

Anexo V-B

Modelado Acústico

TABLA DE CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	ALCANCE	2
2	ACÚSTICA Y RELEVAMIENTO SÍSMICOS MARINOS 3D	3
2.1	ACÚSTICA	3
2.1.1	<i>Pulsos</i>	4
2.1.2	<i>Sonidos Intermitentes o Continuos (No Pulsaciones)</i>	4
2.1.3	<i>Intensidad de Sonido</i>	4
2.1.4	<i>Presión Sonora Pico</i>	4
2.1.5	<i>Presión Sonora Pico a Pico</i>	4
2.1.6	<i>Presión Sonora Cuadrática Media (RMS – Root Mean Square)</i> 4	
2.1.7	<i>Nivel de Presión Sonora</i>	5
2.1.8	<i>Nivel de la Fuente (SL)</i>	5
2.1.9	<i>Nivel de Exposición al Sonido (SEL o Densidad del Flujo de Energía)</i> 5	
2.1.10	<i>Duración</i>	5
2.1.11	<i>Pérdida por Transmisión (TL)</i>	5
2.1.12	<i>Pérdida por Esparcimiento Esférico – Spherical Spreading</i> 6	
2.1.13	<i>Pérdida por Esparcimiento Cilíndrico–Cylindrical Spreading</i>	6
2.1.14	<i>Pérdida por Propagación Combinada</i>	6
2.1.15	<i>Atenuación</i>	6
2.1.16	<i>Nivel Recibido (RL)</i>	7
2.2	RELEVAMIENTOS SÍSMICOS MARINOS 3 D	7
2.2.1	<i>Firma del Arreglo</i>	9
2.2.2	<i>Directividad de la Fuente Sísmica</i>	10
3	MODELACIÓN DE LAS PÉRDIDAS POR TRANSMISIÓN EN EL ÁREA EL PROYECTO	12
3.1	CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DEL MODELO NUMÉRICO EMPLEADO	12
3.2	DETALLES DE LA FUENTE SÍSMICA.....	13
3.3	ÁREA EN ESTUDIO Y POSICIONES SELECCIONADAS PARA LA FUENTE SÍSMICA	14
3.4	BATIMETRÍA.....	15
3.5	CONVERSIÓN DE AMPLITUD SONORA PICO A PICO A NIVEL SONORO EFECTIVO	17
3.6	SENSIBILIDAD PARA LA VARIACIÓN ESTACIONAL DE LA VELOCIDAD DEL SONIDO	18
3.7	SENSIBILIDAD A LA FRECUENCIA.....	21
3.8	PROPIEDADES GEO-ACÚSTICAS DE LOS SEDIMENTOS	22
3.8.1	<i>Propiedades geoacústicas de los sedimentos no consolidados: arenas</i>	26
3.8.2	<i>Propiedades geoacústicas de los sedimentos consolidados: Rocas sedimentarias del terciario</i>	27
3.9	DIRECCIÓN DE SALIDA CONSIDERADA PARA EL HAZ ACÚSTICO	28
4	RESULTADOS	29
4.1	TABLAS DE DISTANCIA VS. NIVEL SONORO RECIBIDO POR DIRECCIÓN	29

4.2	MAPAS DE CONTORNO DE NIVEL SONORO RECIBIDO	34
4.3	CÁLCULO DE LA FRACCIÓN DEL ÁREA DEL PROYECTO SONORIZADA A 180 DB.....	36
4.4	CÁLCULO DE LA FRACCIÓN DEL TIEMPO TOTAL DEL RELEVAMIENTO SONORIZADO.....	37
5	CONCLUSIONES	38
6	REFERENCIAS.....	40
6.1	BIBLIOGRAFÍA.....	40
6.2	SITIOS WEB DE INTERÉS	41

LISTADO DE TABLAS

Tabla N° 1:	Características de la Fuente Sísmica.....	13
Tabla N° 2:	Puntos donde se ubicó la fuente sísmica para la modelación de las pérdidas por transmisión.....	15
Tabla N° 3:	Referencias cartográficas utilizadas en el presente estudio	17
Tabla N° 4:	Conversión de la presión sonora pico a pico al nivel de fuente efectivo	18
Tabla N° 5:	Recopilación de propiedades geoacústicas para distintos tipos de arena	26
Tabla N° 6:	Características geoacústicas para los dos tipos de sedimentos adoptadas para la modelación de las pérdidas por transmisión	28
Tabla N° 7:	Distancias en m a las isopleas indicadas, por dirección respecto al N, punto A (profundidad respecto al NMM: 13 m)	30
Tabla N° 8:	Distancias en m a las isopleas indicadas, por dirección respecto al N, punto B. (profundidad respecto al NMM: 40 m)	31
Tabla N° 9:	Distancias en m a las isopleas indicadas, por dirección respecto al N, punto C (profundidad respecto al NMM: 17 m)	32
Tabla N° 10:	Distancias en m a las isopleas indicadas, por dirección respecto al N, punto D (profundidad respecto al NMM: 46 m)	33
Tabla N° 11:	Áreas en km ² que reciben el nivel sonoro indicado, para cada posición de la fuente.....	36

LISTADO DE FIGURAS

Figura N° 1:	Onda sonora.....	3
Figura N° 2:	Relevamiento sísmico 3D convencional con cañones de aire comprimido.....	8
Figura N° 3:	Imágenes de 2 cañones de aire comprimido. Antes (a) e inmediatamente después de los disparos (b).....	8
Figura N° 4:	Adquisición de datos sísmicos con OBN	9
Figura N° 5:	Firma vertical de un arreglo típico de cañones de aire	10
Figura N° 6:	Patrón de radiación vertical de una fuente típica de cañones de aire comprimido	11
Figura N° 7:	Esquema del arreglo de cañones de aire propuesto para el proyecto.....	13

Figura N° 8: Firma del arreglo propuesto para el proyecto.....	14
Figura N° 9: Área en estudio y puntos de modelación seleccionados	15
Figura N° 10: Batimetría del área del proyecto	16
Figura N° 11: Perfiles medios estacionales y anuales de temperatura, salinidad, densidad y velocidad del sonido.....	19
Figura N° 12: Variación de las pérdidas por transmisión con la distancia a la fuente y la profundidad, para condiciones oceanográficas medias estacionales	20
Figura N° 13: Variación de las pérdidas por transmisión con la distancia a la fuente para distintas estaciones.	20
Figura N° 14: Variación de las pérdidas por transmisión con la distancia a la fuente y la profundidad, para frecuencias típicas de los estudios sísmicos	21
Figura N° 15: Variación de las pérdidas por transmisión con la distancia a la fuente para distintas frecuencias.	22
Figura N° 16: Sectores del Golfo San Jorge según la granulometría de los sedimentos superficiales.....	23
Figura N° 17: Sedimentos superficiales en la zona del proyecto según cartas náuticas del SHN.....	24
Figura N° 18: Ubicación en el área del proyecto de los dos tipos de sedimentos adoptados para la modelación de las pérdidas por transmisión	25
Figura N° 19: Mapa de contorno de nivel sonoro recibido, con la fuente sísmica en el punto A (profundidad respecto al NMM: 13 m)	34
Figura N° 20: Mapa de contorno de nivel sonoro recibido, con la fuente sísmica en el punto B (profundidad respecto al NMM: 40 m)	34
Figura N° 21: Mapa de contorno de nivel sonoro recibido, con la fuente sísmica en el punto C (profundidad respecto al NMM: 17m)	35
Figura N° 22: Mapa de contorno de nivel sonoro recibido, con la fuente sísmica en el punto D (profundidad respecto al NMM: 13 m)	35

YPF llevará a cabo un relevamiento sísmico marino 3D utilizando cañones de aire comprimido en aguas del Golfo San Jorge (GSJ). Se prevé que el proyecto denominado Restinga Alí Offshore comience en el segundo semestre de 2014 y se extienda por un plazo aproximado de entre 45 y 60 días.

El Proyecto está diseñado para realizar un grillado de 200 m x 200 m con fuentes y receptores cada 50 m y una densidad de 100 puntos por km². Las líneas receptoras tendrán dirección aproximada E-W, perpendicular a la línea de costa, mientras que las fuentes tendrán orientación aproximada N-S, paralela a la línea de costa.

Como fuentes receptoras se utilizarán nodos autónomos que se colocarán mediante barcazas en el fondo marino con GPS, unidos por cuerdas y con algún anclaje para evitar que las corrientes los desplacen de su ubicación. Se utilizarán 6.500 nodos, que se desplegarán cuatro veces para cubrir el área del proyecto. La fuente sísmica estará compuesta por cañones de aire comprimido arrastrados por un buque o lancha de poco calado según la profundidad del área a relevar (Zona de transición u Offshore Cercano).

Los relevamientos sísmicos en el mar mediante el uso de cañones de aire implican la generación de ruido de alta energía y baja frecuencia en la columna de agua para sondear los estratos que se encuentran por debajo del lecho marino. Estos niveles de ruido, han llevado a las organizaciones ambientalistas nacionales e internacionales como así también a los actores relacionados con la pesca comercial a una preocupación por sus efectos que podría tener sobre la biota marina.

En respuesta a esta preocupación y para la adecuada protección de los organismos marinos, especialmente los mamíferos, se utilizan criterios de protección prácticos durante las operaciones. Éstos se basan en el aumento gradual de la potencia del arreglo, arranque suave, y en el establecimiento de distancias mínimas entre los mamíferos marinos y el buque sísmico durante el relevamiento.

Los diversos factores que afectan la velocidad de propagación del sonido en el mar generan patrones sonoros complejos de difícil predicción sin la ayuda de modelos numéricos. La modelación acústica utiliza las características específicas del área en estudio para establecer pérdidas por transmisión del sonido en el medio y así estimar con criterio conservativo distancias mínimas de protección para la fauna marina.

La propagación del sonido emitido por la fuente sísmica depende de características locales del medio como la salinidad, temperatura, batimetría y tipo de sedimentos de fondo.

La información batimétrica es especialmente importante en aguas poco profundas donde la propagación del sonido resulta muy influenciada por la interacción de las ondas acústicas con el fondo.

En vista del rango de diferentes profundidades en el área del proyecto, la transmisión del sonido dependerá de la posición de la fuente, y particularmente de la interacción del campo sonoro con el fondo oceánico.

La velocidad del sonido en agua de mar es función de la temperatura, de la salinidad y de la profundidad. El perfil de velocidad del sonido presenta por lo general variaciones estacionales que afectan y modifican la propagación del sonido en el mar.

Las características geoacústicas de los sedimentos de fondo, que incluyen la velocidad de compresión, la velocidad de corte, la densidad y la atenuación, gobiernan el grado con que el sonido se refleja y se absorbe en el fondo del mar. Los procesos físicos que se producen por la interacción de las ondas sonoras con los sedimentos de fondo están parametrizados por una importante cantidad de valores que se encuentran asociados a características geoacústicas de los mismos. Algunos de estos parámetros han sido menos estudiados que otros, pero todos en general pueden encontrarse en la literatura especializada.

El modelo numérico seleccionado para éste estudio acústico es el BELLHOP Ray/Beam Model que calcula el campo sonoro por medio del seguimiento de los haces acústicos y presenta un creciente número de aplicaciones en estudios ambientales.

A fin de adoptar criterios conservativos en la modelación del campo sonoro del área en estudio, se efectuaron ensayos de sensibilidad del modelo frente a cambios en la frecuencia, tipo de sedimentos de fondo y época del año (por variaciones de salinidad y temperatura).

1.1

ALCANCE

Los objetivos básicos de este estudio acústico consisten en:

- Estimar el comportamiento del campo acústico en el área del proyecto y adyacencias utilizando el modelo numérico BELLHOP Ray/Beam Model;
- Estimar las distancias desde la fuente sísmica a las isopleas de valores umbrales considerados para la protección de la fauna marina;
- Estimar las áreas sonorizadas definidas por las isopleas asociadas a los valores umbrales considerados para la protección de la fauna marina;
- Estimar la fracción del área del proyecto que resulta sonorizada; y
- Estimar la fracción del tiempo total del relevamiento sonorizado.

La terminología acústica básica utilizada en este estudio se presenta en numerosas fuentes publicadas (p. ej., ANSI, 1986, 1984; Richardson et al., 1995; NRC, 2003). Pese a ello, a continuación se presenta una breve descripción de los términos clave utilizados en el presente informe.

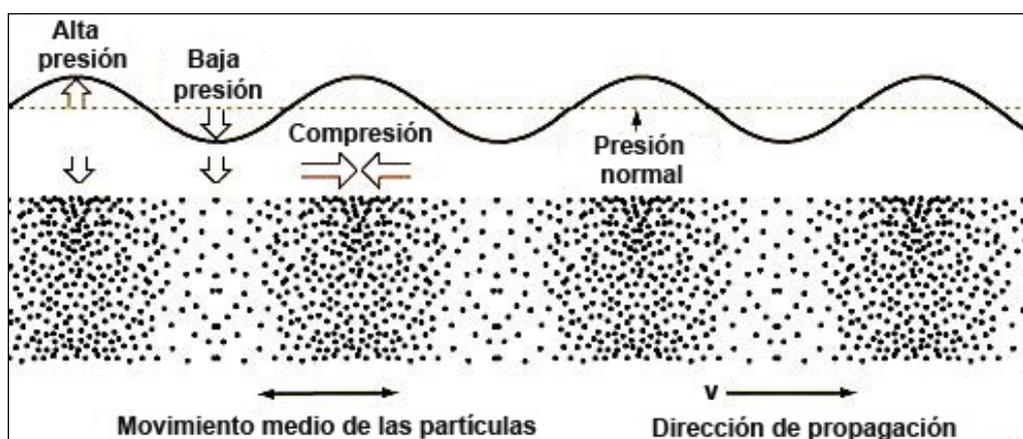
2.1 ACÚSTICA

El sonido es un movimiento ondulatorio mecánico que ocurre en un medio elástico, por ejemplo, aire, agua o sólidos. Se genera cuando las partículas del medio son desplazadas por una fuerza externa y comienzan a oscilar alrededor de su posición original.

Las ondas sonoras son ondas longitudinales que se propagan en el interior de un material en forma de fluctuaciones de presión. Las partículas del medio se mueven de un lado a otro en la misma dirección que se propaga la onda comunicando este movimiento a las partículas adyacentes, de manera que las variaciones de presión se propagan alejándose de la fuente con una velocidad definida. Cuando algunas partículas se alejan temporalmente entre sí, hay una rarefacción local (área de baja presión) y cuando están más juntas, hay una compresión local (área de alta presión). La razón de cambio de las fluctuaciones de presión determina la frecuencia del sonido.

La Figura N° 1 muestra cómo las variaciones de presión se propagan en un medio elástico con una velocidad v .

