ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL
REGISTRO SÍSMICO OFFSHORE "3D"
ÁREA AUS105, AUS106 Y MLO121, ARGENTINA

CAPÍTULO 6 - MODELACIÓN ACÚSTICA

ÍNDICE

1 CARACTERÍSTICAS DE LA PROPAGACIÓN DEL SONIDO EN EL AGUA 3

2 UMBRALES DE ATENUACIÓN ACÚSTICA RELACIONADOS CON LA AFECTACIÓN DE MAMÍFEROS MARINOS Y PECES 6

3 MODELACIÓN DE LA PROPAGACIÓN DE LA INTENSIDAD SONORA (SPL) 7

3.1 CARACTERIZACIÓN DE LA MODELACIÓN ACÚSTICA 7

3.2 DESCRIPCIÓN DE LOS MODELOS 8

3.2.1 Descripción del modelo Bellhop 8

3.2.2 Descripción del modelo RAM 9

3.2.3 Batimetría 9

3.2.4 Posición de la fuente 9

3.2.5 Directividad de la fuente 9

3.2.6 Época prevista para el relevamiento 9

3.2.7 Datos oceanográficos 10

3.3 ESCENARIOS DE PROPAGACIÓN DE LA INTENSIDAD SONORA (SPL) MODELADOS Y RESULTADOS OBTENIDOS EN RELACIÓN CON LOS UMBRALES DE AFECTACIÓN 21

3.4 CONCLUSIONES SOBRE LOS UMBRALES CORRESPONDIENTES A LA INTENSIDAD SONORA (SPL) 35

4 MODELACIÓN DEL NIVEL DE EXPOSICIÓN ACÚSTICA (SEL) ACUMULADO 35

4.1 INTRODUCCIÓN 35

4.2 ESPECTRO DE ENERGÍA EXTENDIDO 36

4.3 PÉRDIDAS POR ABSORCIÓN PARA FRECUENCIAS ALTAS 40

4.4 CALCULO DE LA PÉRDIDA DE TRANSMISIÓN DEL SONIDO TL 41

RE-2020-47390951-APN-DTD#JGM

CRISTINA GOYENECHEA
Directora Área Ambiente
SERMAN & ASOCIADOS S.A.

Página 1 de 61

4.5 CALCULO DE SEL PROPAGADO EN DB Y DBHA POR ESPECIE 42

4.6 PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DEL SEL ACUMULADO PARA CADA ESPECIE 52

4.7 ESCENARIOS DE ACUMULACIÓN DEL SEL MODELADOS Y RESULTADOS EN RELACIÓN CON LOS UMBRALES DE AFECTACIÓN POR ESPECIE SIN MEDIDAS DE MITIGACIÓN 54

4.8 ESCENARIOS DE ACUMULACIÓN DEL SEL MODELADOS Y CONCLUSIONES EN RELACIÓN CON LOS UMBRALES DE AFECTACIÓN PARA CETÁCEOS DE FRECUENCIAS BAJAS (LF) CON MEDIDAS DE MITIGACIÓN (ARRANQUE SUAVE) 56

5 CONCLUSIONES 58

6 BIBLIOGRAFÍA 60

RE-2020-47390951-APN-DTD#JGM

CRISTINA GOYENECHEA
Directora Área Ambiente
SERMAN & ASOCIADOS S.A.

Página 2 de 61

CAPÍTULO 6 – MODELACIÓN ACÚSTICA

El objetivo fundamental de este Capítulo es evaluar la propagación del sonido producido por los cañones sísmicos, estimando su atenuación en función de sus características y de las condiciones del medio acuático y del lecho marino, a los efectos de brindar elementos de juicio que permitan realizar posteriormente la evaluación de los posibles impactos y definir las medidas de mitigación más adecuadas.

1 CARACTERÍSTICAS DE LA PROPAGACIÓN DEL SONIDO EN EL AGUA

La propagación del nivel de energía sonora es determinada por las características específicas del sitio. La propagación sonora en aguas poco profundas produce mayor atenuación, sobre todo de las frecuencias bajas, que en aguas más profundas.

