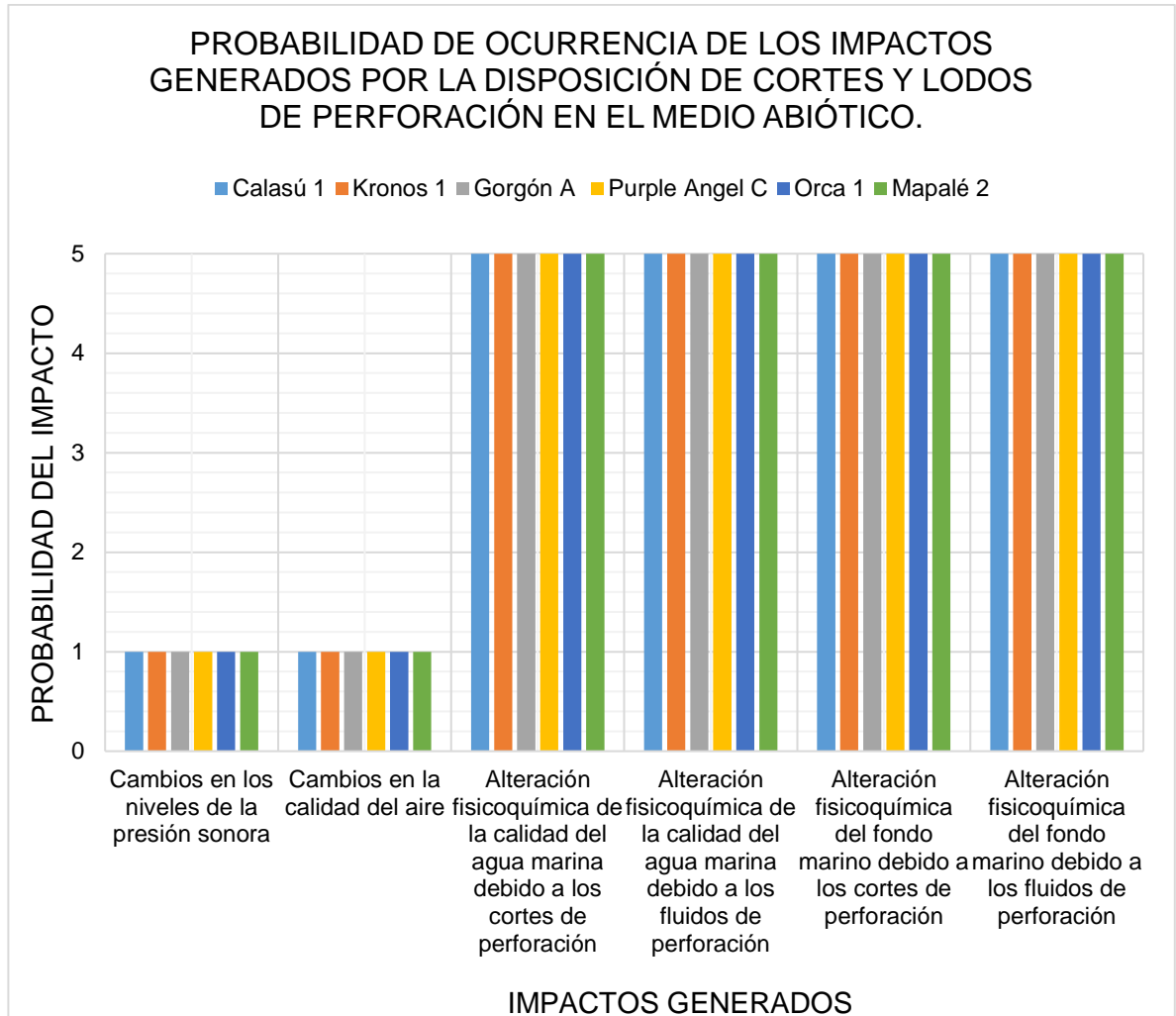
bentónicas son las que se afectan en una mayor intensidad. Cabe resaltar, que desde el inicio de la perforación, esta comunidad se ve perjudicada inmediatamente, ya que su hábitat es deteriorado de una forma directa, cambiando la estructura en los sedimentos y demás elementos que lo componen.

Los pozos Calasú 1, Kronos 1, Gorgón A y Purple Angel C arrojaron los resultados más críticos. Este hecho parte de que estos pozos tienen una configuración en el inicio de su estado mecánico similar, ya que las primeras secciones son perforadas sin riser. Esto ocasiona que todos los cortes que se generan a partir de la perforación en estos intervalos, sean depositados directamente alrededor del punto de perforación ocasionando una alteración de los sedimentos debido al almacenamiento directo que se realiza sobre la superficie del fondo.

Los cortes de perforación que se encuentran almacenados muy cerca del punto de perforación, cubren los sedimentos superficiales y cambian su composición granulométrica aumentando las concentraciones de metales e hidrocarburo, de barita y bentonita (componentes que provienen de los fluidos de perforación), por lo cual se genera condiciones anóxicas, aumentando el hábitat de los organismos bentónicos que podrían ser enterrados causándole la muerte directa o por asfixia como resultado de las alteraciones físicas de su entorno.

Es por esta razón, que la modificación en la estructura y el comportamiento de las comunidades bentónicas se considera el componente con mayor intensidad de afectación comparado con otros componentes.

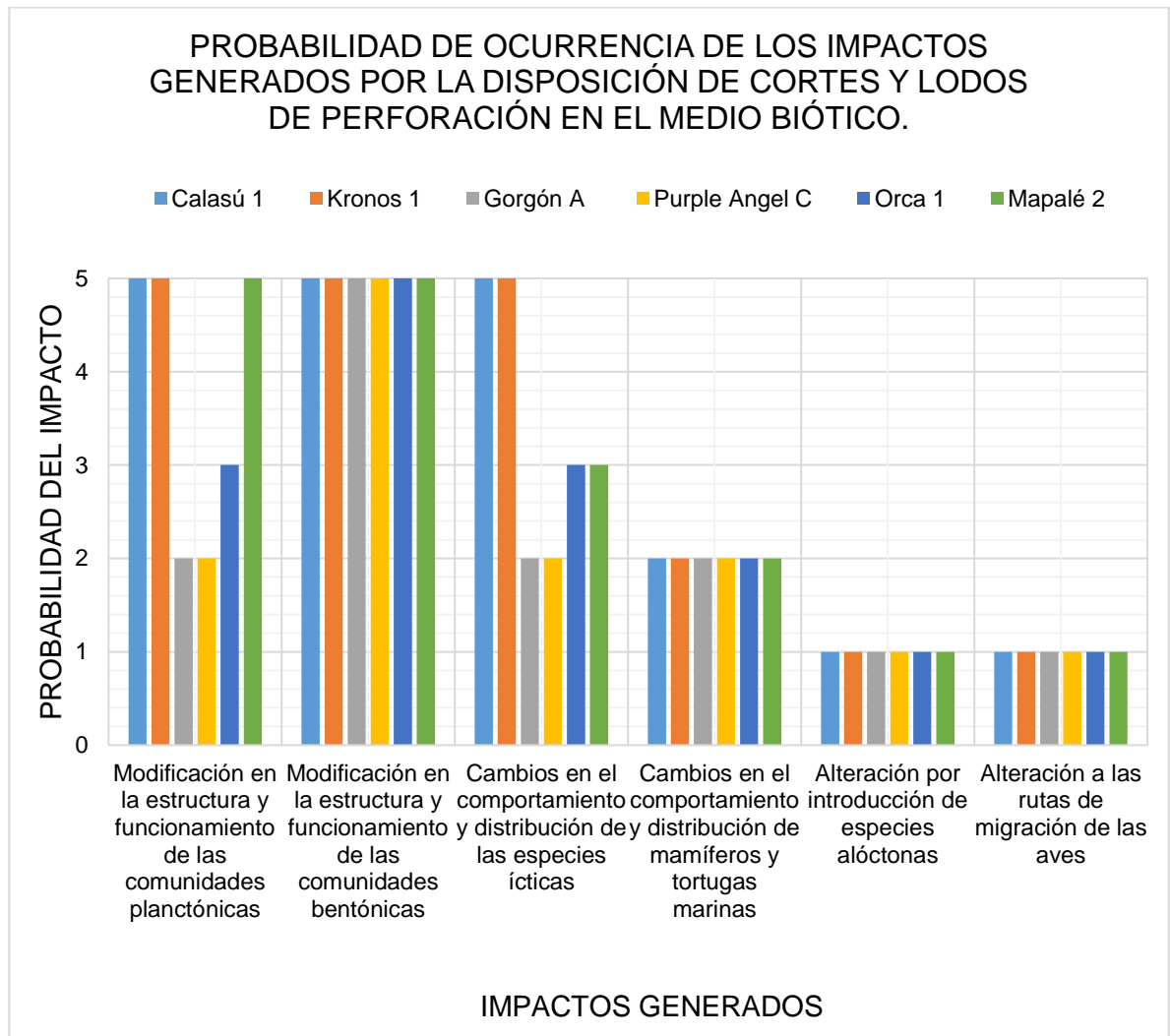
Figura 5. Probabilidad de ocurrencia de los posibles impactos generados en el medio abiótico



En la figura 5, se observa el comparativo de la probabilidad de ocurrencia de los posibles impactos causados por la disposición de cortes y fluidos de perforación en los diferentes casos de estudio en el medio abiótico. Se considera que los componentes que se ven afectados en mayor nivel de certeza por esta actividad, son los directamente relacionados con la calidad del agua marina, y con el fondo marino. Esto se debe a que cuando se hace el vertimiento de los residuos de perforación, estos entran directamente en contacto con el agua, causando que se

presenten cambios inmediatos en las características fisicoquímicas tanto de la masa de agua como del fondo marino.