Figura N° 1: Onda sonora



Fuente: JBA & Asociados, 2014

El oído humano puede percibir frecuencias entre 20 Hz y 20 kHz, pero los mamíferos y otras especies marinas pueden oír más allá del rango de audición humano.

Los distintos medios varían ampliamente en su capacidad para conducir el sonido, por ejemplo, la velocidad del sonido en el agua es aproximadamente, 1.500 m.s^{-1} , mucho mayor que en el aire donde es aproximadamente 330 m.s^{-1} . El sonido puede medirse por medio de sensores sensibles a los cambios de presión o al movimiento de las partículas. Si bien los oídos de los mamíferos marinos perciben cambios de presión, los oídos de los peces también pueden percibir el movimiento de partículas directamente.

2.1.1 Pulsos

Los pulsos son tipos de sonidos breves, de banda ancha, atonales y transitorios, caracterizados por un rápido aumento de la presión del ambiente a la presión máxima, y por una corta duración (al menos cerca de la fuente), por ejemplo, explosiones, disparos, pulsos de los cañones de aire comprimido y golpes de hincado de pilotes.

2.1.2 Sonidos Intermitentes o Continuos (No Pulsaciones)

Son tipos de sonido que pueden ser tonales, de banda ancha o ambos. Si bien pueden tener corta duración, carecen de los tiempos de aumento rápido de los pulsos. Los no pulsos incluyen aquellos sonidos de buques, aviones, perforación y sistema sonar activo. Debido a ciertos efectos de la propagación, es posible que un sonido pulsado cerca de la fuente sea percibido por un receptor distante como un no pulso.

2.1.3 Intensidad de Sonido

La intensidad de sonido se define como la potencia acústica por unidad de área en la dirección de propagación de la onda. Es una medida de la energía transportada por unidad de área. La intensidad es proporcional al cuadrado de la presión acústica y por lo general, se mide en μPa (micropascal).

2.1.4 Presión Sonora Pico

Es la presión sonora instantánea máxima medible a una distancia específica de la fuente. Por lo general se mide en bar (bar), Pa (pascal) o μPa .

2.1.5 Presión Sonora Pico a Pico

Es la diferencia algebraica entre el máximo positivo y el máximo negativo de la presión sonora. Las unidades son las mismas que para la presión sonora pico.

2.1.6 Presión Sonora Cuadrática Media (RMS – Root Mean Square)

Es la presión sonora promedio durante un intervalo de tiempo específico. En el caso de los pulsos de los cañones de aire comprimido el tiempo promedio se toma generalmente como la duración aproximada de un pulso, que a su vez se calcula como el intervalo de tiempo en el que llega el 90% de la energía del pulso.

2.1.7 *Nivel de Presión Sonora*

Hay un amplio rango de presiones e intensidades en las mediciones del sonido, por lo que es común describirlas por medio del uso de una escala logarítmica. La escala logarítmica más utilizada para describir el sonido es la escala de decibeles (dB). El término “nivel de presión sonora” se define como:

$$SPL(\text{dB}) = 20 \cdot \log\left(\frac{P}{P_{ref}}\right) \quad \text{dB re } 1\mu\text{Pa}$$

La escala de decibeles es una medida relativa, por lo que los valores en dB son útiles únicamente si se incluye un nivel de referencia.

En el agua, la presión de referencia es generalmente 1 μPa , mientras que en el aire es por lo general 20 μPa .

El nivel de presión sonora RMS es por lo general ~10 dB menor que el nivel pico, y ~16 dB menor que el nivel pico a pico. De aquí surge que el nivel pico es ~6 dB menor que el nivel pico a pico.

2.1.8 *Nivel de la Fuente (SL)*

El nivel de la fuente es el nivel recibido medido o calculado a una distancia nominal de 1 m de la fuente. Se expresa en dB re 1 μPa a 1 m o en bar-m.

Para las fuentes de más de algunos cm (hélices de barcos, cañones de aire comprimido, etc.), la presión se mide a cierto rango, y se aplica un modelo de propagación del sonido para calcular cómo hubiera sido la presión sonora a 1 m de la fuente si está se comportara como una fuente puntual.

2.1.9 *Nivel de Exposición al Sonido (SEL o Densidad del Flujo de Energía)*

Esta medida representa el total de energía contenida en un pulso. Se expresa en dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{-s}$. Para un único pulso de los cañones de aire comprimido, el valor numérico de la medida del nivel de exposición al sonido en estas unidades, es generalmente 5 dB - 15 dB menor que la presión sonora RMS en dB re 1 μPa .

2.1.10 *Duración*

La duración, como el término lo indica, es la extensión de un sonido medido, por lo general, en segundos. Algunos autores como Greene (1997) describen la duración de un pulso de un cañón de aire comprimido como el intervalo durante el cual llega el 90 % de la energía sonora al receptor.

2.1.11 *Pérdida por Transmisión (TL)*

La señal sonora que viaja a través del agua se retrasa, distorsiona y debilita.

La pérdida por transmisión expresa la disminución de la intensidad de un sonido a medida que se propaga por un medio, y puede considerarse la suma de una pérdida causada por difusión o esparcimiento y una pérdida debida a atenuación.

La pérdida por difusión se refiere al efecto geométrico que representa el debilitamiento de una señal sonora a medida que se propaga desde la fuente. La pérdida por atenuación incluye los efectos de absorción, dispersión, viscosidad, y pérdida termal.

Las ecuaciones a continuación pueden utilizarse para un cálculo aproximado de cómo la energía sonora se disipa en función de la distancia R de la fuente.

2.1.12 *Pérdida por Esparcimiento Esférico - Spherical Spreading*

Cuando el sonido puede propagarse en forma uniforme en todas las direcciones, TL se calcula:

$$TL(\text{dB}) = 20 \cdot \log\left(\frac{R}{1 \text{ m}}\right)$$

2.1.13 *Pérdida por Esparcimiento Cilíndrico-Cylindrical Spreading*

Cuando $R \geq H$ (H es la profundidad del agua), el sonido no puede propagarse como onda esférica en todas las direcciones, sino únicamente como una onda cilíndrica limitada por el fondo marino y la superficie del mar. En este caso, TL está dada por:

$$TL(\text{dB}) = 10 \cdot \log\left(\frac{R}{1 \text{ m}}\right)$$

2.1.14 *Pérdida por Propagación Combinada*

En general, el sonido se propagará en forma esférica cerca de la fuente. En ciertos rangos H, la onda esférica llega al fondo marino, y de allí, el sonido se propaga en forma cilíndrica.

En un rango R mayor que la profundidad del agua H, TL es:

$$TL(\text{dB}) = 10 \cdot \log\left(\frac{H}{1 \text{ m}}\right) + 10 \cdot \log\left(\frac{R}{1 \text{ m}}\right)$$

2.1.15 *Atenuación*

La atenuación es la disminución de la intensidad por unidad de distancia que viaja el sonido. Las pérdidas por atenuación son causadas tanto por absorción como por dispersión.

La ecuación de la pérdida por transmisión debida a la atenuación es:

$$TL(\text{dB}) = \alpha \cdot R$$

El coeficiente de atenuación, α , se expresa en dB/km y R en km.

En general la atenuación es irrelevante a frecuencias por debajo de 10.000 Hz (Urlick, 1983).

En resumen, podría decirse que el factor dominante en todos los problemas de pérdida por transmisión en aguas profundas es la propagación esférica. Por lo tanto, es generalmente el único factor significativo para determinar la pérdida por transmisión.

2.1.16 Nivel Recibido (RL)

El nivel recibido de sonido puede calcularse simplemente restando la pérdida por transmisión del nivel de fuente.

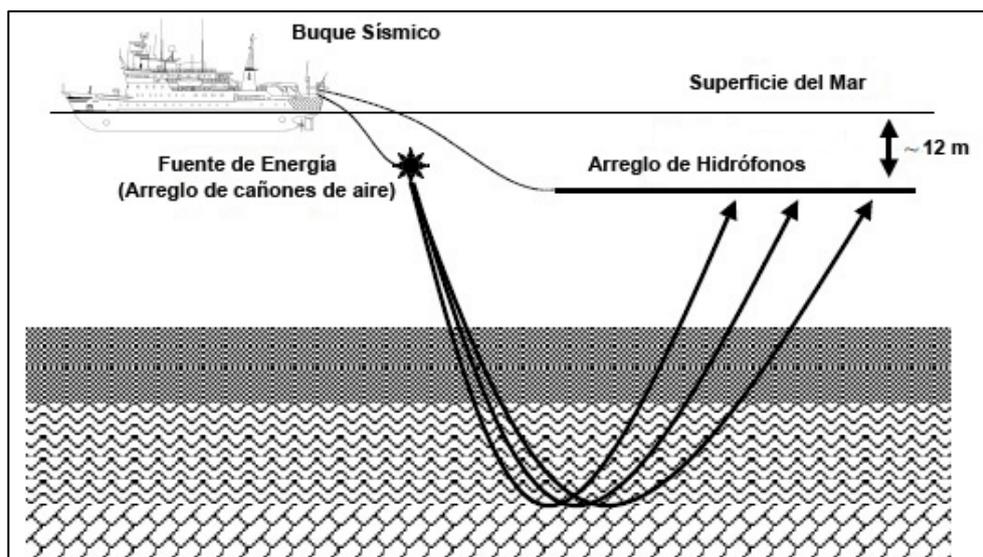
$$RL(\text{dB}) = SL - TL$$

2.2 RELEVAMIENTOS SÍSMICOS MARINOS 3 D

Los relevamientos sísmicos marinos modernos con cañones de aire comprimido son capaces de obtener imágenes tridimensionales de alta resolución de la corteza terrestre hasta varios kilómetros de profundidad. Por esta razón se han convertido en una herramienta esencial para la industria del petróleo y el gas. Un relevamiento 3D convencional con cañones de aire comprimido es operado desde un único buque de relevamiento que remolca tanto la fuente sísmica como el dispositivo receptor, según se muestra en la Figura N° 2.

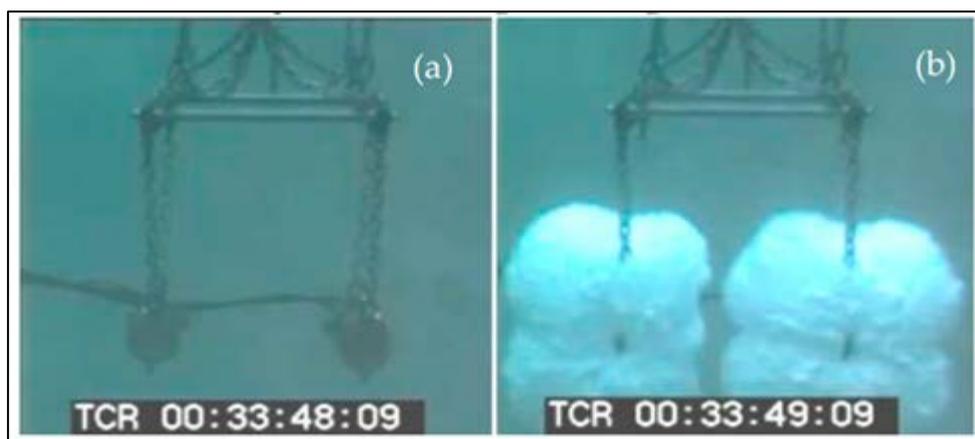
El equipo receptor consiste en uno o más cables sísmicos (streamer) de varios kilómetros de largo que contienen cientos de hidrófonos sensibles para detectar los ecos del pulso sísmico reflejado de las características del subsuelo. La fuente sísmica consiste en un arreglo de cañones de aire comprimido compuesta por varios cañones individuales que se disparan al mismo tiempo para generar un pulso sísmico funcionando como un solo cañón.

Figura N° 2: Relevamiento sísmico 3D convencional con cañones de aire comprimido



Fuente: WDGS, 2004

Figura N° 3: Imágenes de 2 cañones de aire comprimido. Antes (a) e inmediatamente después de los disparos (b)



Fuente: Vibroacoustics Group CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Si bien el arreglo de cañones dirige la propagación del sonido principalmente hacia el fondo del mar, se produce propagación del sonido en todas las direcciones, ya sea con uno o con varios cañones de aire comprimido.

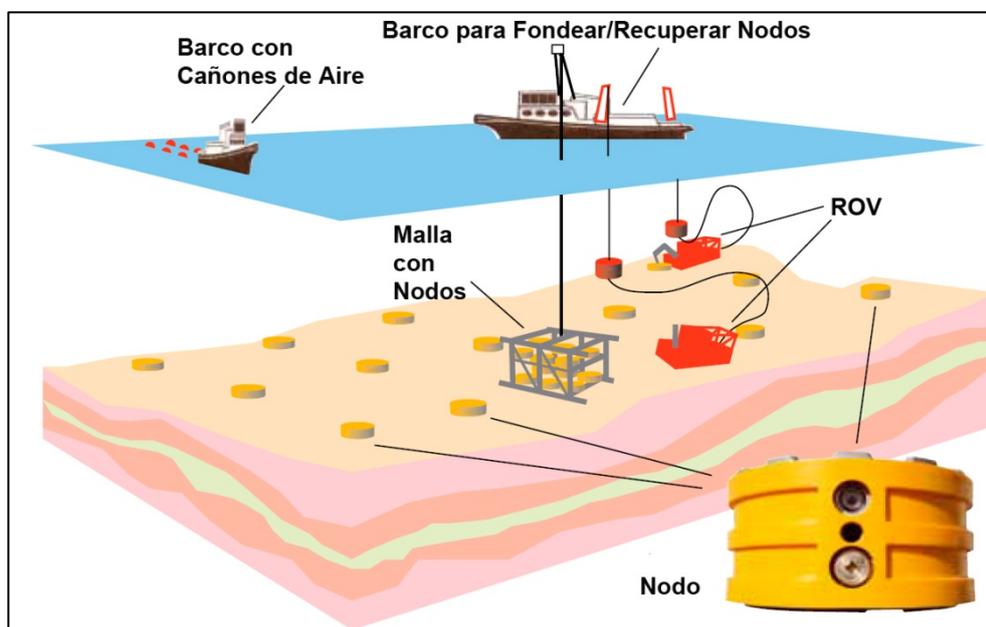
El impacto de los relevamientos sísmicos en la fauna marina del entorno es cuestión de interés debido a la propagación significativa del sonido lateral. La Figura N° 3 muestra la secuencia del disparo de una serie horizontal de 2 cañones.

Si bien un relevamiento 3D convencional utilizando un streamer remolcado por un buque sísmico puede proporcionar datos de alta calidad, podrían presentarse algunas limitaciones debido a la presencia de obstáculos tales como las plataformas de producción.