En las valoraciones medioambientales de perturbación por ruido se suele aplicar como primera aproximación una propagación simple:

$SPL = SL - N \log(R) - \alpha R,$

Dónde

SL = el nivel del sonido en la fuente (dB re 1 μPa a 1 metro),
R = distancia (Rango) fuente-receptor,
SPL = Presión sonora a una distancia R de la fuente (dB re 1 μPa),
N y α = Factores de atenuación.

El factor α normalmente se desprecia para distancias menores a 10 km. El factor N en condiciones de aguas profundas suele adoptarse como 20, suponiendo una propagación esférica simple (ley cuadrática inversa).

Una propagación cilíndrica, SPL = SL - 10 log(R), suele suponerse en aguas poco profundas, con profundidad < R (para distancias superiores a la profundidad), y un valor intermedio 15 log(R) en zonas más profundas. Sin embargo, en varios estudios se ha medido o modelado la propagación y atenuación del ruido debido a combinaciones de la reflexión en los límites geológicos, pérdidas por reflexión, calor, refracción y difracción en el medio (Lawson et al. 2001). En aguas poco profundas, la reflexión de frecuencias altas en el lecho marino genera una propagación aproximadamente cilíndrica y por consiguiente superior a la de una onda de frecuencia baja que se propaga esféricamente (pues penetra el lecho marino).

La atenuación del sonido con la distancia es función de la frecuencia, siendo más fuerte para frecuencias altas y para distancias crecientes de la fuente. No obstante, la atenuación aumenta con la frecuencia en forma sensible, sólo para frecuencias mucho más altas que las empleadas en los arreglos sísmicos. La atenuación se produce porque la vibración de las moléculas de agua genera calor, disipando la energía, y por otros procesos debidos a la absorción del medio, la dispersión o scattering de las ondas por las partículas en suspensión. En este proceso es irrelevante a frecuencias por debajo de 10.000 Hz (Urick, 1983).

Por otro lado, estos mecanismos de atenuación no son bien conocidos para frecuencias menores a 100 Hz, como se indica en la Figura 1 (Jensen, 2011), y recién para frecuencias del orden de 1.000 Hz se tienen valores del coeficiente de atenuación α superiores a 0,1 dB/km.

RE-2020-47390951-APN-DTD#JGM
CRISTINA GOYENECHEA
Directora Área Ambiente
SERMAN & ASOCIADOS S.A.

Página 3 de 61

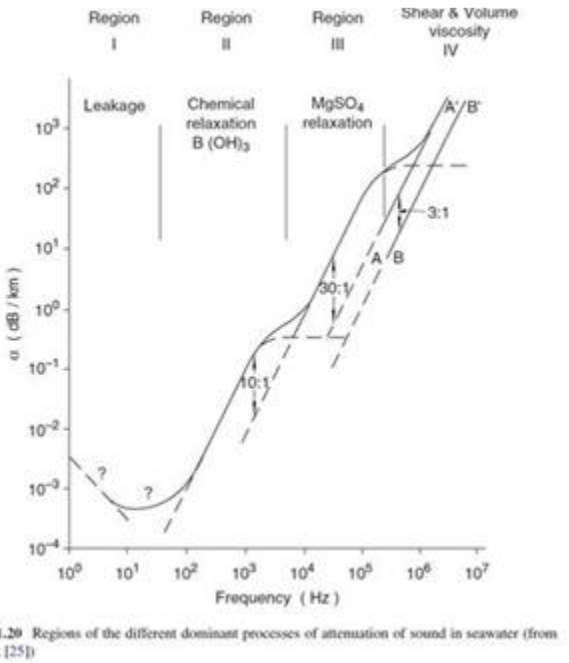


Fig. 1.20 Regions of the different dominant processes of attenuation of sound in seawater (from Urick [25])

Figura 1. Regiones de los diferentes procesos dominantes de atenuación del sonido en el mar.

La dependencia de la propagación con la frecuencia debido a la interferencia destructiva de ondas también forma una parte importante del proceso de debilitamiento del ruido.