Figura 6. Probabilidad de ocurrencia de los posibles impactos generados en el medio biótico



La figura 6 muestra el comparativo de la probabilidad de ocurrencia en la que se generan los posibles impactos causados por la disposición de cortes y fluidos de perforación en los diferentes casos de estudio en el medio abiótico.

En este escenario podemos observar que las comunidades que se ven afectadas en mayor nivel de ocurrencia por esta actividad son las comunidades de organismos planctónicos, las comunidades de especies ícticas (peces) y las comunidades bentónicas. Esto se debe a que son comunidades en donde su hábitat es la masa de agua y el lecho marino, y que, en las actividades de disposición de los desechos de perforación se ven afectadas directamente. La probabilidad de que ocurra es muy alta, pues en todos los programas de perforación de un pozo en el mar, se debe dar un destino a los residuos generados de la perforación. En este caso, los fluidos base agua y los cortes de perforación impregnados por los mismos, y los cortes de perforación impregnados por fluidos de base sintética son vertidos en la columna de agua como se explica con mayor detalle en el capítulo 3.

5 ANÁLISIS DE VERTIMIENTO DE FLUIDOS Y CORTES DE PERFORACIÓN EN EL CARIBE COLOMBIANO.

Como ya se explicó en la sección 3 del presente documento, los fluidos de perforación base agua (WBM) y cortes de perforación impregnados con lodo base agua son desechados directamente al lecho marino. Los lodos base sintética (SBM) y los cortes impregnados por este mismo lodo, se les realiza un proceso diferente para su vertimiento o destino final. Los SBM son reutilizados el mayor tiempo posible y entregados a empresas encargadas para su disposición final, por otro lado, los cortes impregnados por SBM, deben estar bajo las especificaciones dadas por la resolución 1016 del 7 de diciembre del 2012 para proceder con su vertimiento.

Para el análisis del vertimiento de lodos y cortes de perforación en el Caribe Colombiano, se seleccionaron los siguientes criterios de comparación como:

- Área y extensión máxima de dispersión de los cortes y fluidos de perforación.
- Velocidad de las corrientes oceánicas.

5.1 ÁREA Y EXTENSIÓN MÁXIMA DE DISPERSIÓN DE LOS CORTES Y FLUIDOS DE PERFORACIÓN.

El área máxima de dispersión está definida como la superficie abarcada por los cortes y lodos sedimentados en el lecho marino alrededor del pozo perforado, considerando un espesor de 1 mm de capa de sedimentos depositados. Mientras que, la extensión máxima de dispersión, está descrita como la distancia lineal máxima alcanzada por el recorrido de fluidos y cortes de perforación depositados en el lecho marino formando una capa de sedimentos de 1 mm de espesor. Este valor de referencia se toma teniendo en cuenta el tamaño de un macroplankton el

cual es considerado de aproximadamente 1 mm de tamaño²⁷. Se consideran 2 escenarios de estudio. Estos escenarios fueron escogidos en base a los estudios de simulación de dispersión de cortes y lodos de perforación realizados por cada una de las empresas que opera cada pozo de estudio. El escenario 1 corresponde a la época seca, y el escenario 2 corresponde a la época de lluvia.

Basados en la información técnica obtenida por las empresas que operan los pozos de estudio, se proporciona la siguiente tabla comparativa en donde se puede observar el área de influencia expresada en hectáreas (ha) y la máxima extensión expresada en metros (m) alcanzada por los sedimentos en cada uno de los pozos.

Tabla 12. Información del área de influencia y extensión máxima alcanzada por los cortes y lodos de perforación vertidos en el lecho marino

Nombre pozo	Espesor considerado: 1 mm			
	Área de influencia (ha)		Máxima extensión (m)	
	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 1	Escenario 2
Orca 1	60	100	600	1200
Kronos 1	46,55	45,76	467	587
Purple Angel C	36,89	41,05	556	700
Calasú 1	85,87	76,63	820	495
Gorgón A	37,09	33,01	677	465
Mapalé 2*	-	-	-	-

Fuente: Modificado de RPS GROUP. Drilling Discharges Modeling. (USA, 2014-2016). p.11-21

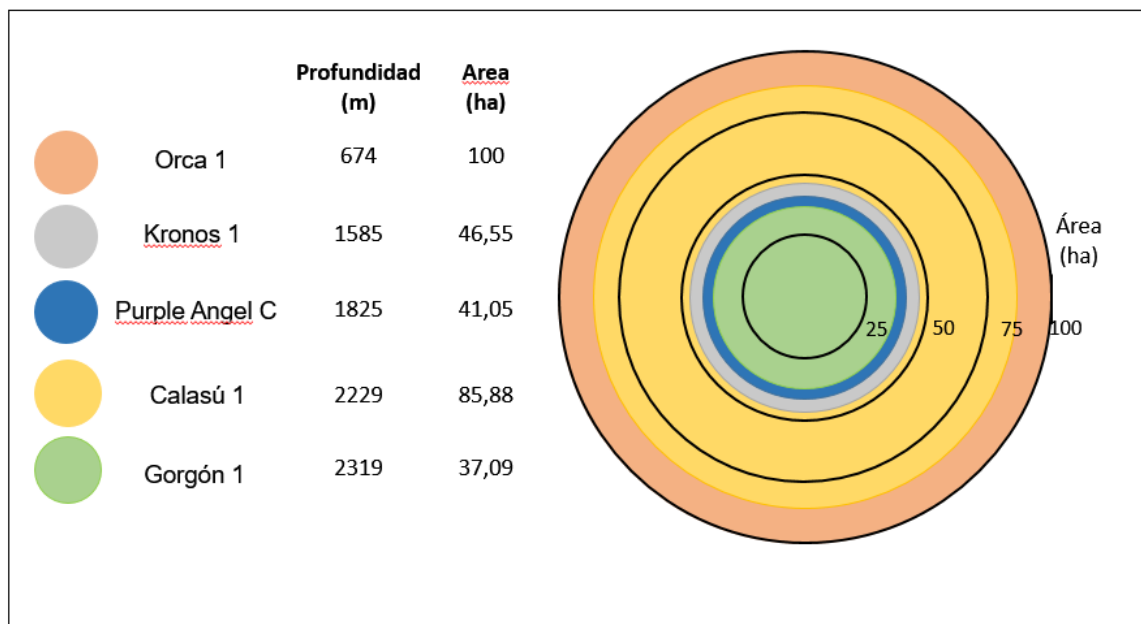
²⁷ Breis, F. B. Diccionario de ciencias naturales y términos afines. Editora Regional de Murcia, 1982, p. 185.

*: No se tiene información

Como se observa en la tabla 12, las casillas señaladas con color rojo hacen referencia a los escenarios más críticos respecto al área de influencia, y en las casillas de color amarillo se resaltan los escenarios más críticos para la extensión máxima alcanzada por los residuos (cortes y lodos de perforación).