Estas limitaciones motivaron la búsqueda de nuevas tecnologías y alternativas tales como Ocean Bottom Nodes (OBN), y Ocean Bottom Cables (OBC), que

son los dos principales métodos de adquisición de datos sobre el fondo marino. Los OBN y los OBC son desarrollos de los Ocean Bottom Seismometer (OBS).

Figura N° 4: Adquisición de datos sísmicos con OBN



Fuente: OGP, 2011

La motivación para el empleo de OBN y OBC no solamente son los obstáculos que podrían afectar al streamer remolcado por un buque sísmico, sino que ellos proporcionan geometrías de azimuth completo. Esto es clave para formar imágenes de estructuras complejas en el subsuelo marino (Grion, 2007).

Otra ventaja que proporciona el uso de nodos de fondo consiste en la flexibilidad ya que se pueden implementar y desplegar casi en cualquier lugar. Por lo general se emplean vehículos operados en forma remota (ROV) para desplegar los nodos en el fondo marino y posteriormente recuperarlos. En el caso particular del proyecto Restinga Alí Offshore, los OBN se desplegarán desde una barcaza adecuada para tal fin.

Los OBN son autónomos ya que tienen capacidad de grabar datos en su interior mientras que los OBC están conectados por cables entre sí y a un buque donde se guardan los datos.

2.2.1 Firma del Arreglo

Es común en la industria sísmica calcular la salida de una fuente sísmica en particular, en términos de presión versus tiempo, lo que se llama firma de presión o firma del arreglo. Un modo alternativo de presentar el concepto de energía total es transformar matemáticamente la señal de presión por análisis de frecuencia y presentarlo como espectro de potencia o de amplitud.

Para determinar la energía pico a pico de una serie, su firma se mide a una distancia de la fuente conocida como el campo lejano. Este es un punto donde

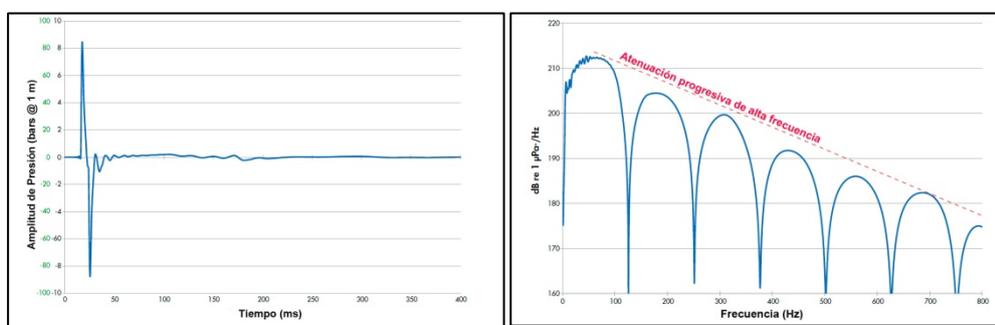
las señales producidas por los cañones individuales presentan interferencia constructiva, generalmente 250 m – 300 m debajo de ellos.

Esta firma del campo lejano es luego utilizada para definir un nivel nominal puntual, a 1 m del centro del arreglo, multiplicando la firma por la distancia radial de este punto al hidrófono.

Este nivel nominal puntual es un nivel de presión sonora teórico. Debido a la interferencia parcial destructiva entre las señales de los cañones individuales, el nivel real en este punto tiende a ser 10 veces (20 dB) menor que el nivel nominal (Landrø and Amundsen, 2010).

La Figura N° 5 muestra el campo lejano de la firma y la amplitud del espectro de una fuente sísmica típica.

Figura N° 5: Firma vertical de un arreglo típico de cañones de aire



Fuente: ERM y JBA& Asociados adaptado de OGP, 2011

Si bien las fuentes de cañones de aire comprimido son fuentes acústicas de banda ancha que proyectan energía en un rango de frecuencias que va desde menos de 10 Hz hasta más de 5.000 Hz la mayor parte de la energía es producida en el rango de frecuencias de 10 Hz a 200 Hz (MacGillivray, 2006).

Tal como se muestra en la Figura N° 5 la mayor parte de la energía emitida se produce en un intervalo de alrededor de 10 a 20 milisegundos, es decir cerca de la fuente.

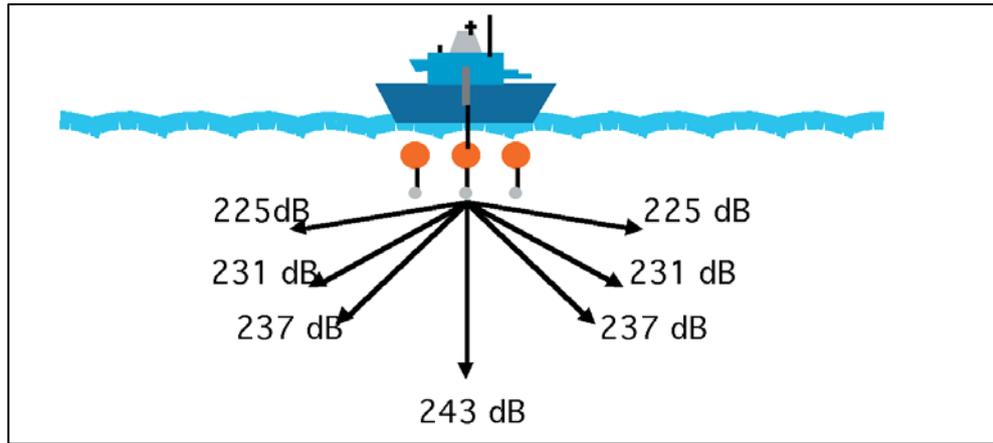
2.2.2 Directividad de la Fuente Sísmica

Le energía producida por las fuentes de cañones de aire comprimido es mayormente dirigida en dirección vertical hacia abajo. Sin embargo, parte de esa energía se transmite en forma horizontal y éste resulta ser precisamente el fenómeno de mayor interés cuando se estudian los impactos sobre la biota.

Según Caldwell (Caldwell, 2000), los niveles de amplitud sonora emitidos en forma horizontal serán alrededor de 20 dB menores que aquellos emitidos en forma vertical.

En el gráfico de la Figura N° 6 se muestra el patrón de radiación vertical de una fuente típica de cañones de aire comprimido con amplitud RMS pico a pico de 243 dB re1 µPa a 1 m.

Figura N° 6: Patrón de radiación vertical de una fuente típica de cañones de aire comprimido



Fuente: Caldwell, 2000

MODELACIÓN DE LAS PÉRDIDAS POR TRANSMISIÓN EN EL ÁREA EL PROYECTO

La propagación del sonido bajo el agua es un fenómeno complejo y las leyes de propagación esférica para la intensidad del sonido no proporcionan una descripción precisa del campo sonoro en el océano.

En general, se requiere un modelo numérico que resuelva las ecuaciones físicas que gobiernan la propagación acústica en el océano, para modelar con precisión la transmisión del sonido.

Los modelos de propagación acústica generalmente calculan el campo de presión generada por una fuente puntual omnidireccional, el cual convertido a decibeles equivale a la pérdida de intensidad sonora por transmisión.

La ventaja de este enfoque es que el nivel de sonido recibido a una distancia determinada de la fuente, puede calcularse simplemente restando la pérdida por transmisión del nivel de la fuente, es decir:

$$RL(\text{dB}) = SL - TL$$

Debe observarse que estas cantidades se expresan en decibeles y son funciones de la posición, frecuencia y ángulo del haz acústico.

De esta manera, la pérdida de transmisión acústica puede modelarse por separado de la fuente, ya que la pérdida por transmisión y el nivel de fuente se supone que son independientes.

3.1

CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DEL MODELO NUMÉRICO EMPLEADO

El modelo numérico empleado es el BELLHOP Ray Beam Model (Porter y otros, 1987). Este modelo utiliza un haz acústico con una distribución gaussiana de energía y estima el campo acústico con gran eficiencia a través del seguimiento de haces acústicos en lugar de rayos.

BELLHOP difiere de los modelos estándar de rayos en el uso de una variante denominada rastreo de haz geométrico. Para aquellos familiarizados con las implementaciones tradicionales de trazado de rayos, los resultados obtenidos a menudo son asombrosamente precisos. El modelo calcula las pérdidas por transmisión en función de la distancia a la fuente.

El nivel sonoro que recibe el receptor es igual al nivel emitido por la fuente menos las pérdidas debidas al medio y naturaleza del sonido.

Los parámetros que ingresan al modelo se relacionan principalmente con las propiedades acústicas del medio en el cual el sonido se propaga, tanto en agua

como en los sedimentos del fondo marino. Los datos básicos requeridos por el modelo son entre otros:

- Batimetría
- Perfiles de velocidad del sonido
- Propiedades geo-acústicas de los sedimentos de fondo marino

3.2 DETALLES DE LA FUENTE SÍSMICA

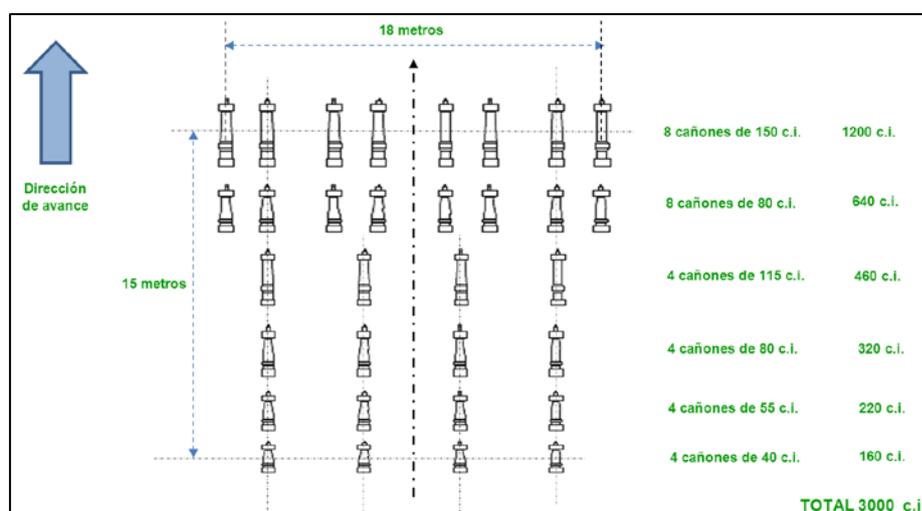
La fuente sísmica consistirá en un arreglo de cañones de aire comprimido cuyas características se sintetizan en la Tabla N° 1.

Tabla N° 1: Características de la Fuente Sísmica

Características de la Fuente Sísmica	Valor
Cantidad de arreglos	1
Longitud del arreglo	15,1 m
Ancho del arreglo	18 m
Cantidad de subarreglos	4
Volumen del arreglo	3.000 in ³
Número de cañones por arreglo	32
Número de cluster por arreglo	1
Presión de operación	2.000 psi
Distancia entre disparos	50 m
Profundidad de la fuente en offshore cercano	5 m / 7 m
Amplitud pico a pico	86,4 bar-m
Proporción primaria/burbuja	9 a 10

Fuente: YPF, 2014

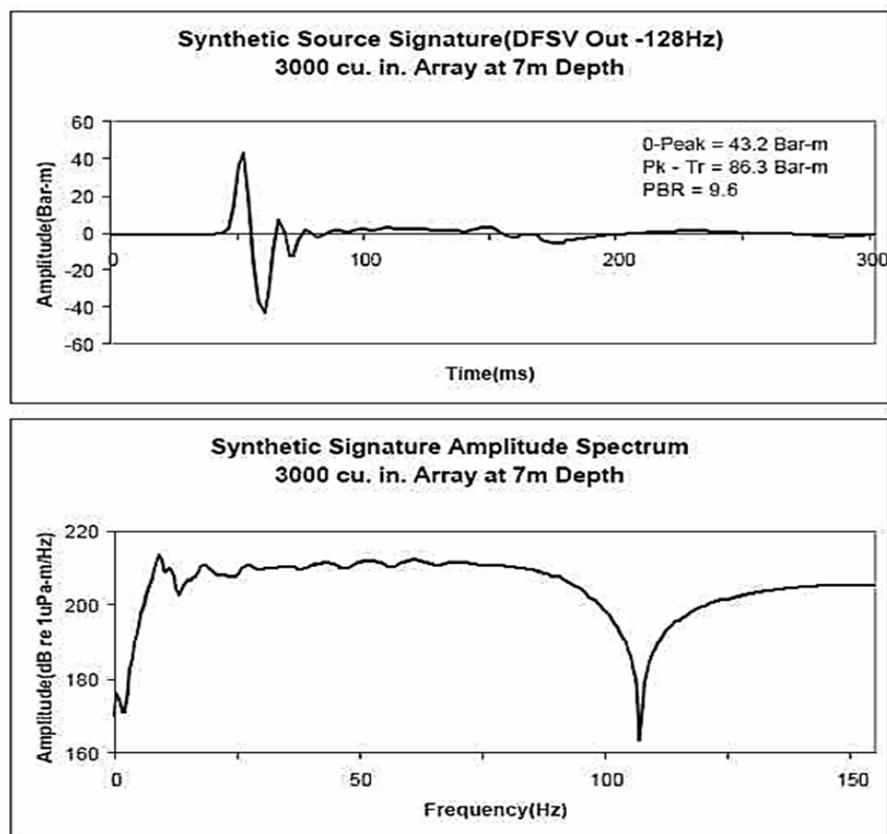
Figura N° 7: Esquema del arreglo de cañones de aire propuesto para el proyecto



Fuente: YPF, 2014

La Figura N° 7 muestra un esquema del arreglo propuesto para el presente proyecto y la Figura N° 8 muestra la firma del arreglo a utilizar.

Figura N° 8: Firma del arreglo propuesto para el proyecto



Fuente: YPF, 2014

Cabe destacar que es común ubicar varios cañones de aire comprimido por lo general de 2 a 4, en grupo, de modo que los cañones estén tan cerca unos de otros que se comporten como un único cañón. Esto se realiza para mejorar las características de la señal.

Durante el relevamiento, la fuente disparará a intervalos de 50 m. Considerando 2,5 m/s (4,8 nudos/ 5 nudos) una velocidad típica del buque disparador, se realizará un disparo cada 20 s aproximadamente.