Incluso, las amplitudes cerca de la superficie en aguas poco profundas pueden reducirse significativamente por la interferencia con la onda superficial reflejada, efecto denominado "*Lloyd mirror*" (Gordon et al., 2003).

La figura siguiente ilustra sobre los diferentes patrones de atenuación mencionados:

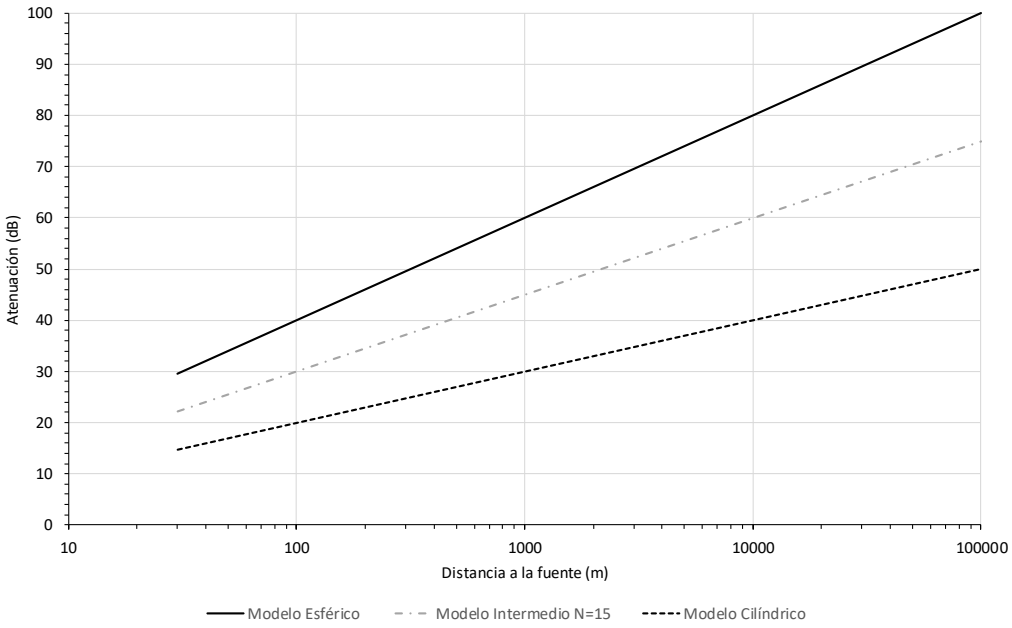


Figura 2. Pérdidas de la Transmisión Teóricas (TL) calculadas por modelos esférico 20log(R), cilíndrico 10log(R) e intermedio 15log(R).

RE-2020-47390951-APN-DTD#JGM

Página 4 de 61

Las características peculiares de los disparos sísmicos también tienen influencia sobre los patrones de atenuación. Para determinarlo con mayor precisión, Subacoustech realizó una campaña de mediciones intensiva en el Mar del Norte, estudiando la propagación del sonido de un relevamiento sísmico en una zona con más de 600 registros útiles, a distancias de entre 1,4 y 12 km del buque (Nedwell et al., 1999). El ajuste obtenido para la atenuación del sonido medido en dB re 1 μPa arrojó un valor de N = 25,35, correspondiente a una muy alta atenuación. Para comprender más claramente el grado de atenuación del sonido al propagarse según sea el valor de N asumido, se presenta el siguiente cuadro (Gordon et *al*, 2003), para los casos correspondientes a propagación esférica y a la verificación realizada en el Mar del Norte, para una fuente sísmica SL de 250 dB re 1 μPa a 1 metro:

Tabla 1. Decaimiento espacial del nivel sonoro.

Nivel recibido dB p-p re 1 μPa	Modelo Esférico N=20 (km)	Modelo Verificado Mar del Norte N = 25 (km)
220	0,03	0,02
210	0,10	0,04
200	0,32	0,10
190	1,0	0,25
180	3,2	0,63
170	10,0	1,6
160	31,6	4,0
150	100,0	10,0

En la siguiente figura se ilustra el Nivel de Sonido en función de la distancia para el modelo esférico y la verificación en el Mar del Norte, partiendo de un nivel en la fuente sísmica SL de 250 dB re 1 μPa a 1 metro.