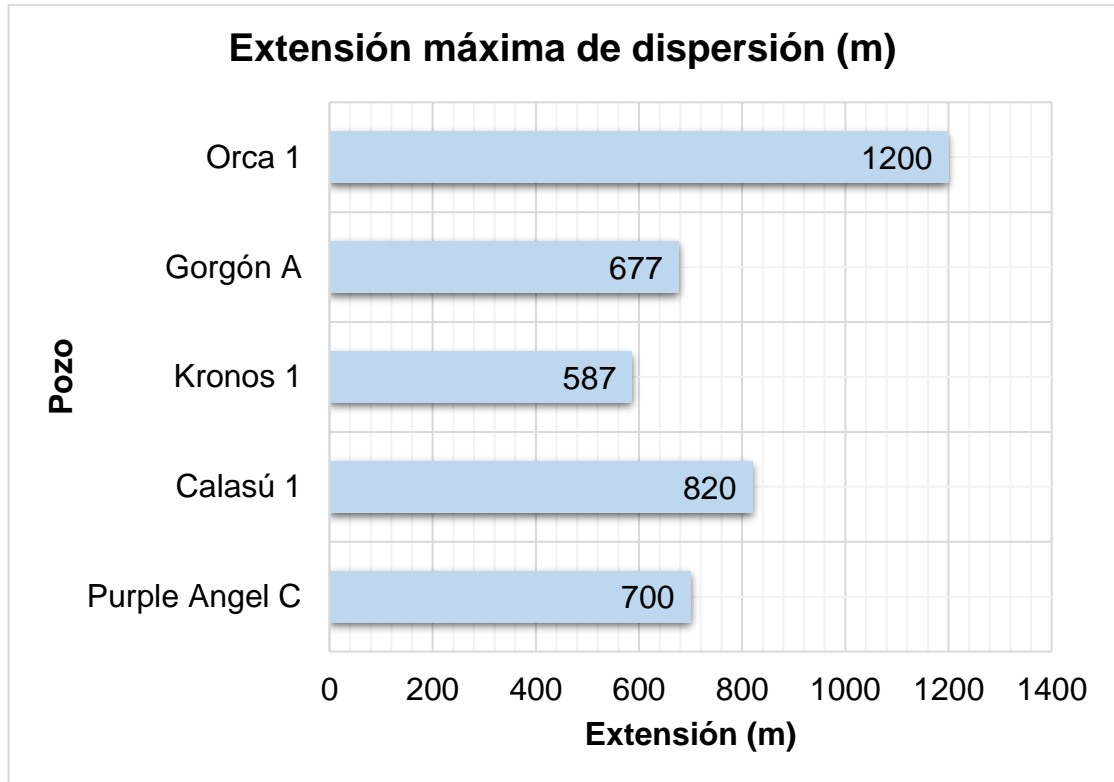
Con los datos proporcionados por la tabla anterior, se genera la figura 7 y 8 considerando los escenarios más críticos en cada caso de estudio.

Figura 7. Área de dispersión máxima en el escenario más crítico para cada caso de estudio



Fuente: RPS GROUP. Drilling Discharges Modeling. (USA, 2014-2016). p.11-21

Figura 8. Extensión máxima de dispersión en el escenario más crítico para cada caso de estudio



En la figura 7 podemos observar que el pozo exploratorio que tiene mayor área de influencia es el pozo Orca 1, el cual abarca 100 hectáreas para el escenario más crítico (época de lluvia). Por el contrario, el pozo exploratorio con menor área de influencia es el pozo Gorgón A, pues cuenta con un área máxima de 37,0988 hectáreas en el escenario más crítico (época seca). Cabe resaltar que, aunque la representación gráfica de las áreas sea circular, el comportamiento real de estas es irregular.

En la figura 8, se puede apreciar que la extensión máxima abarcada por los sedimentos vertidos en el lecho marino corresponde al pozo Orca 1 alcanzando los 1200 metros para el escenario más crítico que en este caso es la época de lluvia. Mientras que en el pozo exploratorio Kronos 1 se alcanza una extensión máxima de 587 metros para el escenario más crítico que es la época de lluvia.

Para un mejor análisis, se proporcionan las figuras 9 y 10 en donde se puede apreciar la tendencia en el comportamiento del área y extensión máxima que alcanzan los cortes y lodos al ser vertidos respecto a la profundidad de la columna de agua de los pozos exploratorios tomados para el presente estudio.

Figura 9. Representación gráfica de la relación de la profundidad de la lámina de agua respecto al área de influencia

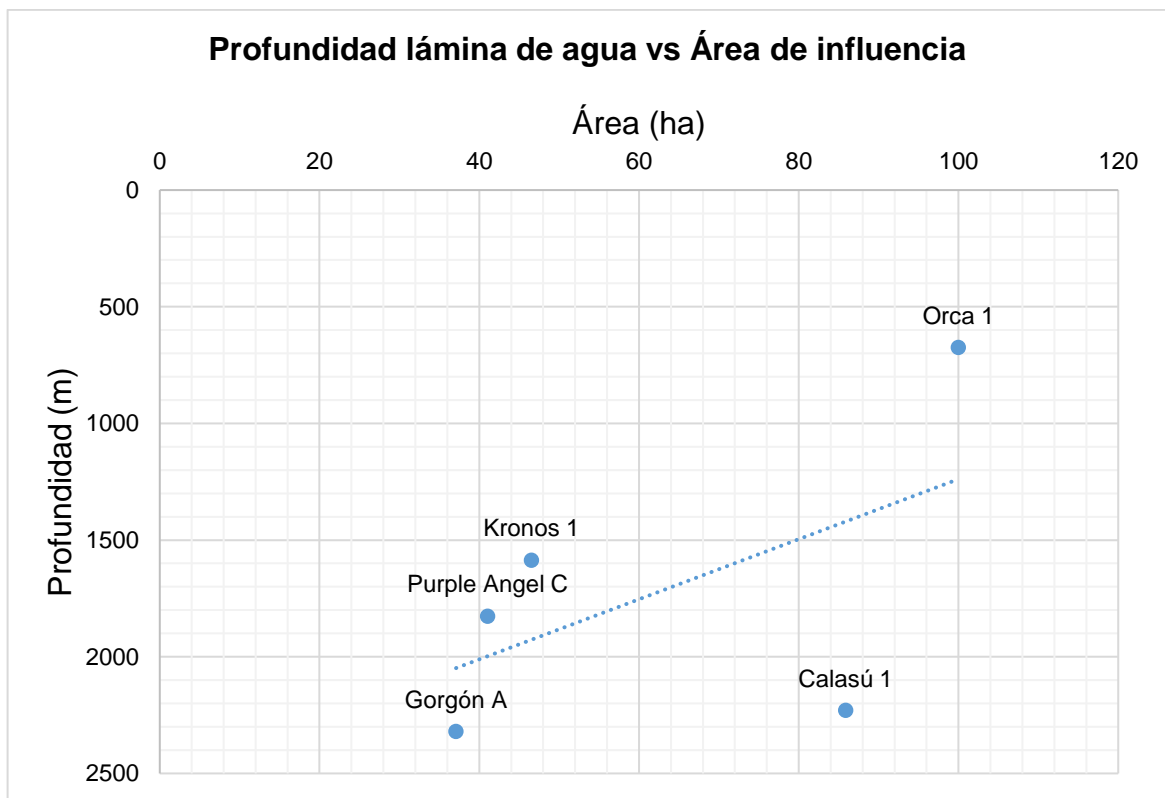
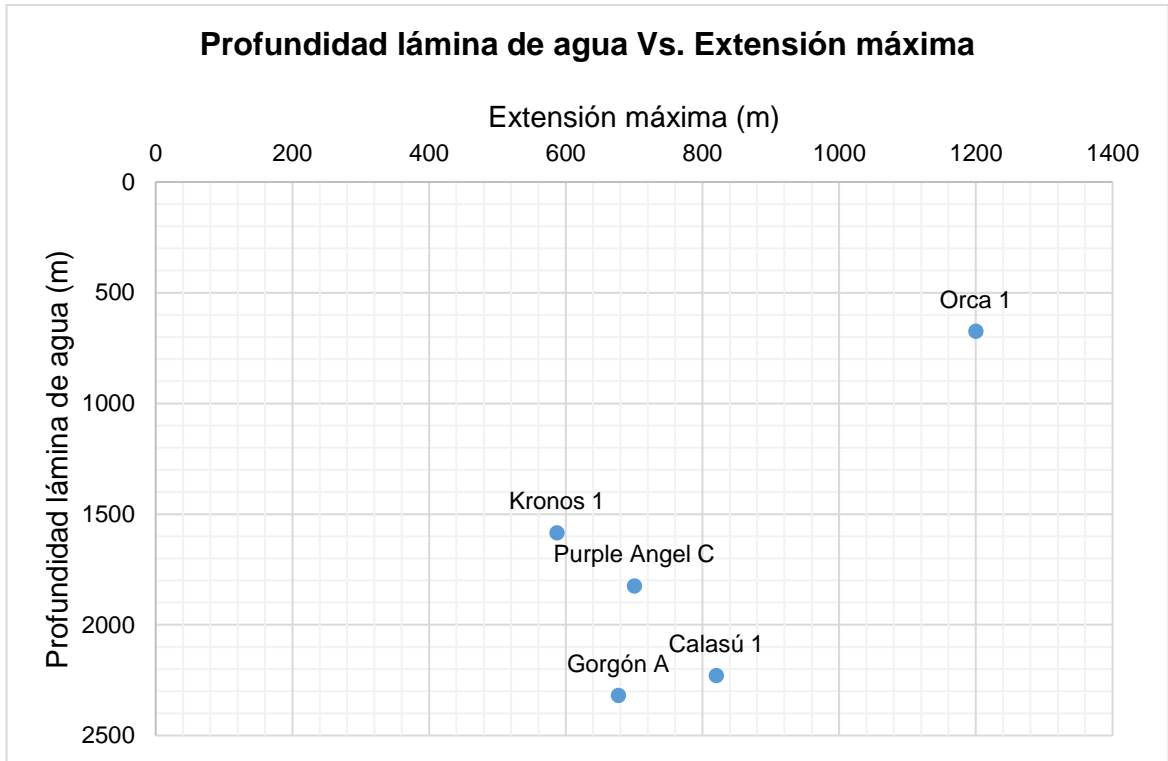