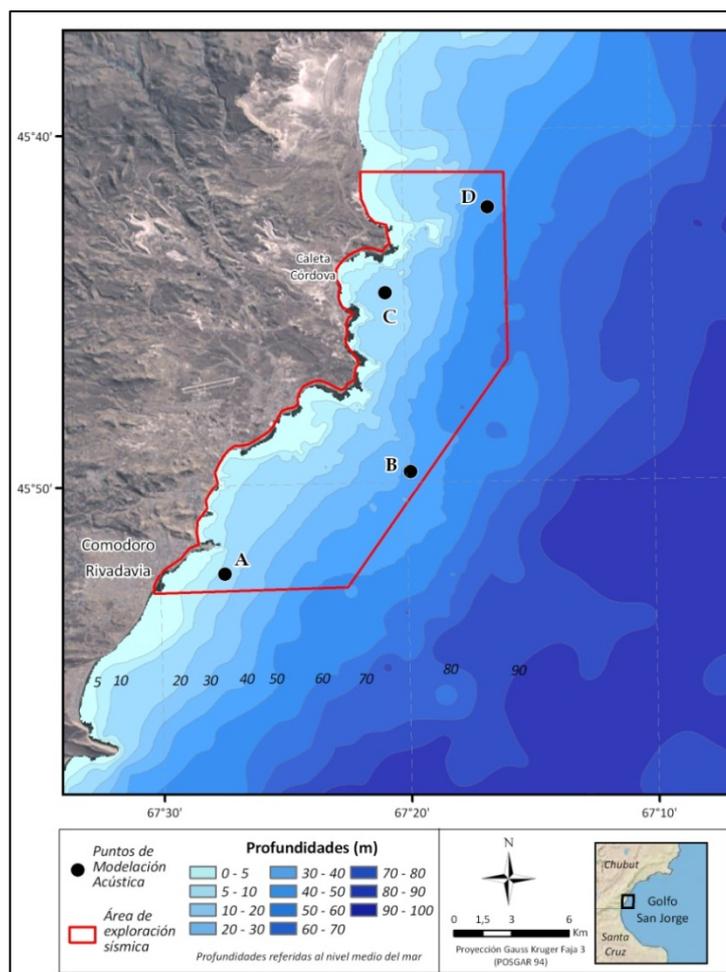
3.3 **ÁREA EN ESTUDIO Y POSICIONES SELECCIONADAS PARA LA FUENTE SÍSMICA**

El área correspondiente al proyecto "3D Restinga Alí Offshore" ocupa una estrecha franja costera de 197 km² en la parte central del golfo. Esta se extiende en dirección E-W desde la línea de costa hasta una distancia aproximada de 10 km mar adentro y en dirección N-S desde 45° 41'S hasta 45° 53'S.

Para la modelación de las pérdidas por transmisión las posiciones de la fuente sísmica se distribuyeron cubriendo el área del proyecto en dirección paralela a la costa, a distintas profundidades.

Para ello, se seleccionaron cuatro posiciones distintas para la fuente según indican los puntos A, B, C y D de la Figura N° 9.

Figura N° 9: Área en estudio y puntos de modelación seleccionados



Fuente: ERM y JBA& Asociados, 2014

En la Tabla N° 2 se indica la profundidad de cada punto referida al Nivel Medio del Mar (NMM), la posición usando coordenadas Gauss-Krüger Faja 3 y las coordenadas geográficas (WGS84).

Tabla N° 2: Puntos donde se ubicó la fuente sísmica para la modelación de las pérdidas por transmisión

Punto	Profundidad	X GK_3	Y GK_3	Latitud (°)	Longitud (°)
A	13 m	3.386.990	4.918.889	45,87567654° S	67,45556555° O
B	40 m	3.396.681	4.924.304	45,82849505° S	67,32962366° O
C	17 m	3.395.354	4.933.727	45,74354675° S	67,34464596° O
D	46 m	3.400.701	4.938.242	45,70372022° S	67,27503786° O

Fuente: ERM y JBA& Asociados, 2014

3.4

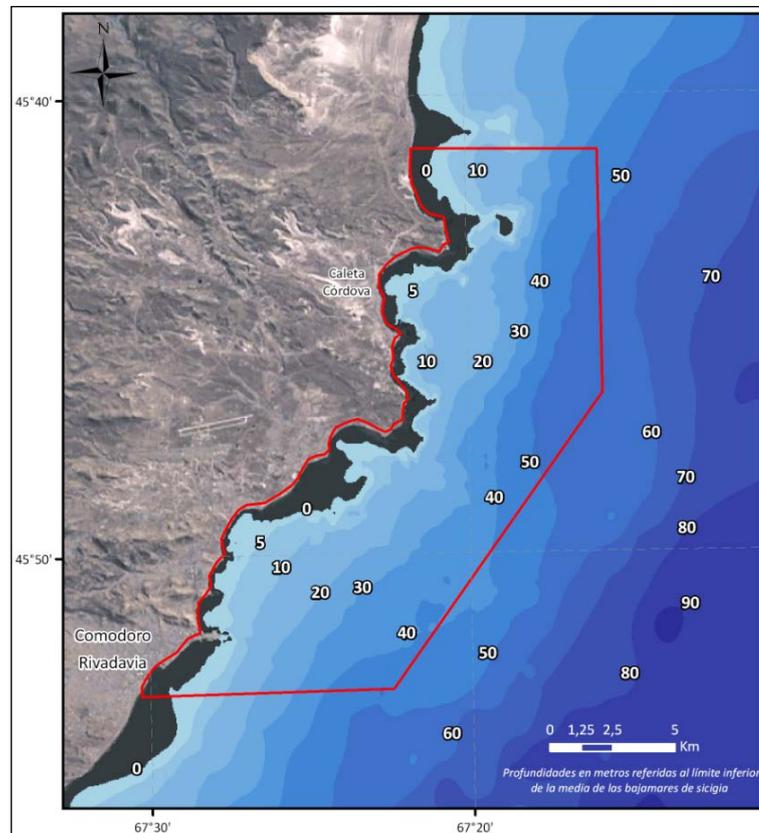
BATIMETRÍA

Las profundidades del área del proyecto van desde 0 m hasta cerca de 55 m en las zonas más profundas. Las isobatas siguen aproximadamente el contorno de la línea de costa con orientación SW-NE.

La isobata de 10 m se encuentra a una distancia de la costa que varía entre 1 km frente a Punta Novales y 0,3 km frente a Punta Borja. La isobata de 40 m

con un trazado casi paralelo a la anterior se separa de la costa entre unos 4 km frente a Punta Novales y 5 km frente a Punta Borja.

Figura N° 10: Batimetría del área del proyecto



Fuente: JBA& Asociados, 2014

Debe tenerse en cuenta que las profundidades indicadas en la Figura N° 10 están referidas al plano de reducción que pasa 3,14 m por debajo del Nivel Medio del Mar (NMM), de modo que si se desea referir estas profundidades al NMM deberán sumarse a las mismas 3,14 m.

Para describir la batimetría del área de estudio y de las zonas contiguas se utilizaron las cartas náuticas del SHN (Servicio de Hidrografía Naval) cuyos nombres se indican en la Tabla N° 3.

Tabla N° 3: Referencias cartográficas utilizadas en el presente estudio

Carta Número	Título	Fuente	Escala
12	Golfo San Jorge. De Cabo Dos Bahías a Punta Médanos	SHN	1:100.000
13	Golfo San Jorge. De Punta Médanos a Isla Quintano	SHN	1:100.000
14	Canal Leones y Bahía San Gregorio	SHN	1:20.000
14	Fondeadero Leones	SHN	1:7.500
15	Golfo San Jorge. Bahías Gil y Huevo	SHN	1:10.000
15	Caleta Horno	SHN	1:2.500
16	Golfo San Jorge. De Punta Guanacos a Punta Castillos	SHN	1:20.000
17	Golfo San Jorge. Isla Tova	SHN	1:25.000
19	Cabo Tres Puntas a Bahía Laura	SHN	1: 200.000
19	Cabo Blanco. Caleta Sur	SHN	1:7.500
H-310	Golfo San Jorge	SHN	1:350.000
H-355	Bahía Solano	SHN	1:30.000
H-356	Caleta Córdova y Olivares	SHN	1:20.000
H-357 A	Rada Comodoro Rivadavia	SHN	1:20.000
H-357 B	Puerto Comodoro Rivadavia	SHN	1:5.000
H-359	Caleta Olivia y Caleta Paula	SHN	1:25.000
H-359	Puerto Caleta Paula	SHN	1:12.500
37	Bahía Solano a Caleta del Fondo	SHN	1:100.000
59	Golfo San Jorge	SHN	1:400.000

Fuente: ERM y JBA & Asociados, 2014

3.5

CONVERSIÓN DE AMPLITUD SONORA PICO A PICO A NIVEL SONORO EFECTIVO

Según se indica en la Tabla N° 1, la presión sonora pico a pico de la fuente sísmica propuesta para el proyecto es 86,4 bar-m.

La presión sonora pico a pico fue convertida al nivel de fuente con la siguiente ecuación:

$$SPL(dB) = 20 \cdot \log\left(\frac{P}{P_{ref}}\right) \quad dB \text{ re. } 1\mu Pa$$

El nivel de fuente representa un nivel de fuente vertical estimado, pero no representa la conversión RMS ni los efectos horizontales de la fuente.

La conversión RMS se realizó restando 16 dB al valor pico a pico, dado que el nivel de presión sonora RMS es por lo general ~16 dB menor que el nivel pico a pico. Para estimar el nivel de amplitud sonora emitido en forma horizontal se restaron 20 dB del nivel de fuente vertical (Caldwell, 2000).

La Tabla N° 4 muestra la conversión de la Presión sonora pico a pico (SPL pico a pico) al nivel de fuente efectivo (SL efectivo) para una fuente acústica de 86,4 bar-m.

Tabla N° 4: Conversión de la presión sonora pico a pico al nivel de fuente efectivo

SPL pico a pico (bar-m)	SPL (dB)	RMS (dB)	SL efectivo (dB)
86,4	258,7	242,7	222,7

3.6

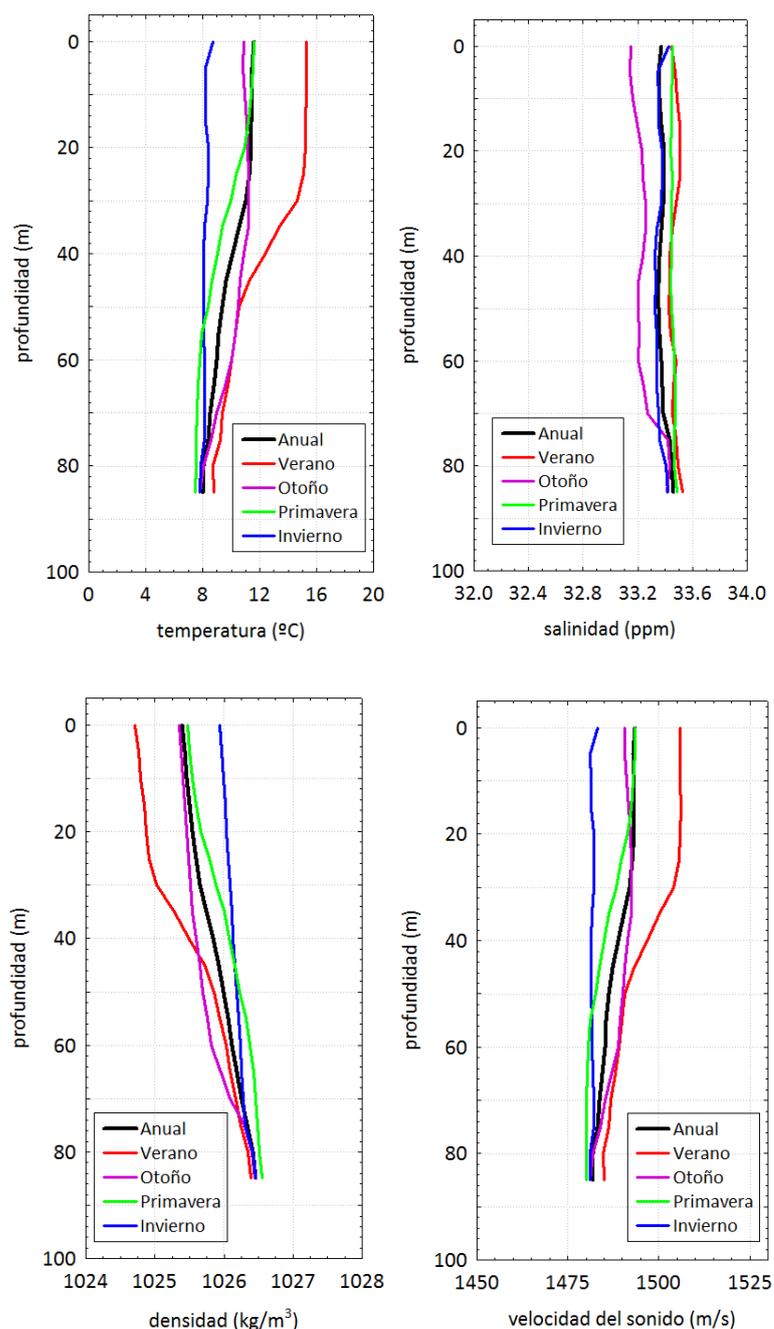
SENSIBILIDAD PARA LA VARIACIÓN ESTACIONAL DE LA VELOCIDAD DEL SONIDO

La velocidad de propagación del sonido en el agua de mar depende entre otros factores de la temperatura y de la salinidad. Estas variables oceanográficas típicamente presentan variaciones estacionales. Por ello, se analizaron datos de temperatura y salinidad provenientes de World Ocean Database en el área del proyecto. Esta base de datos contempla todas las estaciones argentinas de CEADO (Centro Argentino de Datos Oceanográficos), además de otras estaciones internacionales.

Estos datos fueron procesados y se calcularon valores de densidad del agua de mar y de velocidad del sonido por medio de programas desarrollados en MATLAB disponibles en librerías específicas del software. A partir de los valores obtenidos se generaron perfiles medios estacionales y anuales para cada variable.

Los perfiles obtenidos se presentan en la Figura N° 11.