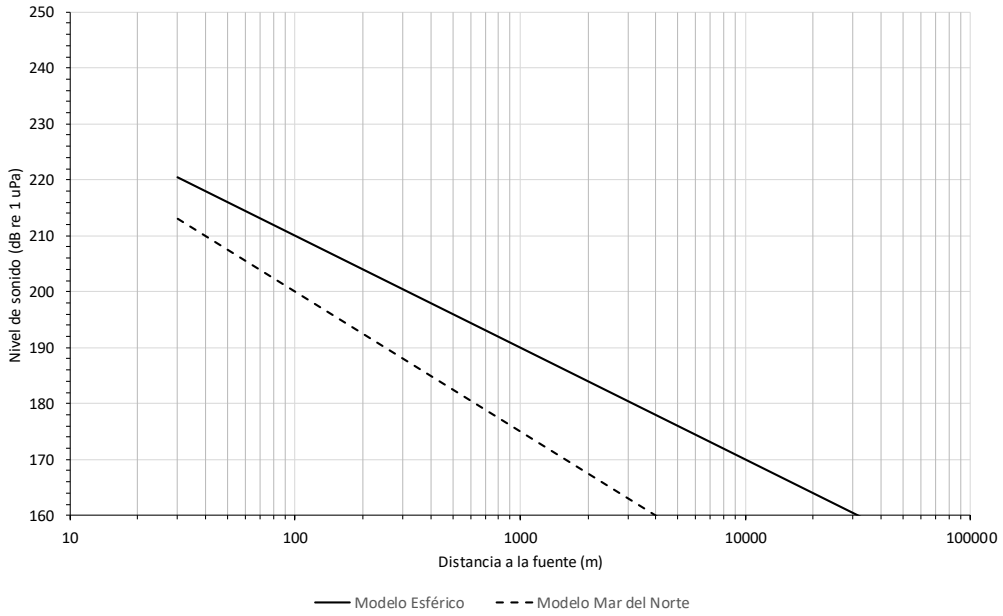


Figura 3. Propagación del sonido en agua calculada por modelos esférico 20log(R), y verificación del Mar del Norte 25log(R).

Este análisis muestra la importancia que tiene el medio en la "tasa" de atenuación que en el modelo simplificado se refleja en el valor del parámetro N. En el siguiente punto se evaluará este aspecto mediante una modelización matemática de la propagación de la onda sonora.

RE-2020-47390951-APN-DTD#JGM

2 UMBRALES DE ATENUACIÓN ACÚSTICA RELACIONADOS CON LA AFECTACIÓN DE MAMÍFEROS MARINOS Y PECES

Para cualquier estimación de intensidad sonora, es necesario definir el parámetro de partida, es decir, la intensidad de la fuente en la dirección de análisis.

Como se indicó en el Capítulo 4 de Descripción del Proyecto, la intensidad "nominal teórico p-p" del arreglo sísmico típico más conservativo que podría emplearse es igual a 263,3 dB re 1 μPa-m.

En función del ángulo de salida la intensidad del sonido emitido va decayendo desde la vertical a la superficie. Como se ha indicado en la descripción del proyecto, para considerar la transmisión horizontal de energía, se adopta una reducción del orden de 12 dB, correspondiente en forma aproximada a un ángulo de 15º con la horizontal. El valor de partida estimado para analizar la propagación de energía sonora es entonces igual a 251,3 dB re 1 μPa-m (p-p), 235,3 dB re 1 μPa-m (rms).

A continuación, se resumen los diferentes umbrales de intensidad sonora que pueden provocar pérdidas auditivas considerados en el capítulo de evaluación de impactos, a los efectos de calcular los niveles de atenuación mínima a ser considerados para definir el área sonorizada con intensidades superiores a los mismos.

Estos umbrales corresponden a pérdidas auditivas de los mamíferos marinos denominadas desplazamientos de umbrales (Threshold shift, TS), que pueden ser permanentes (PTS) o temporales (TTS).