Figura 10. Representación gráfica de la relación de la profundidad de la lámina de agua respecto a la extensión máxima alcanzada por los residuos



Teniendo en cuenta los datos obtenidos por la figura 9, podríamos afirmar que los pozos con menor área de influencia se encuentran a una gran profundidad con excepción del pozo Calasú 1 el cual presenta un área de influencia muy grande y así mismo una profundidad considerable con respecto a los demás pozos analizados. Esto, puede deberse a las condiciones climáticas oceánicas que representan la zona de ubicación del pozo exploratorio Calasú 1.

En cuanto a la extensión máxima alcanzada por el vertimiento de cortes y lodos de perforación, y como se puede apreciar en la figura 10, no se puede considerar una relación directa de estos dos parámetros (profundidad de la lámina de agua y extensión máxima que alcanzan los ripios vertidos), ya que, se forma una nube de puntos irregular y no se genera una línea de tendencia.

5.2 VELOCIDAD DE LAS CORRIENTES OCEÁNICAS.

Las corrientes oceánicas son la principal fuerza ambiental que interviene en la dispersión de los fluidos y cortes de perforación en la columna de agua, por lo tanto, influye fuertemente en el destino y transporte de los sedimentos de descarga. La intensidad de las corrientes decrece rápidamente con la profundidad de la columna de agua en donde la velocidad tiende a caer por debajo de los 10 cm/s aproximadamente conforme a cada 300 metros de profundidad²⁸.

Para el siguiente análisis se tuvo en cuenta los datos de los pozos Calasú 1, Gorgón A, Kronos 1 y Purple Angel C, ya que son operados por la misma compañía (ACC) y usan el mismo modelo de simulación (global HYCOM) para la dispersión de los cortes y lodos de perforación vertidos en el mar. En el caso de los pozos Mapalé 2 y Orca 1, no se contó con la información requerida para realizar una comparación con los pozos anteriormente mencionados.

A continuación, se presenta la tabla 13 en donde se integran los datos de los intervalos de las velocidades de las corrientes oceánicas superficiales y en fondo y los datos de extensión máxima de dispersión. Las velocidades de las corrientes oceánicas son expresadas en centímetro por segundo (cm/s) y la extensión máxima de dispersión en metros (m). Cabe resaltar que los datos presentados en la tabla, fueron escogidos en base al escenario más crítico en el caso particular de cada pozo de estudio.

Se considera que el punto de descarga (para todos los pozos) de lodos y cortes de perforación base agua es de 5 metros por encima del cabezal de pozo (lecho marino) para los cortes de perforación generados en las primeras fases del programa de perforación, en donde no se hizo uso del riser. La descarga de los residuos que retornan de superficie (solamente cortes de perforación base no acuosa) fueron simulados desde una profundidad de 12.2 metros por debajo del

²⁸ ANADARKO COLOMBIA COMPANY. Drilling Discharges Modeling, Offshore Colombia. 2016

nivel del mar con una velocidad de descarga continua. La descarga directa para los fluidos de perforación base sintética, no se tiene en cuenta en la simulación, ya que se espera que este tipo de lodo sea reciclado y posteriormente llevado a costa para su debido tratamiento y disposición final.

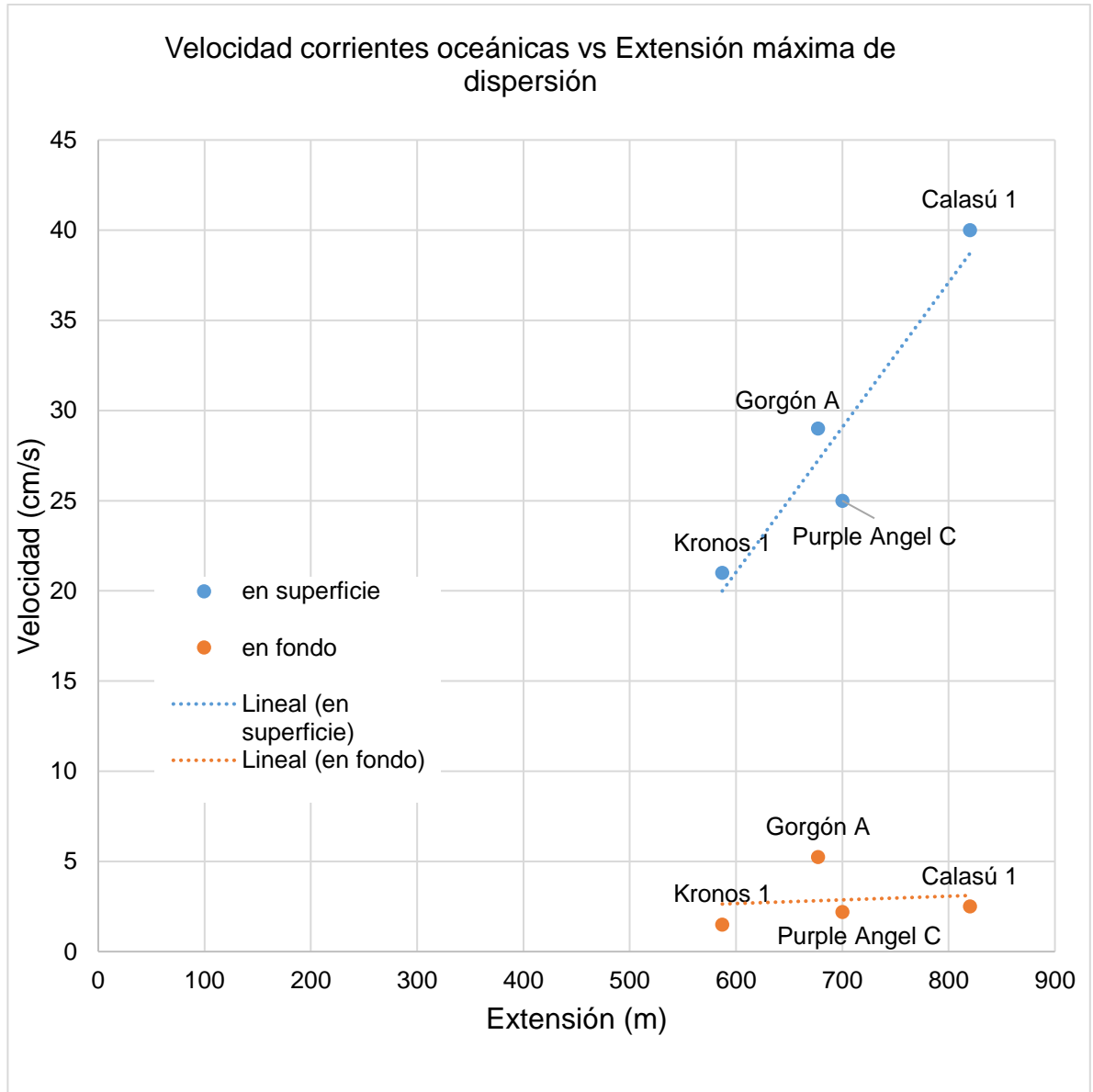
Los resultados obtenidos en la figura 11, son tomados en cuenta basados en la relación existente entre las velocidades de corrientes máximas alcanzadas tanto superficiales como de fondo.