Figura N° 11: Perfiles medios estacionales y anuales de temperatura, salinidad, densidad y velocidad del sonido

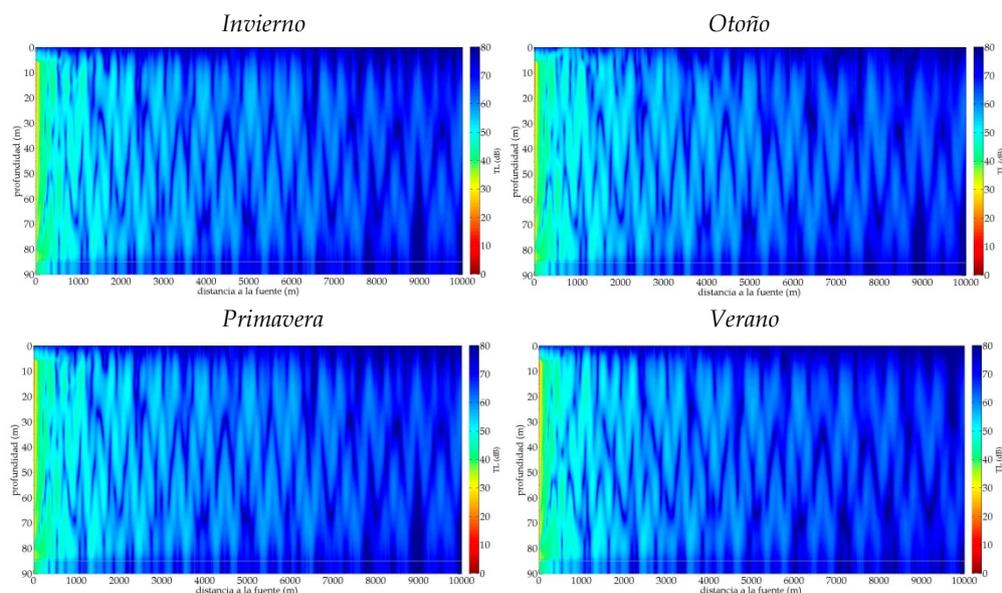


Fuente: ERM y JBA & Asociados, a partir de datos de World Ocean Database, 2014

Dado que los perfiles medios estacionales de velocidad del sonido presentaron variaciones estacionales de relativa importancia se decidió realizar corridas exploratorias del modelo acústico para estudiar el comportamiento del campo sonoro en el área del proyecto frente a dichas variaciones. Más específicamente, el interés se centró en conocer cómo se veían afectadas las pérdidas por transmisión del sonido, frente a las variaciones estacionales en la velocidad de propagación del sonido.

La Figura N° 12 muestra la variación de las pérdidas por transmisión con la distancia a la fuente y la profundidad, para condiciones oceanográficas medias estacionales en un punto situado dentro del área del proyecto.

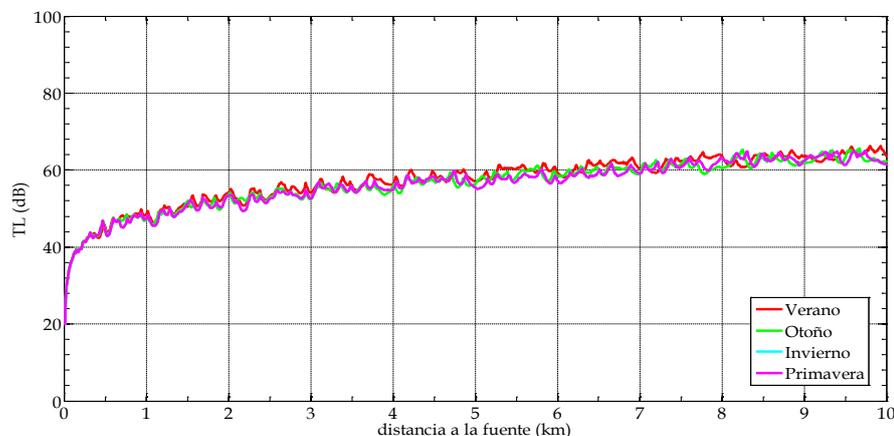
Figura N° 12: Variación de las pérdidas por transmisión con la distancia a la fuente y la profundidad, para condiciones oceanográficas medias estacionales



Fuente: ERM y JBA & Asociados, 2014

La Figura N° 13 muestra cómo varían las pérdidas por transmisión en función de la distancia a la fuente.

Figura N° 13: Variación de las pérdidas por transmisión con la distancia a la fuente para distintas estaciones.



Fuente: JBA & Asociados, 2014.

TL corresponde al valor mínimo encontrado en toda la columna de agua, aplicando un criterio netamente conservativo.

Dado que no se encontraron diferencias estacionales significativas en las pérdidas por transmisión, se decidió utilizar el perfil de velocidad del sonido media anual para la modelación.

3.7

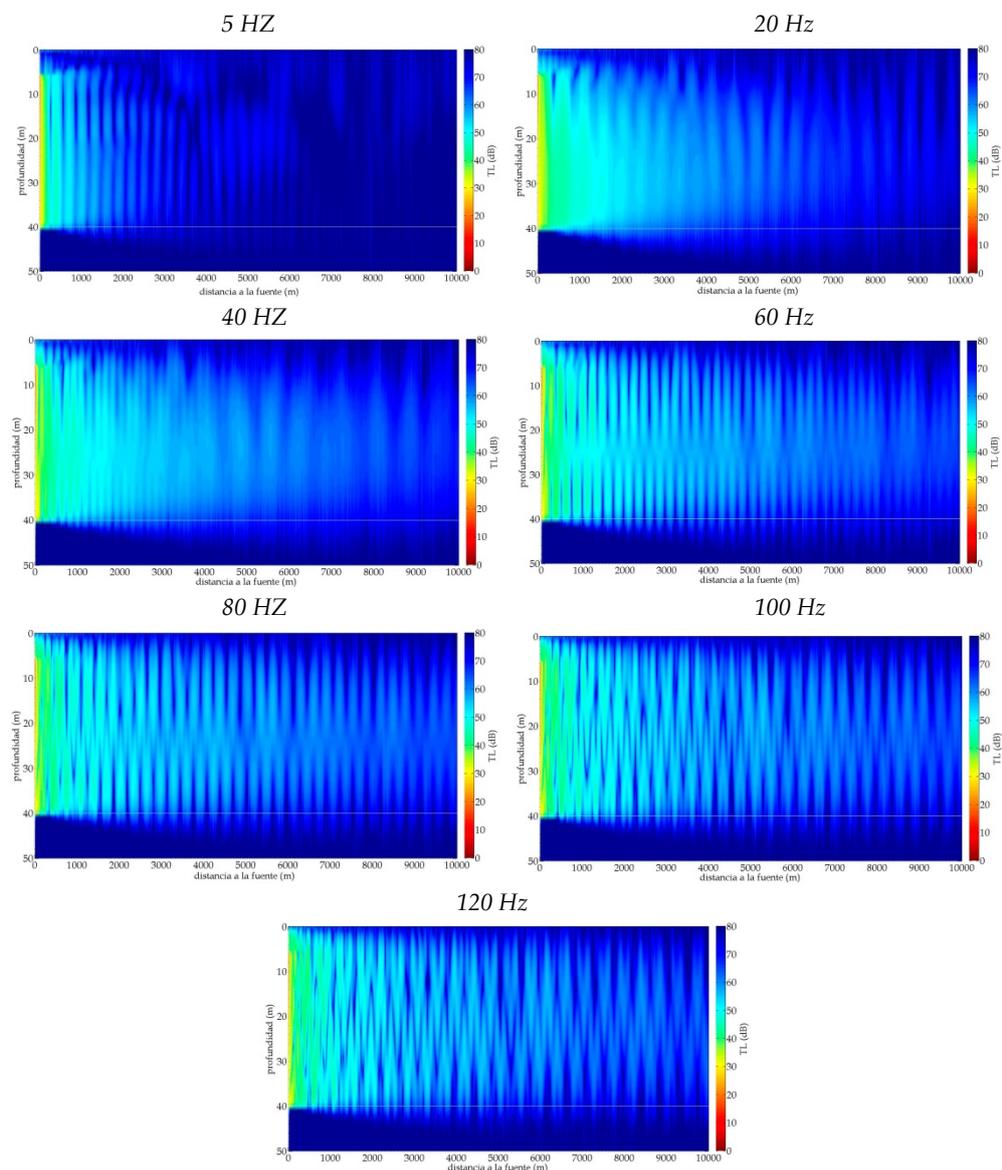
SENSIBILIDAD A LA FRECUENCIA

Las fuentes de cañones de aire comprimido, tal como se usan generalmente por la industria para los relevamientos sísmicos, son fuentes acústicas de banda ancha que proyectan energía en un amplio rango de frecuencias, de menos de 10 Hz a más de 5.000 Hz.

Sin embargo, estas fuentes están diseñadas para producir la mayor parte de la energía típicamente entre 5 Hz y 120 Hz, es decir a frecuencias útiles para los perfiles sísmicos.

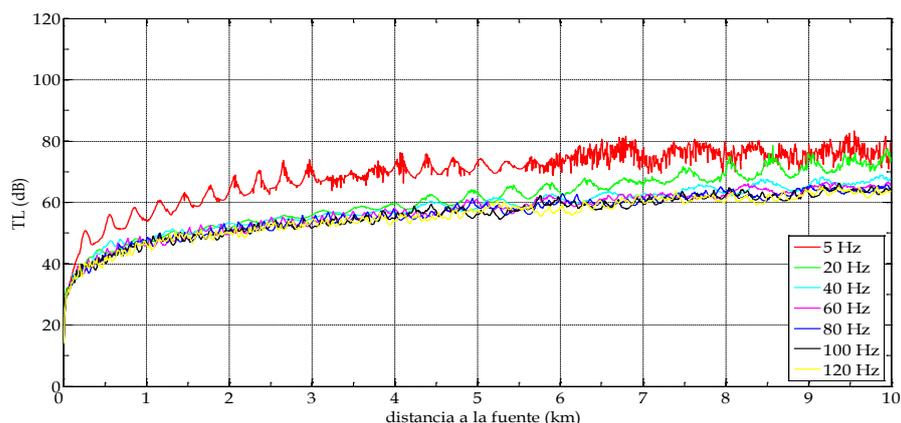
Se realizaron corridas exploratorias para frecuencias de 5 Hz, 20 Hz, 40 Hz, 60 Hz, 80 Hz, 100 Hz y, 120 Hz mantenido constantes otros parámetros.

Figura N° 14: Variación de las pérdidas por transmisión con la distancia a la fuente y la profundidad, para frecuencias típicas de los estudios sísmicos



Fuente: ERM y JBA & Asociados, 2014

Figura N° 15: Variación de las pérdidas por transmisión con la distancia a la fuente para distintas frecuencias.



Nota: TL corresponde al valor mínimo en la columna de agua.

Fuente: ERM y JBA & Asociados, 2014

Los resultados indican que es posible representar todas las frecuencias por una de ellas, sin pérdida de generalidad.

Dado que la frecuencia de 60 Hz se encuentra en el medio del rango de frecuencias de interés ambiental en los estudios sísmicos, se seleccionó con criterio conservativo como entrada al modelo para todas las corridas.

3.8

PROPIEDADES GEO-ACÚSTICAS DE LOS SEDIMENTOS

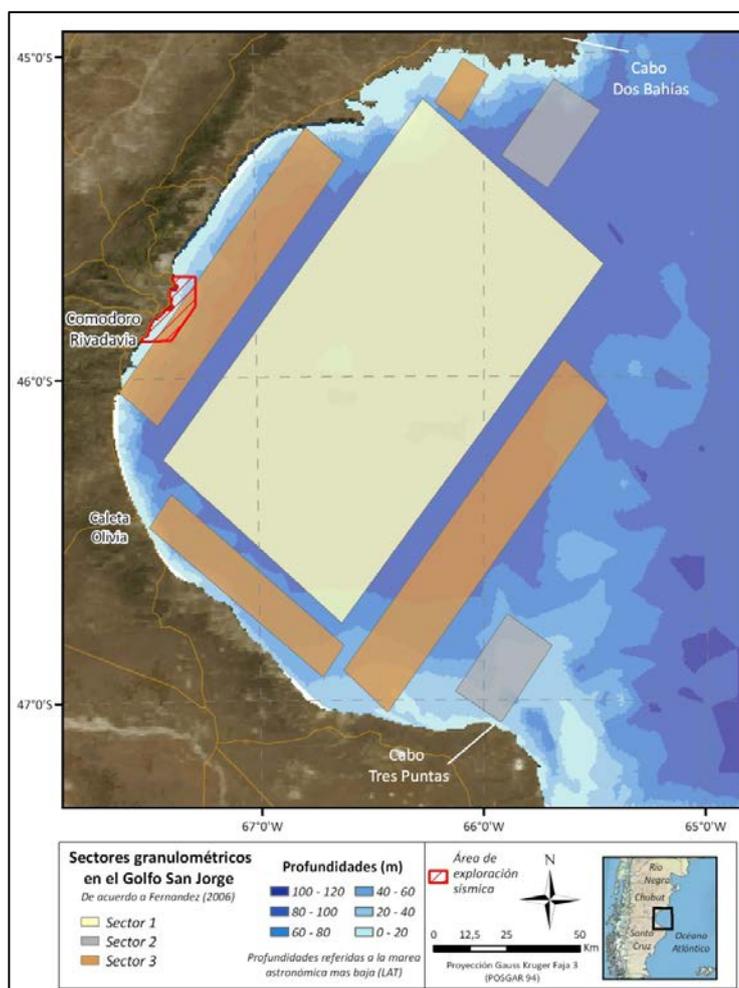
A continuación se indican las fuentes consultadas en el presente estudio para conocer la composición de los sedimentos marinos en el área del proyecto.

- Cartas náuticas del Servicio de Hidrografía Naval (H357A, H310, 37, H356);
- Mediciones de las campañas marinas de muestreo realizadas por buques de investigación del INIDEP (Instituto de Investigación y Desarrollo Pesquero) presentadas en Fernández (2006);
- Bibliografía científico-técnica especializada.

El área del Golfo San Jorge se caracteriza por la presencia de fracciones granulométricas gruesas y finas, lo cual comprende 20 clases texturales que van desde grava (partículas mayores de 4 mm) hasta arcillas muy finas (partículas más pequeñas que 4 mm).

De acuerdo a Fernández (2006), el GSJ puede dividirse en 3 sectores bien definidos en cuanto a la granulometría de sus sedimentos superficiales, según muestra la Figura N° 16.

Figura N° 16: Sectores del Golfo San Jorge según la granulometría de los sedimentos superficiales



Fuente: ERM y JBA & Asociados, 2014, adaptado de Fernández (2006)

- Sector 1: comprende las zonas costeras que incluyen al Cabo Dos Bahías y al Cabo Tres Puntas. Está caracterizado por el predominio de gravas y arenas (fracción granulométrica gruesa);
- Sector 2: comprende la zona central y profunda del golfo, donde predominan limos y arcillas;
- Sector 3: comprende la zona costera y la zona SE entre Cabo Tres Puntas y el interior del golfo, considerado un sector de transición entre los sectores A y B. En esta zona predominan las arenas finas.