En el caso de los peces, se consideran los valores umbrales de sensibilidad propuestos para peces con y sin vejiga natatoria, correspondientes al nivel de mortalidad o mortalidad potencial.

Los códigos empleados para diferenciar los grupos auditivos de los mamíferos marinos se resumen en la **Tabla 2**, y de detallan en el capítulo de evaluación de impactos.

Tabla 2. Grupos auditivos con sus rangos de audición

Código	Grupo	Rango auditivo generalizado
LF	Cetáceos de frecuencias bajas	7 Hz a 35 kHz
HF	Cetáceos de frecuencias altas	150 Hz a 160 kHz
VHF	Cetáceos de frecuencias muy altas	275 Hz a 189 kHz
PW	Carnívoros Fócidos	50 Hz a 86 kHz
PO	Pinnípedos Otaridos y otros carnívoros)	60 Hz a 39 kHz

Los umbrales indicados en la bibliografía citada en el capítulo de evaluación de impactos se encuentran expresados como SPL pK (Lp,0-pk,flat) Re: 1 µPa, lo cual implica que son valores de 0 a pico. Los mismos se suelen utilizar sin ponderar por el audiograma correspondiente a cada grupo de mamíferos.

En la Tabla 3 se relacionan estos niveles 0-p con las métricas p-p y rms, y se determina la atenuación necesaria para alcanzar los mismos, a partir del valor de partida de energía sonora en la fuente antes indicado.

Tabla 3. Umbrales de PTS en dB para los distintos grupos auditivos de mamíferos marinos, umbral de mortalidad para peces y niveles de Perdida de Transmisión TL necesarios para alcanzarlos

Grupo Auditivo	SPL (p-p)	SPL pK (0-p)	SPL (rms)	TL necesario
LF	225	219	209	26,3
HF	236	230	220	15,3
VHF	208	202	192	43,3
PW	224	218	208	27,3
PO	238	232	222	13,3
Peces SIN vejiga natatoria [1]	219	213	203	32,3
Peces CON vejiga natatoria [1 2]	213	207	197	38,3

[1] Umbral de Mortalidad potencial y Nivel de recuperación
[2] Comprende peces con vejiga natatoria no conectada al oído y con vejiga natatoria conectada al oído

Tabla 4. Niveles de TTS para los distintos grupos auditivos de mamíferos marinos

Grupo Auditivo	SPL (p-p)	SPL pK (0-p)	SPL (rms)	TL necesario
LF	219	213	203	32,3
HF	230	224	214	21,3
VHF	202	196	186	49,3
PW	218	212	202	33,3
PO	232	226	216	19,3
Límite convencional de afectación	196	190	180	55,3

Se puede apreciar que la categoría más exigente en cuanto a atenuación son los cetáceos de frecuencias muy altas (VHF), si bien su rango auditivo se encuentra por encima de las frecuencias con mayor intensidad sonora emitidas durante los relevamientos sísmicos, que van de 5 a 90 Hz.

3 MODELACIÓN DE LA PROPAGACIÓN DE LA INTENSIDAD SONORA (SPL)

Este estudio se basa en la utilización de técnicas de modelación acústicas modernas, usando datos característicos del medio ambiente marino como salinidad, temperatura, batimetría y sedimentos del fondo marino, complementados por antecedentes científicos y técnicos, nacionales e internacionales que completan la información requerida por la modelación.

3.1 CARACTERIZACIÓN DE LA MODELACIÓN ACÚSTICA

Hay varios modelos numéricos disponibles para el cálculo de la propagación acústica horizontal. Estos incluyen el trazado de rayos, el modo normal y los modelos de ecuación parabólica. Cada uno tiene sus propias fortalezas y debilidades Algunos son más adecuados para aguas poco profundas, otros para aguas profundas, algunos pueden lidiar con complejos perfiles de batimetría, otros requieren una profundidad de agua fija, algunos devuelven perfiles de intensidad de sonido vertical a través de la columna de agua, otros se emplean solo para una profundidad fija, algunos pueden manejar ondas de corte, otros no.