Tabla 13. Relación de las velocidades de corrientes marinas con la extensión máxima de dispersión

Pozo	Velocidad corriente superficial (cm/s)	Velocidad corriente de fondo (cm/s)	Extensión máxima (m)
Kronos 1	21	1,5	587
Purple Angel C	25	2,2	700
Calasú 1	40	2,5	820
Gorgón A	29	5,24	677

Fuente: Modificado de ANADARKO COLOMBIA COMPANY. Drilling Discharges Modeling, Offshore Colombia. 2016

Figura 11. Velocidad de las corrientes oceánicas con relación a la extensión máxima alcanzada por el vertimiento de cortes y lodos de perforación



La figura 11 proporciona un gráfico comparativo en donde se puede evidenciar una tendencia en el comportamiento de la dispersión de los cortes y lodos de perforación de acuerdo a las velocidades de corriente en superficie y en fondo. La extensión alcanzada por los desechos de perforación, depende de la energía motriz proporcionada por las velocidades de corrientes en superficie, teniendo en cuenta

que el vertimiento se realiza a profundidades superficiales (12,2 metros por debajo del nivel del mar) y 5 metros por encima de la boca del pozo para las tres primeras secciones. Además, como se menciona en el capítulo 6, las partículas más pesadas se depositan en las zonas más cercanas al punto de perforación, mientras las partículas más livianas se asientan a distancias más alejadas del punto de emisión.

En consecuencia, de acuerdo al comportamiento de la línea de tendencia en la figura 11, se puede afirmar que las velocidades de corriente en superficie y la extensión alcanzada por los desechos vertidos presentan un comportamiento directamente proporcional. Dicho de otra forma, a medida que las velocidades de corrientes sean mayores, se espera que los cortes y lodos de perforación tengan una distancia de asentamiento mayor.

Por otro lado, la línea de tendencia de las velocidades de corrientes en fondo presenta una muy leve inclinación, pero que al igual que las corrientes en superficie tienen un comportamiento directamente proporcional con la extensión de asentamiento de cortes y lodos. Sin embargo, las velocidades de corrientes en ese punto, no ejercen la energía necesaria para poder desplazar los depósitos a distancias muy lejanas del punto de vertimiento.

6 RECOMENDACIONES DE BUENAS PRÁCTICAS SOBRE DEL MANEJO, TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE LOS CORTES Y LODOS DE PERFORACIÓN.

La finalidad del presente apartado es proponer una serie de recomendaciones en donde se plantean ideas operacionales que contribuyan a la prevención o disminución de los impactos generados sobre el medio biótico y abiótico causados por la actividad de vertimiento de lodos y cortes de perforación tanto en la columna de agua como en el lecho marino durante las actividades de perforación costa afuera en el Caribe colombiano. Las siguientes recomendaciones están hechas en base a la información técnico científica proveniente de la SPE (Society of Petroleum Engineers), y reportes técnicos sobre revisiones bibliográficas provenientes de la IOGP (International Association of Oil and Gas Producers) y el Grupo de Investigación de Desechos de Perforación de IOGP que abordan la ciencia ambiental reciente relacionada con la descarga de cortes de perforación en el medio marino, junto con un consultor ambiental llamado AECOM inc.

De acuerdo con los resultados obtenidos en el análisis de impactos potenciales generados sobre el medio biótico debido al vertimiento de cortes y lodos de perforación, los organismos pertenecientes a la comunidad bentónica son los que sufren mayores afectaciones, ya que provoca enterramiento o muerte por asfixia de los bentos y además el debilitamiento o muerte de los organismos que se encuentran en los niveles más bajos que componen la cadena trófica. Es por esto que se contempla que una recomendación favorable para mitigarlos, es hacer uso de riser desde la sección más temprana posible a ser perforada. De esta manera se podría tener un mejor control en la densidad y composición de los desechos que vayan a ser dispuestos en la columna de agua.

Se recomienda la realización de un segundo proceso de secado de cortes, de manera que los cortes que sean vertidos en la columna de agua tengan porcentajes

menores de contenido de fluidos contaminantes²⁹. De igual manera, en los últimos años, se han desarrollado tecnologías secundarias de tratamiento de recortes que implican el uso de fuentes mecánicas u otras fuentes de energía adicionales, como, por ejemplo, sistemas térmicos que reducen el contenido de fluido de perforación retenido en los cortes de perforación.

Cuando el vertimiento de los cortes de perforación en el mar no es considerado una opción viable por no cumplir con los parámetros de disposición, el manejo de estos cortes puede ser complicado y costoso. Dado lo anterior, se recomienda realizar un estudio técnico-económico y ambiental en el Caribe Colombiano, el cual tenga en cuenta llevar los cortes de perforación bajo el lecho marino para ser re inyectados dentro de formaciones geológicas subterráneas permeables adecuadas. Teniendo en cuenta que los cortes de perforación no pueden ser inyectados en una formación productora, se debe considerar la perforación de un pozo de inyección, o la inyección en un pozo en proceso de abandono. Adicionalmente, se sugiere realizar un análisis comparativo en donde se evidencie cuál es la ruta más viable (incluyendo aspectos económicos, técnicos y ambientales) entre la reinyección de cortes de perforación en formaciones adecuadas o su transporte a tierra.

Según los resultados arrojados por el modelo de simulación de descarga de agua producida y lodos de perforación adoptado por OCC (Offshore Operators Committe), para 3 casos de estudio, en donde 2 de los pozos se encontraban en una locación de aguas someras y el tercero ubicado en aguas profundas, se encontró que en los pozos de aguas someras, aproximadamente el 90% de los cortes descargados al mar se sedimentan, mientras que en el pozo de aguas profundas, aproximadamente

²⁹ Best practices for drill cuttings and mud discharge modeling. Artículo SPE 86699. Presentado en la Séptima conferencia internacional de la SPE sobre Seguridad Salud y Ambiente durante la Exploración y Producción de Crudo y Gas. Alberta, Canadá. 2004.

el 50% de los residuos descargados alcanzan el lecho marino para sedimentarse³⁰. Es por esto, que se recomienda realizar el vertimiento de los cortes en profundidades cercanas al nivel del mar, ya que al ser mayor la profundidad de la columna de agua, se logra la dispersión de una gran parte de los cortes que se descargan, de esta manera se puede lograr mitigar el impacto directo efectuado en las comunidades bentónicas.

³⁰ ZHANG, Changyong. Modeling Offshore Drill Cuttings Discharge. Artículo SPE 190500 MS. Presentado en la Conferencia Internacional sobre Salud, Seguridad, Ambiente y Responsabilidad Social. Abu Dhabi, UAE. 2018.

7 CONCLUSIONES

- Del análisis de los impactos ambientales más significativos generados por las actividades de vertimiento de fluidos y cortes de perforación en un proyecto de perforación de pozos en el Caribe Colombiano, se determinó que el medio biótico sufre mayores afectaciones en contraste con el medio abiótico.
- Del análisis de impactos ambientales identificados en el medio biótico el componente con mayor intensidad de afectación es la modificación en la estructura y funcionamiento de las comunidades bentónicas, en donde el 66,7% de los pozos de estudio se encuentran ubicados en una valoración de impacto muy alta, mientras el 33,3% restante de los casos consideran una calificación alta; es decir, el impacto afecta de manera significativa o grave a los bentos.
- Del análisis de impactos ambientales identificados en el medio abiótico el componente con mayor probabilidad de ocurrencia es la alteración fisicoquímica tanto de la calidad del agua como del fondo marino. Estos son componentes que se afectan en un alto nivel de ocurrencia, ya que son valorados como 5 en la escala de probabilidad que varía entre rangos de 1 a 5, siendo 1 prácticamente improbable que ocurra y 5 que ocurra con un alto nivel de certeza.
- Según el gráfico de correlación de velocidades de corrientes oceánicas y extensión de dispersión máxima, se determinó que la longitud alcanzada por los cortes presenta mayor sensibilidad a las velocidades de corrientes superficiales que las de fondo.