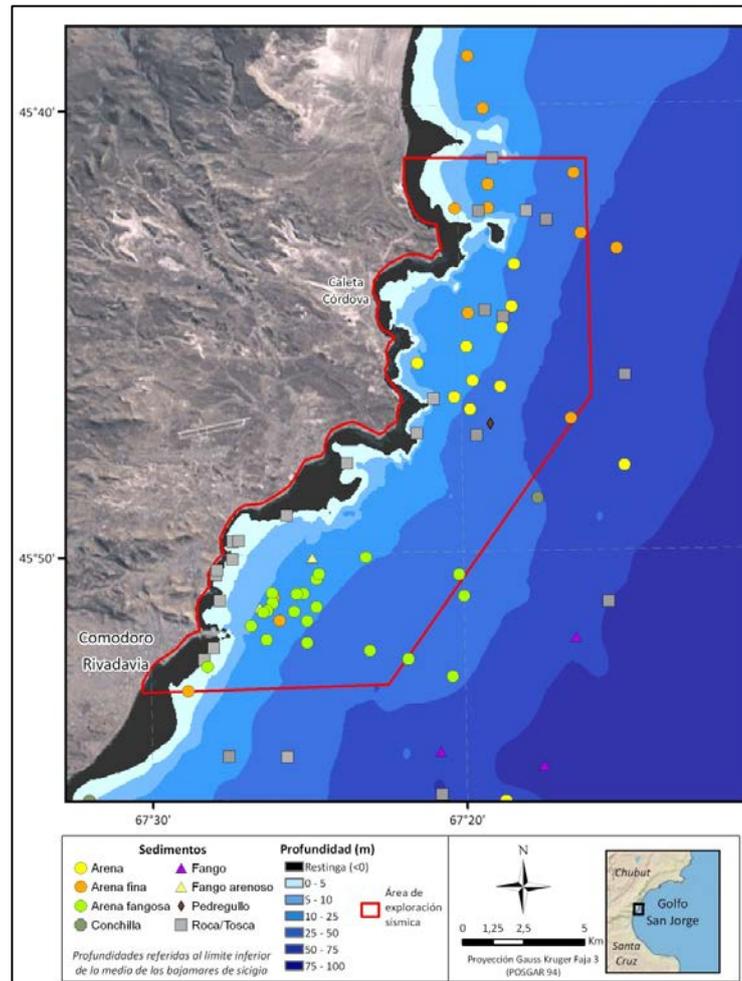
En la Figura N° 16 puede verse que la zona donde se hará el relevamiento sísmico se ubica en el Sector 3, donde predominan las arenas finas.

Una inspección más detallada de los sedimentos presentes en la zona de exploración se observa en la Figura N° 17, construida en base a información de las cartas náuticas del SHN.

Si bien los sedimentos en el área en estudio corresponden a distintos tipos de arena, en coincidencia con los resultados presentados en Fernández (2006), se destaca la presencia de rocas (sedimentos consolidados) en las plataformas de abrasión o restingas.

Estas rocas están compuestas de los mismos materiales que los acantilados costeros y, en la Patagonia, corresponden en su gran mayoría a rocas sedimentarias del terciario, conocidas como sedimentitas. (Schillizzi et al. 2004).

Figura N° 17: Sedimentos superficiales en la zona del proyecto según cartas náuticas del SHN



Fuente: ERM y JBA & Asociados, 2014

El modelo de propagación acústica utilizado en este informe requiere de información básica sobre las propiedades geoacústicas de los sedimentos marinos para su adecuado funcionamiento.

Estas propiedades se resumen en cinco parámetros que sirven de entrada al modelo:

- Velocidad del sonido compresional, C_p ;
- Velocidad del sonido de corte o transversal, C_s ;
- Densidad, ρ ;
- Coeficiente de atenuación compresional, A_p ; y
- Coeficiente de atenuación de corte o transversal, A_s .

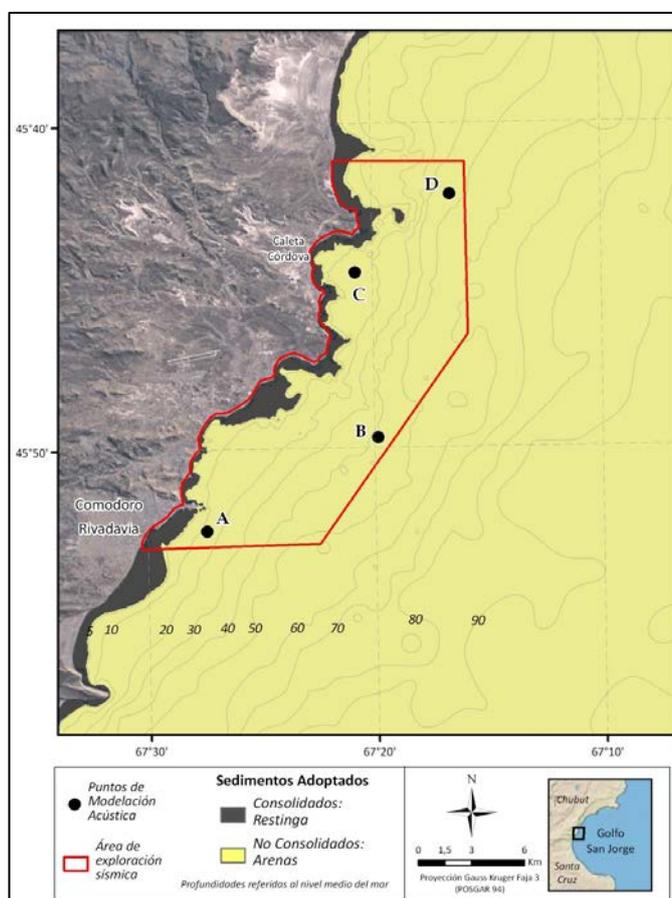
Los dos últimos parámetros dominan el campo acústico, en términos de pérdidas por transmisión.

Debido a las grandes diferencias que existen en las propiedades geo-acústicas entre los sedimentos superficiales presentes en el área de exploración, se decidió considerar dos grupos:

- Sedimentos no consolidados: con propiedades geo-acústicas que representan el rango de las arenas; y
- Sedimentos consolidados: con propiedades geo-acústicas que representan la roca de las restingas.

La Figura N° 18 muestra las zonas del área del proyecto donde se encuentra cada uno de los dos tipos de sedimentos considerado.

Figura N° 18: Ubicación en el área del proyecto de los dos tipos de sedimentos adoptados para la modelación de las pérdidas por transmisión



Fuente: ERM y JBA & Asociados, 2014

Las zonas de restingas se adoptaron como aquellas con profundidad menor a 3,14 m, que son las profundidades que se encuentran por encima del plano de reducción de sondajes para la región.

Si bien pueden existir casos puntuales donde esto no se cumple como por ejemplo en el puerto de Comodoro Rivadavia, la suposición resulta adecuada para el área del proyecto.

El modelo acústico empleado requiere como dato de entrada el espesor sedimentario. Ante la falta de estos para el área en estudio, se adoptó espesor infinito aplicando un criterio netamente conservativo.

En la literatura especializada se suministra un rango de variación de los parámetros geo-acústicos inclusive para un mismo tipo de sedimento, ya que estos varían mucho dependiendo de las características del medio, del método de campo o laboratorio de medición y del tratamiento empírico-teórico aplicado.

En vista de la dispersión de los datos presentados en la literatura, se adoptó un criterio razonable y ambientalmente conservador para la elección de los valores de los coeficientes de entrada al modelo acústico.

3.8.1 *Propiedades geoacústicas de los sedimentos no consolidados: arenas*

Jackson & Richardson (2007) presentan una tabla en la cual se recopila información de las propiedades geoacústicas de las arenas para una gran cantidad de sitios/experimentos. Esta recopilación se presenta en la Tabla N° 5.

Tabla N° 5: Recopilación de propiedades geoacústicas para distintos tipos de arena

Sitio/ Experimento	C _p (m/s)	A _p (dB/λ)	η (%)	ρ (g/cm ³)	C _s * (m/s)	A _s * (dB/λ)	Tipo de Sedimento
RussRiver	1.546	0,90	64	1,597	57	0,71	Arena arcillosa
Tellaro	1.614	0,75	51	1,82	81	0,62	Arena-limo-arcilla
Arafura	1.511	1,31	72	1,494	45	0,75	Arena arcillosa
Monasteroli	1.652	0,91	47	1,891	94	0,60	Arena-limo-arcilla
Eck94	1.610	0,85	59	1,659	79	0,70	Arena-limo-arcilla
JDF1	1.618	0,96	55	1,8	82	0,66	Arena fina arcillosa
VAzzura	1.686	0,66	45	1,911	106	0,60	Arena limosa
Misby/fine	1.682	0,82	—	—	104	-	Arena muy fina
Tirrenia	1.683	0,54	46	1,906	105	0,60	Arena muy fina
JDF6	1.668	1,31	48	1,922	99	0,61	Arena fina
Quinault	1.709	0,76	42	1,971	114	0,57	Arena fina
TBay/fine	1.746	0,90	40	2,013	127	0,57	Arena fina
PC84	1.743	1,05	40	1,998	126	0,57	Arena fina
ATB/G40	1.652	0,91	57	1,716	94	0,69	Arena fina
LTB	1.717	1,36	44	1,929	117	0,59	Arena fina
Duck	1.759	0,51	40	2,051	131	0,57	Arena fina
MVCO	1.755	0,68	38	2,028	130	0,56	Arena fina
PCB I&II	1.755	0,77	40	2,018	130	0,57	Arena fina
JDF5	1.702	0,91	45	1,946	111	0,60	Arena fina
PCB99	1.764	0,59	39	2,02	133	0,57	Arena fina
SWEAT	1.748	0,93	40	2,007	127	0,57	Arena fina
ATB/B14	1.753	0,47	40	2,006	129	0,57	Arena fina
SG98-8	1.747	1,16	40	2,026	127	0,54	Arena fina
MonPt	1.744	0,40	37	2,045	126	0,57	Arena fina
JDF2	1.772	0,80	39	2,039	136	0,56	Arena media

Sitio/ Experimento	Cp (m/s)	Ap (dB/λ)	η (%)	ρ (g/cm ³)	Cs* (m/s)	As* (dB/λ)	Tipo de Sedimento
Charl/fine	1.728	1,21	40	2,001	120	0,56	Arena fina
NoSea	1.779	0,69	38	2,054	138	0,53	Arena media/fina
TOSSEX	1.763	0,71	36	2,075	133	0,57	Arena media/fina
NS	1.735	0,98	41	2,046	123	0,57	Arena media
IRB	1.745	1,23	41	2,023	126	0,58	Arena media
SG98-10	1.752	0,72	41	1,979	129	0,56	Arena media
SG98-9	1.747	0,90	39	2,01	127	0,56	Arena media
Charl/crse	1.729	1,33	40	2,006	121	0,62	Arena media
TBay/crse	1.754	2,68	45	1,966	129	0,54	Arena gruesa/fina
Hood Canal	1.767	0,82	36	2,108	134	0,55	Arena media
KB/bar	1.758	1,12	37	2,047	131	0,55	Arena media
PE99	1.771	0,68	37	2,052	135	0,55	Arena media
SAX99	1.766	0,78	37	2,066	134	0,55	Arena media
PE00	1.774	0,66	37	2,05	136	0,56	Arena media
PC93	1.709	1,73	41	2,008	114	0,60	Arena Gruesa
Misby/crse	1.762	0,64	–	–	132	-	Arena Gruesa
KB/lyn	1.709	2,51	40	2,02	114	0,56	Conchilla
PCII	1.716	1,68	41	2	116	0,57	Arena gruesa con conchilla
SG98-1	1.713	1,84	41	2,053	115	0,56	Conchilla

Fuente: Jackson & Richardson, 2007

* Cs y As fueron estimados de acuerdo a las regresiones lineales dadas en Jackson & Richardson (2007):
Cs (m/s) = -481 + 0,348 * Cp y As (dB m⁻¹ kHz⁻¹) = 42,2 + 2,2 * η

Empleando un criterio ambientalmente conservador se seleccionaron los menores coeficientes de atenuación compresional y de corte de los presentados en la Tabla N° 5 que son los que producen menores pérdidas de energía acústica.

Estos valores corresponden al experimento MonPt con Ap = 0,40 dB/λ y As = 0,54 dB/λ, aunque este último valor fue redondeado a 0,50 dB/λ en la modelación acústica realizada.

Estos valores son consistentes a los empleados en otras modelaciones acústicas en el GSJ.

Para la velocidad compresional del sonido, velocidad de corte y densidad se adoptaron los respectivos valores medios obtenidos con los datos presentados en la Tabla N° 5, a saber 1.720 m/s, 120 m/s y 2 g/cm³ respectivamente.

3.8.2

Propiedades geoacústicas de los sedimentos consolidados: Rocas sedimentarias del terciario

Si bien las rocas ocupan una pequeña porción de la superficie del área en exploración estas poseen características bien distintas de los sedimentos no consolidados y, ciertamente, presentan coeficientes de atenuación ostensiblemente menores.

Nuevamente existe una gran dispersión en la literatura en cuanto a las propiedades geoacústicas de las rocas. Sin embargo, Carbone et al. (1998) proponen como límites prácticos de los coeficientes A_p y A_s los valores de 0,05 dB/ λ y 0,1 dB/ λ que son los adoptados en el presente informe, siendo una elección ambientalmente conservadora.

De acuerdo a Jackson & Richardson (2007), la velocidad compresional en rocas sedimentarias saturadas es una función de la porosidad y los porcentajes relativos de arena y fango en su composición y, puede variar entre 2 km/s y 6 km/s.

La velocidad de corte oscila entre el 40% y 60% de la velocidad compresional. En este sentido se adoptaron valores intermedios de 3 km/s y 1,5 km/s para estos parámetros respectivamente.

La densidad fue estimada mediante la relación lineal propuesta en Carbone et al. (1998) con C_p , dando un valor de 2.400 kg/m³.

La Tabla N° 6 resume los valores de los coeficientes geo-acústicos adoptados para la modelación de las pérdidas por transmisión.

Tabla N° 6: Características geoacústicas para los dos tipos de sedimentos adoptadas para la modelación de las pérdidas por transmisión

Tipo de Sedimentos	Representa	C_p (m/s)	C_s (m/s)	ρ (kg/m ³)	A_p (dB/ λ)	A_s (dB/ λ)
No consolidados	Todo el rango de arenas	1.720	120	2.000	0,40	0,5
Consolidados	Restinga	3.000	1.500	2.400	0,05	0,1

Fuente: ERM y JBA & Asociados, 2014

3.9

DIRECCIÓN DE SALIDA CONSIDERADA PARA EL HAZ ACÚSTICO

Para cada posición de la fuente acústica se modelaron 36 radiales cada 10°, con batimetría variable y propiedades geo-acústicas variables.

Como se indicó anteriormente el modelo de propagación acústica proporciona las pérdidas de intensidad sonora por transmisión. El nivel recibido (RL) se calculó como el nivel efectivo de la fuente (SL) menos las pérdidas por transmisión (TL). Para TL se tomó el valor mínimo encontrado en toda la columna de agua.

4.1***TABLAS DE DISTANCIA VS. NIVEL SONORO RECIBIDO POR DIRECCIÓN***

Las Tablas a continuación muestran a qué distancia de la fuente sísmica el nivel sonoro recibido es de 190 dB, 180 dB, 175 dB, 160 dB, 150 dB y 140 dB respectivamente. Las direcciones se consideran a partir del N en los puntos seleccionados para ubicar la fuente sísmica, dentro del área en estudio.