La elección del modelo de propagación horizontal depende de las circunstancias dictadas por el medio ambiente en cuestión. Todos estos modelos funcionan solo con una frecuencia. Así que para caracterizar una fuente con complejos componentes de frecuencia, como una matriz de cañones de aire, el modelo elegido debe ejecutarse a varias frecuencias (McCauley et al, 2000).

Los modelos seleccionados para la simulación acústica son el Bellhop Ray/Beam model (Porter and Bucker, 1987) y el RAM (Jensen et al., 1994). Más adelante se describen las características de estos modelos que justifican su selección.

Los modelos calculan las pérdidas por transmisión (TL) en dB, en función de la distancia a la fuente. Las pérdidas por transmisión son aquellas caídas de intensidad sonora, que dependen factores como el aumento de la superficie (esférica en aguas profundas o cilíndricas en aguas poco profundas) por la que pasa la energía acústica a medida que las ondas sonoras se alejan de la fuente, también llamado "spreading" esférico o cilíndrico; la Absorción del medio (biótico y abiótico) de la energía acústica; dispersión o "scattering," de la energía acústica por efecto de partículas en suspensión; reflexión en fondo y superficie.

El nivel sonoro que recibe el receptor es igual al nivel emitido por la fuente menos todas 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.

3.2 DESCRIPCIÓN DE LOS MODELOS

3.2.1 Descripción del modelo Bellhop

Bellhop es un modelo de trazado de rayos altamente eficiente (Porter and Bucker, 1987). Está diseñado para realizar un trazado de rayos acústicos bidimensionales para un perfil de velocidad de sonido dado c (z) o un campo de velocidad de sonido dado c (r,z), en océanos de bordes planos o de absorción variable. Las opciones de salida incluyen coordenadas de rayos, tiempo de viaje, amplitud, rayos propios, presión acústica o pérdida de transmisión (ya sea coherente, incoherente o semi-coherente). El cálculo de la presión acústica se basa en la teoría de los haces gaussianos (Porter and Bucker, 1987; Jensen et al., 1994).

El trazado de rayos requiere la solución de las ecuaciones de rayos para determinar las coordenadas de los rayos. La amplitud y la presión acústica requieren la solución de las ecuaciones de rayos dinámicos, que se describen en detalle en Porter and Bucker, 1997. Para un sistema con simetría cilíndrica, las ecuaciones de rayos resultan ser (Jensen et al., 1994):

$$\frac{dr}{ds} = c\xi(s) \quad , \quad \frac{d\xi}{ds} = -\frac{1}{c^2}\frac{\partial c}{\partial r}$$

$$\frac{dz}{ds} = c\zeta(s) \quad , \quad \frac{d\zeta}{ds} = -\frac{1}{c^2}\frac{\partial c}{\partial z}$$

Donde r (s) y z (s) representan las coordenadas del rayo en coordenadas cilíndricas y s es la longitud del arco a lo largo del rayo; el par c (s) [ξ(s); ζ(s)] representa el versor tangente a lo largo del rayo. Las condiciones iniciales para r (s), z (s), (s) y (s) son:

$$r(0) = r_s \ , \qquad z(0) = z_s \ , \qquad \xi(0) = \frac{\cos\theta_s}{c_s} \ , \qquad \zeta(0) = \frac{\sin\theta_s}{c_s}$$

Donde θ_s representa el ángulo de lanzamiento, (r_s, z_s) es la posición de origen, y c_s es la velocidad del sonido en la posición de origen. Las coordenadas son suficientes para obtener el tiempo de viaje del rayo:

$$\tau = \int \frac{ds}{c(s)}$$

Que se calcula a lo largo de la curva [r (s), z (s)].

El modo de propagación de los rayos Gaussiano permite suavizar los resultados evitando la formación de cáusticas.

Se incluye además en el cómputo el mecanismo de rebote (Bounce), el cual permite incluir la reflexión de los rayos en el fondo, resultando más conservativo en especial en aguas poco profundas.