- El comportamiento del área de influencia alcanzada por la dispersión de los ripios en el lecho marino, presenta mayor sensibilidad a las profundidades de la lámina de agua.
- Del análisis de las áreas de influencia y las distancias máximas de dispersión, se puede afirmar que el impacto de la disposición de cortes y lodos de perforación costa afuera es un impacto de tipo puntual, ya que las áreas máximas afectadas no superan las 100 hectáreas y la longitud máxima no supera los 1.200 metros de longitud, que, para las dimensiones y vulnerabilidad del océano, no se considera un impacto de gran extensión.
- No se puede afirmar categóricamente que la profundidad de la lámina de agua tenga una relación directa con la extensión de la dispersión de los cortes, ya que, aunque en algunos pozos aumenta progresivamente la extensión con la profundidad, el pozo más somero fue el de mayor área de influencia y longitud de dispersión. En cambio, la variable más determinante para esta condición es la velocidad de las corrientes oceánicas, ya que las correlaciones analizadas en este estudio muestran una relación directamente proporcional entre estas velocidades y la distancia alcanzada por los cortes.

8 RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un estudio detallado que incluya aspectos técnicos, ambientales y económicos sobre la implementación de lodos base agua y lodos aireados en el mayor número de secciones posibles a perforar en proyectos de perforación exploratoria Costa Afuera en el Caribe Colombiano.
- Se recomienda realizar un análisis del tratamiento y disposición de cortes y lodos y cortes de perforación basado en Informes de Cumplimiento Ambiental (ICA) radicados por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) en pozos más antiguos, con el fin de prevenir, mitigar y corregir los impactos generados en los medios biótico y abiótico, teniendo en cuenta data después de la realización de las actividades de perforación de pozos exploratorios en el Caribe Colombiano.
- Generar una metodología para la optimización del almacenaje y transporte de cortes de perforación offshore en Colombia en el cual se tenga en cuenta una reducción de gastos económicos y una disminución de riesgos por el manejo de residuos.

BIBLIOGRAFÍA

- ABDULLAH, El-sayed; KAMAL H, Abu El-Naga. Treatment of drill cuttings. Artículo SPE 66530. Presentado en la Conferencia Ambiental de Exploración y Producción. San Antonio, Texas. 2001.
- AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS (ANH). Listado áreas. 17 de febrero del 2017.
- ANADARKO COLOMBIA COMPANY. Plan de manejo ambiental específico para el pozo Calasú 1, Área de Perforación Exploratoria (APEM) Fuerte Norte, Caribe Colombiano. AUTORIDAD DE LICENCIAS AMBIENTALES (ANLA).
- ANADARKO COLOMBIA COMPANY. Plan de manejo ambiental específico para el pozo Gorgón A, proyecto de perforación exploratoria costa afuera Purple Angel, Caribe Colombiano. AUTORIDAD DE LICENCIAS AMBIENTALES (ANLA).
- ANADARKO COLOMBIA COMPANY. Plan de manejo ambiental específico para el pozo Kronos 1, Área de Perforación Exploratoria (APEM) Fuerte Sur, Caribe Colombiano. AUTORIDAD DE LICENCIAS AMBIENTALES (ANLA).
- ANADARKO COLOMBIA COMPANY. Plan de manejo ambiental específico para el pozo Purple Angel C, Caribe Colombiano. AUTORIDAD DE LICENCIAS AMBIENTALES (ANLA).
- BREIS, Francisco del Baño. Diccionario de Ciencias Naturales y Términos Afines. Murcia: CONSEJERÍA DE CULTURA Y EDUCACIÓN, 1982. 241 p. ISBN 84-500-8081-9.

- BROM, Roxanna, et al. Improving environmental performance by sharing information on offshore drilling discharge environmental science and drill cuttings treatment technology. Artículo SPE 179271 MS. Presentado en la Conferencia Internacional y Exhibición sobre Salud, Seguridad, Ambiente y Responsabilidad Social. Stavanger, Norway. 2016.
- COLOMBIA. AUTORIDAD NACIONAL DE LICENCIAS AMBIENTALES. Resolución 1072 (31, agosto, 2015). Por el cual se otorga una licencia ambiental y se toman otras determinaciones.
- COLOMBIA. AUTORIDAD NACIONAL DE LICENCIAS AMBIENTALES. Resolución 1016 (7, diciembre, 2012). Por el cual se otorga una licencia ambiental y se toman otras determinaciones.
- COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 12 (19, Enero, 1981). Por medio de la cual se aprueba la "Convención Internacional para la Prevención de la Contaminación por Buques", dada en Londres el 2 de Noviembre de 1973.
- COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 1523 (24, abril, 2012). Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones.
- COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 23 (19, Diciembre, 1973). Por la cual se conceden facultades extraordinarias al presidente de la República para expedir el Código de Recursos Naturales y protección al medio ambiente y se dictan otras disposiciones.

- COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 356 (21, Enero, 1997). Por medio de la cual se aprueban el "Protocolo relativo a las áreas y flora y fauna silvestres especialmente protegidas del Convenio para la Protección y el Desarrollo del Medio Marino de la Región del Gran Caribe", hecho en Kingston el 18 de enero de 1990.
- COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 55 (7, Noviembre, 1989). Por medio de la cual se aprueba el Convenio Internacional sobre Responsabilidad Civil por Daños Causados por la Contaminación de las Aguas del Mar por Hidrocarburos de 1969 y su Protocolo de 1976.
- COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 56. (23, Diciembre, 1987). Por medio del cual se aprueba el convenio para la protección y desarrollo del medio marino en la Región del Mar Caribe y el Protocolo relativo a la cooperación para combatir los derrames de Hidrocarburos en la Región del Gran Caribe.
- COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 99. (22, diciembre, 1993). Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables.
- COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Tratado Liévano –Boyd (20, noviembre, 1976). Definición del límite entre las respectivas áreas marinas y submarinas de Colombia y Panamá. Firmado en Cartagena el 20 de noviembre de 1976.
- COLOMBIA. MINISTERIO DE AGRICULTURA. Decreto 1875 (2, agosto, 1979). Por el cual se dictan normas sobre la prevención de la contaminación del medio marino y otras disposiciones.

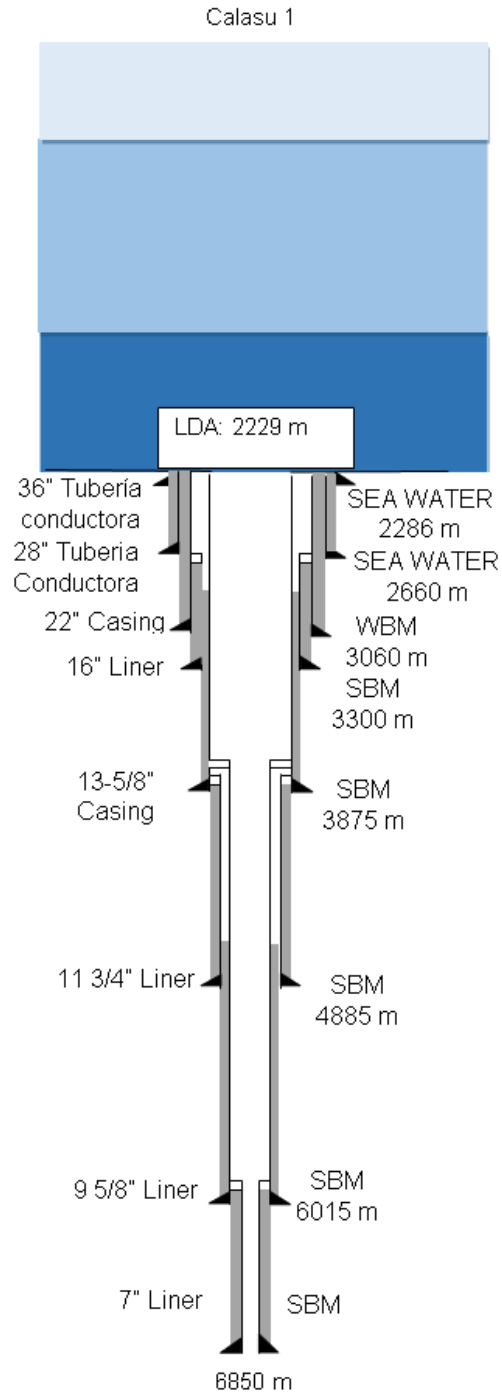
- COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución 631 (17, marzo, 2015). Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.
- COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Decreto 1895 (15, septiembre, 1985). Por el cual se dictan normas sobre exploración y explotación de petróleo y gas, con el fin de evitar el desperdicio físico y económico de las reservas de petróleo y gas de propiedad nacional o privada y de asegurar su máxima recuperación final y tomar medidas para la prevención de la contaminación ambiental.
- COLOMBIA. MINISTERIO DEL INTERIOR. Decreto 321 (17, febrero, 1999). Por el cual se adopta el Plan Nacional de Contingencia contra derrames de Hidrocarburos, Derivados y Sustancias Nocivas.
- COLOMBIA. PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA. Decreto - Ley 2811 (18, diciembre, 1974). Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.
- COLOMBIA. PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA. Decreto 3930 (25, octubre, 2010). Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones.
- EQUION ENERGÍA LIMITED. Plan de manejo ambiental para el pozo exploratorio Mapalé 2 en el bloque RC5, Caribe Colombiano. AUTORIDAD DE LICENCIAS AMBIENTALES (ANLA).