Tabla N° 7: Distancias en m a las isopletas indicadas, por dirección respecto al N, punto A (profundidad respecto al NMM: 13 m)

Dir (°)	Isopletas					
	190 dB	180 dB	175 dB	160 dB	150 dB	140 dB
0	215	645	985	3.445	5.995	-
10	215	685	1.075	4.075	6.015	6.245
20	225	705	1.135	4.495	6.615	7.255
30	225	735	1.235	4.545	7.625	10.525
40	215	745	1.265	6.115	11.375	18.245
50	215	775	1.575	7.655	13.035	26.925
60	215	785	1.465	6.395	12.645	25.715
70	215	745	1.385	8.715	15.765	37.045
80	205	765	1.645	7.615	13.125	33.655
90	215	775	1.765	7.465	12.165	41.045
100	205	795	1.485	6.455	13.685	36.355
110	205	805	1.495	8.275	16.755	40.205
120	205	785	1.475	6.985	13.765	27.595
130	205	765	1.445	9.135	15.875	43.935
140	205	765	1.415	7.125	19.265	35.375
150	215	755	1.365	7.635	12.425	26.145
160	215	765	1.395	6.055	16.965	33.615
170	215	775	1.375	6.195	12.815	29.865
180	215	775	1.345	5.575	12.555	32.655
190	215	765	1.285	4.795	11.745	21.785
200	215	755	1.245	4.195	9.205	22.815
210	215	745	1.175	3.455	9.575	17.715
220	215	705	1.075	3.155	5.035	10.805
230	215	665	965	2.775	3.955	5.675
240	215	605	855	2.705	3.755	-
250	205	555	765	2.515	3.495	3.775
260	205	525	715	1.905	2.685	-
270	205	495	675	1.565	-	-
280	205	495	655	1.375	1.805	-
290	195	505	665	1.435	-	-
300	195	495	655	1.325	1.485	-
310	205	495	665	1.395	-	-
320	205	515	705	1.435	-	-
330	205	555	785	2.025	-	-
340	215	585	845	2.435	-	-
350	215	585	825	2.885	3.965	-

Fuente: ERM y JBA & Asociados, 2014

**Tabla N° 8: Distancias en m a las isopletas indicadas, por dirección respecto al N, punto B.
(profundidad respecto al NMM: 40 m)**

Dir (°)	Isopletas					
	190 dB	180 dB	175 dB	160 dB	150 dB	140 dB
0	135	625	1.225	5.965	9.155	12.545
10	135	625	1.235	7.435	15.325	21.765
20	135	615	1.185	11.615	21.235	28.785
30	135	615	1.205	9.775	19.895	34.345
40	135	615	1.205	10.705	17.615	31.995
50	135	615	1.315	8.865	22.875	40.295
60	135	605	1.255	9.815	19.785	40.535
70	135	605	1.245	8.755	19.325	40.295
80	135	605	1.255	9.755	22.615	41.705
90	135	615	1.305	9.195	23.705	52.465
100	135	615	1.315	11.405	30.875	75.035
110	135	625	1.375	8.175	23.095	48.375
120	135	615	1.425	8.195	19.215	65.105
130	135	615	1.385	9.845	29.115	50.415
140	135	615	1.175	10.055	21.455	51.955
150	135	625	1.225	8.205	24.535	33.545
160	135	625	1.255	9.215	22.125	39.435
170	135	645	1.395	8.525	21.155	32.115
180	135	635	1.305	9.365	15.655	38.625
190	135	635	1.295	6.605	16.145	42.025
200	135	635	1.275	8.485	15.095	29.735
210	135	635	1.215	6.715	16.585	28.865
220	135	645	1.235	9.485	12.605	22.175
230	135	645	1.255	7.325	12.045	17.385
240	135	645	1.245	6.865	9.005	12.345
250	135	645	1.195	5.755	8.545	10.775
260	135	635	1.215	4.905	6.965	10.405
270	135	635	1.225	4.375	6.265	9.695
280	135	635	1.225	4.505	5.505	6.685
290	135	635	1.225	4.435	5.045	7.255
300	135	635	1.235	4.045	5.045	6.775
310	135	635	1.235	4.265	5.095	-
320	135	635	1.255	3.735	4.335	4.865
330	135	635	1.275	4.035	4.575	5.345
340	135	635	1.305	4.815	5.495	7.325
350	135	635	1.315	5.835	7.205	10.785

Fuente: ERM y JBA & Asociados, 2014

Tabla N° 9: Distancias en m a las isopletas indicadas, por dirección respecto al N, punto C (profundidad respecto al NMM: 17 m)

Dir (°)	Isopletas					
	190 dB	180 dB	175 dB	160 dB	150 dB	140 dB
0	185	665	895	-	-	-
10	185	685	975	1.685	-	-
20	175	735	1.105	1.825	-	-
30	175	805	1.325	2.955	8.215	12.695
40	175	705	1.065	3.215	-	-
50	175	745	1.185	4.115	7.645	16.575
60	185	775	1.515	7.635	18.715	25.405
70	175	725	1.345	6.765	16.285	34.385
80	185	735	1.325	5.955	12.395	31.935
90	175	725	1.305	5.015	11.825	26.525
100	175	725	1.295	4.975	8.775	28.005
110	185	725	1.295	7.165	12.165	43.015
120	175	725	1.295	5.405	12.735	34.385
130	185	725	1.305	6.075	11.595	32.905
140	185	725	1.305	4.985	12.065	39.155
150	185	725	1.305	5.455	8.505	27.125
160	185	725	1.285	5.565	11.365	26.415
170	185	725	1.295	3.915	9.455	22.355
180	185	725	1.275	5.565	8.035	17.195
190	185	725	1.305	3.755	4.875	10.015
200	185	735	1.305	3.525	4.025	-
210	185	745	1.185	2.945	-	-
220	185	735	1.205	1.945	2.475	-
230	185	725	1.065	1.665	1.855	-
240	185	725	1.165	2.085	-	-
250	185	725	1.185	2.285	-	-
260	185	725	1.135	1.995	-	-
270	185	705	1.045	2.055	-	-
280	185	685	985	2.115	2.545	-
290	185	675	985	2.275	-	-
300	185	665	955	2.205	-	-
310	185	665	955	1.865	-	-
320	185	665	965	1.985	-	-
330	185	675	965	1.815	-	-
340	185	715	1.025	1.645	-	-
350	185	695	965	1.525	-	-

Fuente: ERM y JBA & Asociados, 2014

Tabla N° 10: Distancias en m a las isopletras indicadas, por dirección respecto al N, punto D (profundidad respecto al NMM: 46 m)

Dir (°)	Isopletras					
	190 dB	180 dB	175 dB	160 dB	150 dB	140 dB
0	125	625	1.285	6.665	8.665	12.505
10	125	615	1.205	6.245	9.145	15.565
20	125	605	1.175	7.455	13.655	20.565
30	125	595	1.125	8.365	21.595	36.865
40	125	595	1.115	8.935	18.745	33.295
50	125	595	1.115	10.655	15.635	33.915
60	125	595	1.095	10.225	19.385	36.455
70	125	595	1.085	9.935	22.975	40.735
80	125	595	1.075	10.985	26.225	52.695
90	125	595	1.085	10.065	25.105	53.065
100	125	595	1.095	11.115	21.585	44.285
110	125	595	1.105	9.835	29.865	47.485
120	125	595	1.075	11.035	22.935	49.985
130	125	595	1.065	12.245	26.885	44.155
140	125	585	1.065	8.755	24.845	42.985
150	125	595	1.075	9.345	20.625	39.025
160	125	595	1.075	9.475	20.275	34.805
170	125	595	1.075	12.125	19.875	43.325
180	125	595	1.085	11.185	24.725	43.245
190	125	595	1.095	8.965	19.805	27.645
200	125	595	1.105	6.025	14.235	20.505
210	125	595	1.115	6.525	10.825	15.445
220	125	595	1.135	5.195	6.615	10.475
230	125	595	1.145	3.395	5.085	8.505
240	125	605	1.195	2.795	3.185	-
250	125	605	1.255	2.695	3.295	4.755
260	125	615	1.255	3.105	4.295	5.855
270	125	625	1.235	3.635	4.605	5.995
280	125	625	1.255	3.925	4.955	6.135
290	125	615	1.345	3.915	4.975	6.005
300	135	625	1.385	3.475	4.425	7.575
310	125	615	1.295	3.105	3.895	7.705
320	125	605	1.235	3.775	6.135	8.875
330	125	615	1.235	4.155	7.315	9.905
340	125	615	1.245	4.605	7.435	10.405
350	125	625	1.275	5.575	7.925	10.425

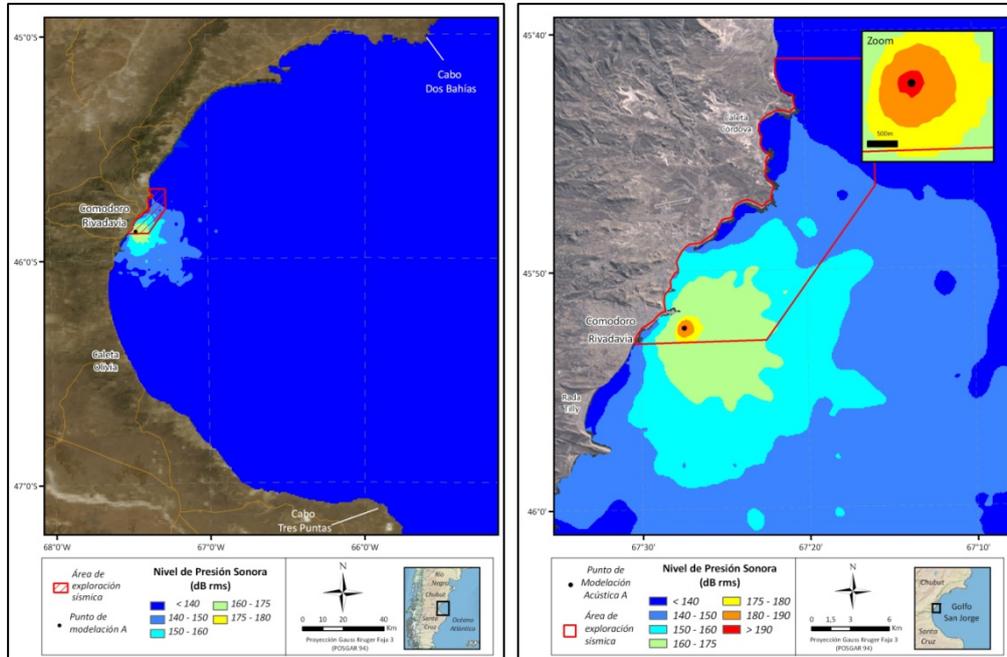
Fuente: ERM y JBA & Asociados, 2014

4.2

MAPAS DE CONTORNO DE NIVEL SONORO RECIBIDO

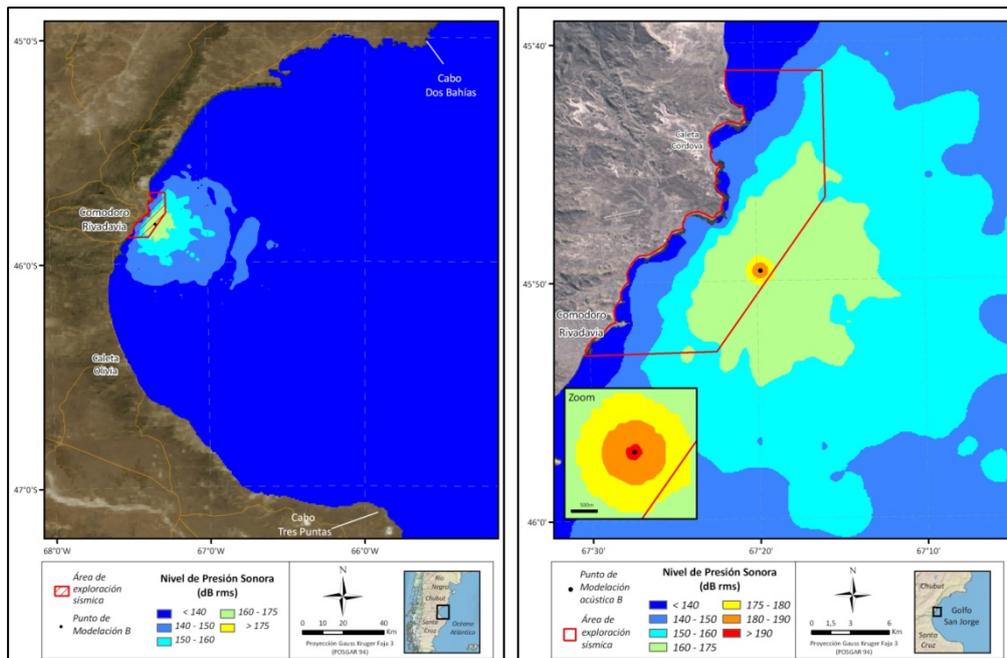
A continuación se muestran los mapas de contorno de nivel sonoro recibido considerando la fuente sísmica ubicada en los puntos A, B, C y D respectivamente.