- GERWICK, Ben C. Construction of offshore structures. M.D. Morries, P.E., Editor. 1896. ISBN 0-471-29705-4.
- GUO, Boyun; LI jun; LIN Shuhua. Where do drill cutting go in offshore drilling. Artículo SPE 139466. Presentado en la Conferencia de Seguridad, Salud y Ambiente en Exploración y Producción. Houston, Texas. 2011.
- GUTIÉRREZ, Daniel Alejandro; GUTIÉRREZ MONTOYA, Erika Milena y VÉLEZ RESTREPO, Milvia Henid. La diversidad de los Ecosistemas Marinos, una Explicación desde la perspectiva del Cambio Conceptual y la Metacognición: Una Valoración del diorama de peces de Sala de Ciencias Naturales del MUUA. Trabajo de investigación monográfica. Antioquia: Universidad de los Andes. Facultad de Educación, 2011, 135p.
- INTERNATIONAL ASSOCIATION OF OIL AND GAS PRODUCERS (IOGP). Environmental fates and effects of ocean discharge of drill cuttings and associated drilling fluids from offshore oil and gas operations. Reporte 543. Marzo, 2016.
- MINAMBIENTE-Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; ANLA-Autoridad Nacional de Licencias Ambientales. (2016). Términos de referencia para la elaboración del estudio de impacto ambiental-EIA en proyectos de perforación exploratoria de hidrocarburos costa afuera. Bogora D.C.
- NEDWED, Tim. Best practices for drill cuttings and mud discharge modeling. Artículo SPE 86699. Presentado en la Séptima conferencia internacional de la SPE sobre Seguridad Salud y Ambiente durante la Exploración y Producción de Crudo y Gas. Alberta, Canadá. 2004.

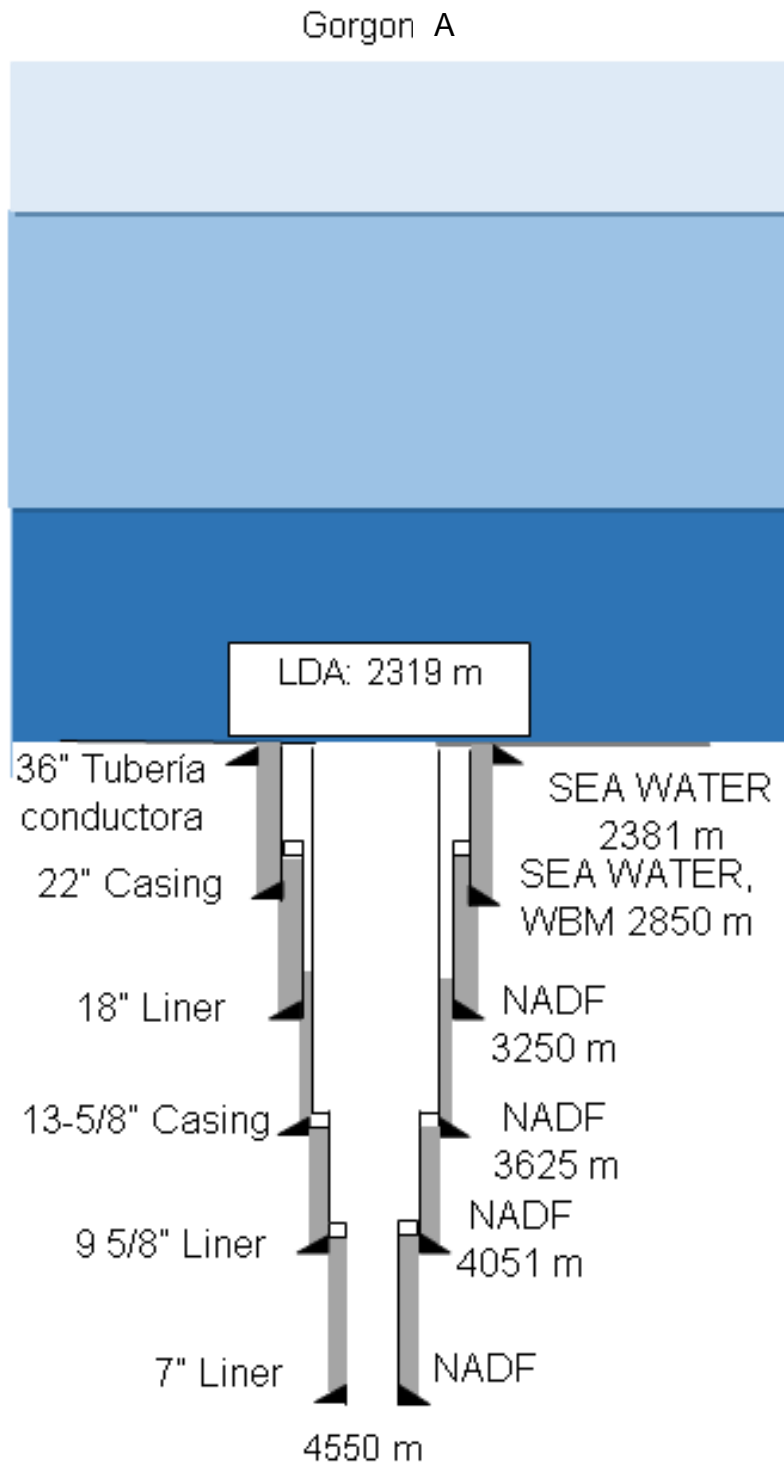
- PETROBRAS. Plan de Manejo Ambiental Pozo Exploratorio Orca - 01 - Área de Mayor Interés (AMI) Jarara, Área de Interés de Perforación Exploratoria (AIPE) Costa Afuera Jarara - Bloque Tayrona, Caribe Colombiano. AUTORIDAD DE LICENCIAS AMBIENTALES (ANLA).
- RPS GROUP. Drilling Discharges Modeling at Gorgón A, Purple Angel Block, Offshore Colombia. USA, 2016. p.11-21.
- RPS GROUP. Drilling Discharges Modeling at Purple Angel C, Purple Angel Block, Offshore Colombia. USA, 2016. p.11-21.
- RPS GROUP. Drilling Discharges Modeling in Support of Exploratory Drilling in the Fuerte Norte Block, Offshore Colombia. USA, 2014. p.11-21.
- RPS GROUP. Drilling Discharges Modeling in Support of Exploratory Drilling in the Fuerte Sur Block, Offshore Colombia. USA, 2014. p.11-21.
- SOCIETY OF PRETROLEUM ENGINEERS. Advanced drilling and well technology. Richardson, TX, 2009. p. 558-563. ISBN 978-1-55563-145-1.
- ZHANG, Changyong. Modeling offshore drill cuttings discharge. Artículo SPE 190500 MS. Presentado en la Conferencia Internacional sobre Salud, Seguridad, Ambiente y Responsabilidad Social. Abu Dhabi, UAE. 2018.

ANEXOS

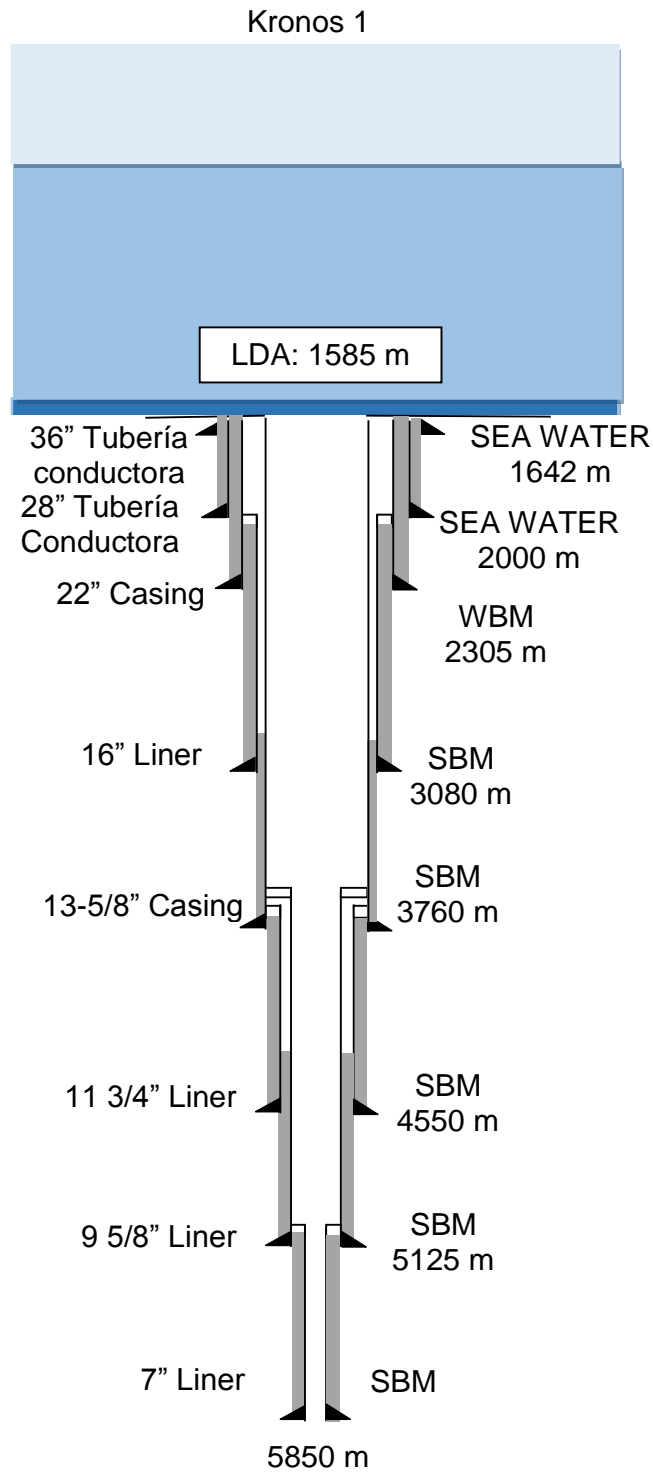
Anexo A. Estado mecánico del pozo exploratorio Calasú 1.



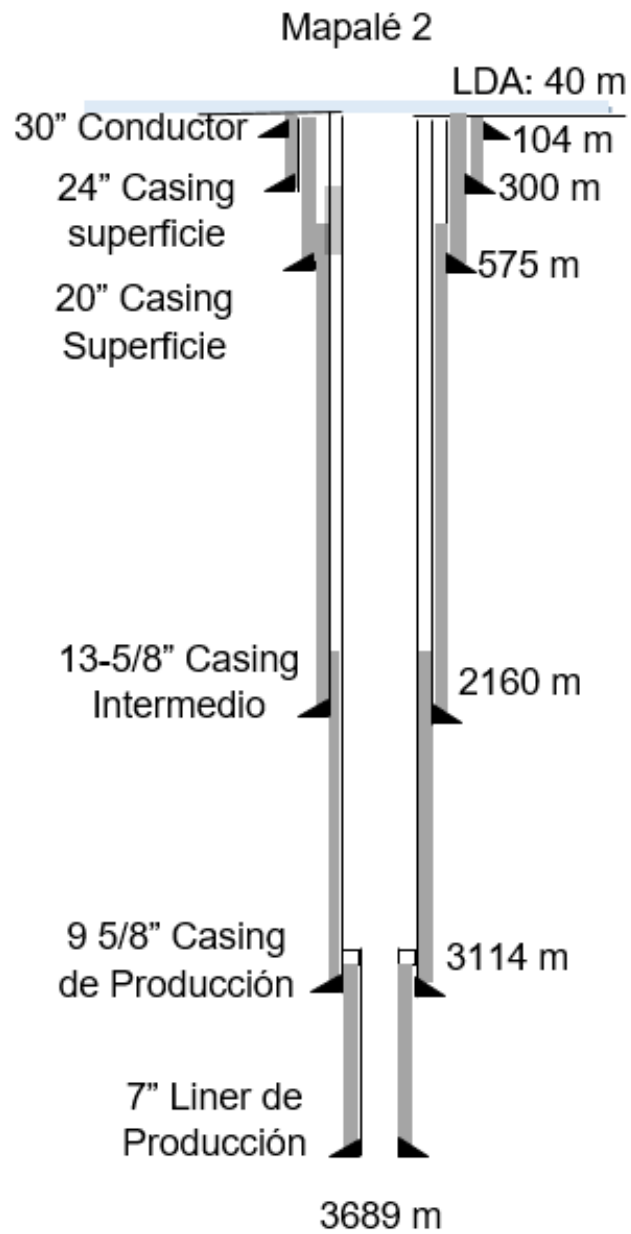
Anexo B. Estado mecánico del pozo exploratorio Gorgón A.



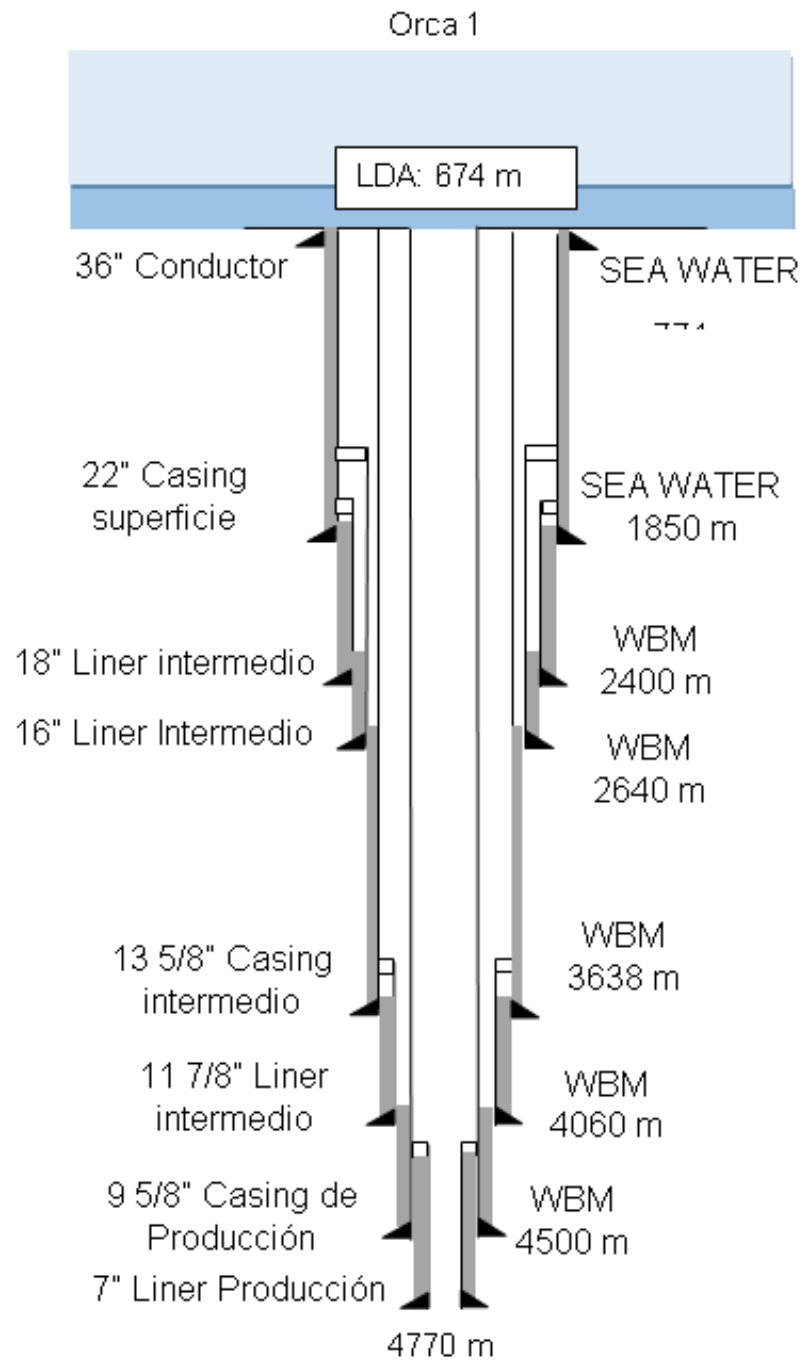
Anexo C. Estado mecánico del pozo exploratorio Kronos 1.



Anexo D. Estado mecánico del pozo exploratorio Mapalé 2.



Anexo E. Estado mecánico del pozo exploratorio Orca 1.



Anexo F. Estado mecánico del pozo exploratorio Purple Angel C.