Figura N° 19: Mapa de contorno de nivel sonoro recibido, con la fuente sísmica en el punto A (profundidad respecto al NMM: 13 m)



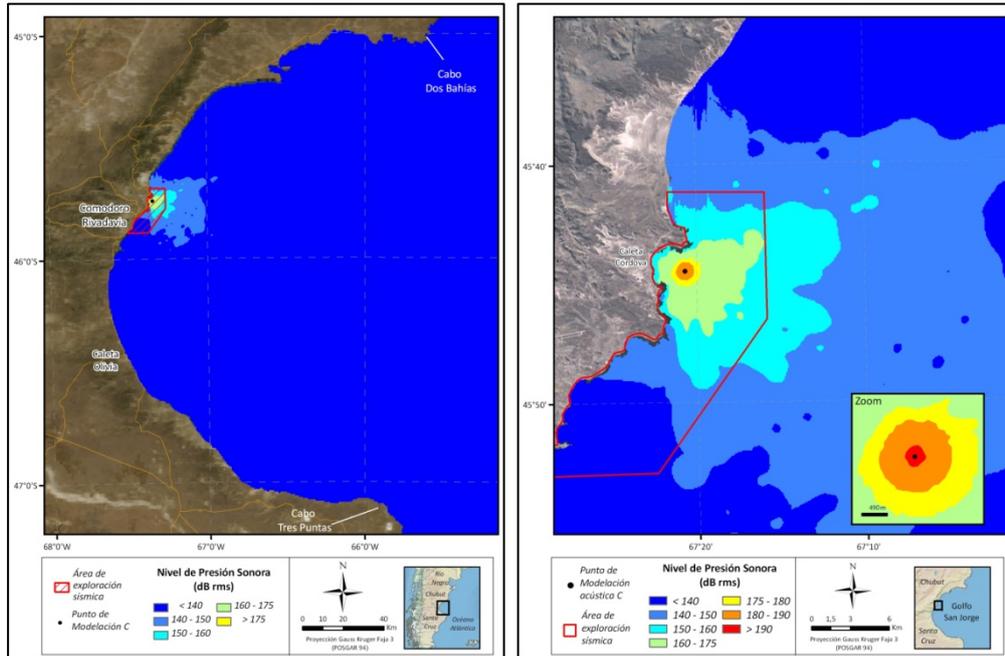
Fuente: ERM y JBA & Asociados, 2014

Figura N° 20: Mapa de contorno de nivel sonoro recibido, con la fuente sísmica en el punto B (profundidad respecto al NMM: 40 m)



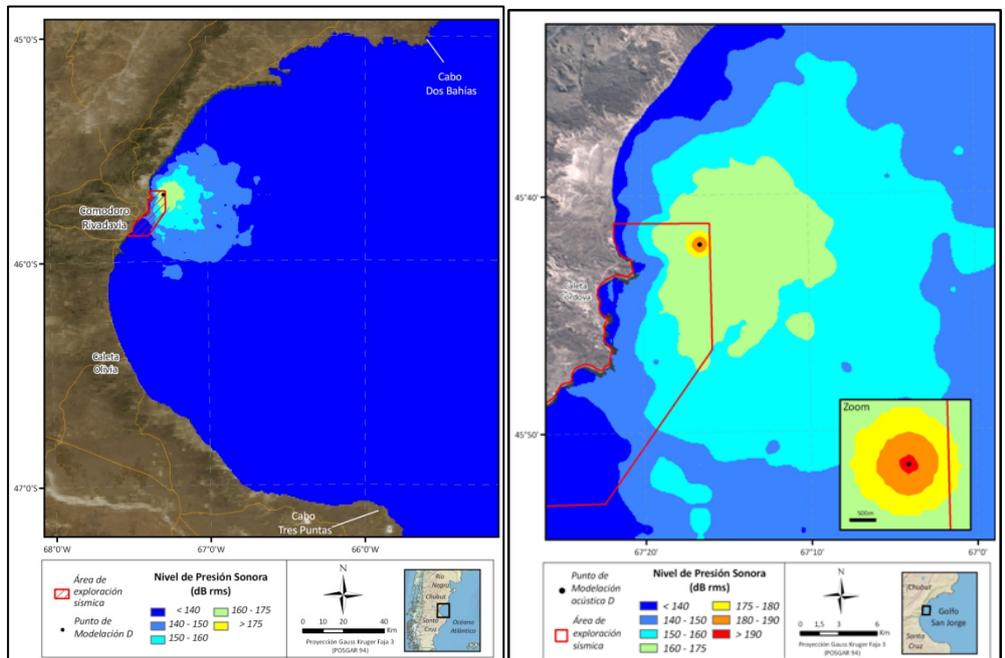
Fuente: ERM y JBA & Asociados, 2014

Figura N° 21: Mapa de contorno de nivel sonoro recibido, con la fuente sísmica en el punto C (profundidad respecto al NMM: 17m)



Fuente: ERM y JBA & Asociados, 2014

Figura N° 22: Mapa de contorno de nivel sonoro recibido, con la fuente sísmica en el punto D (profundidad respecto al NMM: 13 m)



Fuente: ERM y JBA & Asociados, 2014

La Tabla N° 11 muestra las superficie (km²) de las áreas que reciben los rangos del nivel sonoro seleccionados.

Tabla N° 11: Áreas en km² que reciben el nivel sonoro indicado, para cada posición de la fuente

Punto	Nivel Sonoro Recibido en dB					
	140 - 150	150 - 160	160 - 175	175 - 180	180 - 190	> 190
A	1.649,1	261,4	128,4	2,3	1,2	0,2
B	1.745,9	538,4	164,7	2,7	1,1	0,1
C	618,6	112,8	35,5	2,3	1,4	0,1
D	1.608,1	474,9	149,4	2,3	1,0	0,1

4.3 CÁLCULO DE LA FRACCIÓN DEL ÁREA DEL PROYECTO SONORIZADA A 180 DB

Para el cálculo de la fracción del área del proyecto sonorizada a 180 dB se utilizó un cuadrado con área equivalente a la del proyecto, es decir un cuadrado de 14,07 m de lado.

Con sentido conservativo, se tomó la distancia máxima a la fuente sísmica donde se recibe un nivel de 180 dB según los resultados de la modelación acústica; esta distancia resultó ser de 805 m al NNE del punto C. Es decir si se considera que el buque disparador sigue una derrota en línea recta, se recibirá un nivel sonoro de 180 dB a una distancia de 805 m tanto a babor como a estribor del mismo.

Teniendo en cuenta que la distancia entre líneas sísmicas es de 200 m, resulta claramente que toda el área del proyecto quedará afectada por un nivel sonoro de 180 dB, sin embargo no de manera simultánea sino de manera puntual en sectores de 1,4 km² (máximo) en cada punto de disparo.

Para el cálculo de la fracción del área del proyecto sonorizada a 190 db se utilizó un cuadrado con área equivalente a la del proyecto, es decir un cuadrado de 14,07 m de lado. Se tomó la distancia máxima a la fuente sísmica donde se recibe un nivel de 190 db. Según los resultados de la modelación acústica esta distancia es de 225 m al NNE del punto A.

Si se considera que el buque disparador sigue una derrota en línea recta, aplicando un criterio en extremo conservativo puede suponerse que se recibirá un nivel sonoro de 190 db a una distancia de 225 m tanto a babor como a estribor del mismo. Dado que la distancia entre líneas sísmicas es de 200 m, cualquier punto ubicado dentro del área del proyecto recibirá en algún momento del relevamiento sísmico un nivel sonoro de 190 db. Es importante aclarar que esta situación no se presentará al mismo tiempo en toda el área a relevar, sino secuencialmente en áreas muy pequeñas.

4.4

CÁLCULO DE LA FRACCIÓN DEL TIEMPO TOTAL DEL RELEVAMIENTO SONORIZADO

De igual modo que para el cálculo de la fracción del área del proyecto sonorizada a 180 dB, se utilizó un cuadrado con área equivalente a la del proyecto, es decir un cuadrado de 14,07 m de lado, para estimar la fracción del tiempo total del relevamiento sonorizado.

A partir de esta suposición se puede considerar:

- Área del lote = 198 km²
- Ancho equivalente del lote considerado como un cuadrado = 14,07 m
- Distancia entre líneas sísmicas = 200 m
- Número de líneas sísmicas = $14.070 \text{ m} / 200 \text{ m} = 70$
- Distancia total recorrida por buque = $14,07 \text{ km} \times 70 = 984,9 \text{ km}$
- Velocidad del buque = 5 nudos = 2,5 m/s
- Distancia recorrida entre disparos = 50 m
- Tiempo entre disparos = 20 s
- Duración del pulso = 0,3 s (Greene y otros, 1997)
- Duración del relevamiento = $984.900 \text{ m} / 2,5 \text{ m/s} = 393.960 \text{ s} = 4,6 \text{ días}$
- Cantidad de disparos = $393.960 \text{ s} / 20 \text{ s} = 19.698$
- Tiempo total de sonorización = $19.698 \times 0,3 \text{ s} = 5.909,4 \text{ s} = 1,64 \text{ h}$
- Tiempo total de operaciones = 45 días/60 días (1.080 h/1.440 h)
- Fracción del tiempo de operaciones sonorizado = 0,15 % / 0,11 %

El presente estudio de modelación acústica se llevó a cabo para abordar adecuadamente la protección de los organismos marinos, especialmente los mamíferos, durante las operaciones asociadas al proyecto de prospección sísmica 3 D Restinga Ali´ Offshore, de la empresa YPF.

Las predicciones de los niveles de ruido que se presentan en este informe se basan en los resultados del modelo BELLHOP/Ray Beam, que estima la pérdida de intensidad acústica por transmisión, considerando los múltiples factores físicos y morfológicos que describen el área del proyecto.

Previo a la modelación se realizaron corridas exploratorias para estudiar la sensibilidad de las pérdidas por transmisión del sonido frente a las variaciones estacionales en la velocidad de propagación del sonido y a la frecuencia de la fuente.

Se calcularon mapas de niveles sonoros recibidos para cuatro posiciones distintas de la fuente sísmica en el área del proyecto.

Se estimaron:

- Las distancias desde la fuente sísmica a las isopleas de valores umbrales considerados para la protección de la fauna marina;
- Las áreas sonorizadas según los rangos definidos por las isopleas asociadas a los valores umbrales considerados.
- La fracción del área del proyecto sonorizada.
- La fracción del tiempo de sonorización con respecto a la duración de las operaciones.

Los principales resultados del estudio de modelación se pueden resumir de la siguiente manera:

- Los niveles de ruido recibidos en el agua se vieron influenciados por la ubicación de la fuente, fundamentalmente por la batimetría;
- Los niveles recibidos fueron más bajos en las zonas de mayor profundidad;
- La mayor distancia a la cual se recibe un nivel de 190 dB es de 225 m NNE del punto A;
- La mayor distancia a la cual se recibe un nivel de 180 dB es de 805 m NNE del punto C;
- La mayor distancia a la cual se recibe un nivel de 175 dB es de 1.765 m al E del punto A;
- La mayor distancia a la cual se recibe un nivel de 160 dB es de 12.245 m al SE del punto D;
- La mayor distancia a la cual se recibe un nivel de 150 dB es de 30.875 m al E del punto B;

- La mayor distancia a la cual se recibe un nivel de 140 dB es de 75.035 m al E del punto B;
- Toda el área del proyecto estará sonorizada a 190 y 180 dB de forma puntual y no simultánea;
- La fracción del tiempo de operaciones sonorizado se encontrará entre 0,11 % y 0,15 %, dependiendo del tiempo de las operaciones.

La evaluación de los impactos asociada con estos resultados se analiza en el cuerpo principal del Capítulo "Evaluación de Impacto Ambiental y Social".

6.1

BIBLIOGRAFÍA

(ANSI)–American national standard preferred frequencies, frequency levels and band numbers for acoustic measurements. S1.6. Acoustical Society of America, New York, New York.

ANSI (American National Standard Institute), 1986. American National Standard Institute (ANSI)–American National Standard Method for Measurement of Impulsive Noise. S12.7. Acoustical Society of America. New York, New York.

Carbone, N., Deane, G., & Buckingham, M. (1998) Estimating the compressional and shear wave speeds of a shallow water seabed from the vertical coherence of ambient noise in the water column. *J. Acoust. Soc. Am.*, 103 (2), 801-813.

Greene, C.R., Jr., 1997. Physical Acoustic Measurements. In Richardson W. J. (Ed.), Northstar marine mammal monitoring program, 1996 (LGL Report 2121-2, Section 3). LGL Ltd. report for BP Exploration (alaska) Inc., Anchorage, AK, and National Marine Fisheries Service, Silver Spring, MD. 245 pp.

Greene, G.D., F.R. Engelhardt, and R.J. Paterson (eds.). 1985. Proceedings of the workshop on effects of explosives use in the marine environment. Canadian Oil and Gas Lands Admin. and Environ. Prot. Branch, Ottawa, Ont. 398 p.

Grion, S., Granger, P., Pica, A., and Ronen, S., 2007, OBS Illumination: Primary Problems and Mirror Solutions, International Petroleum Technology Conferences, IPTC 11661.

Jackson, D. R., & Richardson, M. D. (2007). High-Frequency Seafloor Acoustics Nueva York: Springer.

Landrø, M. and Amundsen, L., 2010. Marine Seismic Sources, Part 1. *GeoExpro Issue 1, Volume 7*.

Mc Cauley, R.D., M.-N. Jenner, C. Jenner, K.A. McCabe, and J. Murdoch. 1998. The response of humpback whales (*Megaptera novaengliae*) to offshore seismic survey noise: preliminary results of observations about a working seismic vessel and experimental exposures. *APPEA J.* 38:692-707.

Mccauley, R.D., j. Fewtrell, A.J. Duncan, C. Jenner, m.-n. Jenner, J.D. Penrose, R.I.T. Prince, A. Adhitya, J. Murdoch, and K. McCabe. Marine seismic surveys: Analysis of airgun signals; and effects of air gun exposure on humpback whales, sea turtles, fishes and squid. Rep. from Centre for Marine Science and Technology, Curtin Univ., Perth, W.A., for Austral. Petrol. Prod. Assoc.,

Sydney, N.S.W. 2000a. Mac Gillivray, A., 2006. An Acoustic Modelling Study of Seismic Airgun Noise in Queen Charlotte Basin. University of Victoria 2000.

NMFS. Small takes of marine mammals incidental to specified activities; marine seismic-reflection data collection in southern California/Notice of receipt of application. Fed. Regist. 65(60, 28 Mar.) 2000.

NMFS. Small takes of marine mammals incidental to specified activities; offshore seismic activities in southern California. Fed. Regist. 60(200, 17 Oct.):53753-53760. 1995.

NRC (National Research Council), 2003. Ocean Noise and Marine Mammals. Washington, D.C.: National Academies Press.

Ocean of Noise, 2004. WDCS, the Whale and Dolphin Conservation Society Richardson, W.J., C.R. Greene Jr., C.I. Malme, and D.H. Thomson. 1995.

Porter, MB & Bucker, HP 1987, 'Gaussian beam tracing for computing ocean acoustic fields', Journal of the Acoustical Society of America, vol. 82, no. 4, pp. 1349-59.

Marine Mammals and Noise. Academic Press, San Diego, CA.

Pan American Energy LLC (PAE) - Ezcurra & Schmidt S.A. (ESSA). (2012). Estudio de Impacto Ambiental y Social previo a la prospección sísmica costa afuera Bloque Centro Golfo San Jorge Marina.

Urick, Robert J., 1983. Principles of Underwater Sound, Third Edition. McGraw-Hill Book Company, p. 111.

WDCS (Whale and Dolphin Conservation Society), 2004. Ocean of Noise. Ed: Simmonds, M., Dolman, S. And Weilgart, L.

6.2

SITIOS WEB DE INTERÉS

- <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/global.html> - Modelo Global de Relieve ETOPO 1
- <http://polar.ncep.noaa.gov/waves/download.shtml> NWW3 - Model data Access
- <http://www.oce.orst.edu/research/po/research/tide/global.html> - OSU Tidal Data Inversion
- <http://www.aoml.noaa.gov/phod/dac/index.php> - The Global Drifter Program
- http://www.nodc.noaa.gov/OC5/WOD/pr_wod.html - National Oceanographic Data center