3.2.2 Descripción del modelo RAM

El método de la ecuación parabólica (PE) (Jensen et al., 1994) es muy efectivo para resolver problemas de acústica oceánica que dependan del rango (es decir, que sean espacialmente variables). El Range-Dependent Acoustic Model (RAM) es un programa que usa las últimas técnicas en modelado de PE.

RAM utiliza un algoritmo de Padé de pasos divididos para lograr una alta eficiencia y la capacidad de modelar la propagación en ángulos grandes desde la horizontal (la limitación habitual de los códigos PE). Existe una compensación entre el rango angular y la velocidad de cálculo que se rige por la cantidad de términos que el usuario específica para la aproximación de Padé: cuantos más términos, más amplio es el ángulo, pero más lento se ejecuta el código.

RAM es capaz de modelar la propagación de baja frecuencia en entornos totalmente dependientes del rango (es decir, batimetría y velocidad del sonido dependientes del rango). Por esta razón, siendo más versátil que el BELLHOP y en teoría adecuado para manejar frecuencias bajas, se lo ha implementado a los fines de comparar ambas soluciones.

3.2.3 Batimetría

La información batimétrica del área de modelación fue obtenida de la base de datos GEBCO (The General Bathymetric Chart of the Oceans), de http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/gebco/.

3.2.4 Posición de la fuente

Corresponde a la distancia de la fuente hasta la superficie del mar. La descripción del proyecto indica que esa profundidad es igual a 7 m y constituye una magnitud usual en las exploraciones sísmicas.

3.2.5 Directividad de la fuente

Se especificó que el primer haz salga horizontalmente (esto es el ángulo de salida es 0°) desde la posición del arreglo, a 7 m de profundidad. Cualquier otro ángulo de salida del primer haz generará pérdidas mayores con la distancia.

3.2.6 Época prevista para el relevamiento

El presente estudio fue diseñado de manera que los resultados del mismo sean aplicables a cualquier época del año.

RE-2020-47390951-APN-DTD#JGM

Página 9 de 61

3.2.7 Datos oceanográficos

Se descargaron y procesaron datos de temperatura y salinidad de las estaciones en el lugar de World Ocean Database 09 (http://www.nodc.noaa.gov) de la NOAA.

A partir de estos datos, se calcularon perfiles de velocidad del sonido y densidad, que son datos de entrada para los modelos acústicos. La velocidad del sonido fue calculada mediante la aplicación de la Ecuación Termodinámica del agua de mar "Thermodynamic Equation Of Seawater - 2010" (TEOS-10; http://www.teos-10.org/).

TEOS-10 fue desarrollada por el Grupo de Trabajo 127 SCOR / IAPSO (Scientific Committee on Oceanic Research) / International Association for the Physical Sciences of the Oceans) y fue adoptada por el organismo Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC), en su 25ª Asamblea de junio de 2009, con el objeto de reemplazar la ecuación EOS-80 como la descripción oficial de las propiedades del agua de mar y el hielo en la ciencia marina.

TEOS-10 se basa en una formulación de la función de Gibbs a partir de la cual pueden ser calculadas todas las propiedades termodinámicas del agua de mar (densidad, entalpía, entropía, velocidad del sonido, etc.) de una manera termodinámicamente consistente. La función de Gibbs (expresión polinómica de 75 términos que depende de la salinidad absoluta, temperatura, presión, latitud y longitud) constituye la base del nuevo estándar TEOS-10.

Un cambio significativo comparado con la práctica previa es la manera de describir el contenido de sal en el agua de mar. TEOS-10 usa la Salinidad Absoluta S_A (masa de sal contenida en el agua de mar) en lugar de la Salinidad Práctica (que, esencialmente, es una medida de la conductividad del agua de mar). De esta manera, ahora la salinidad del océano tiene unidades de g/kg.

La Salinidad Absoluta (g/kg) está expresada en el Sistema Internacional de Unidades (SI), sistema métrico moderno usado a nivel mundial. Ahora, entonces, las propiedades termodinámicas del agua de mar, tales como la densidad y la entalpía, están correctamente expresadas como funciones de la Salinidad Absoluta, en lugar de ser funciones de la conductividad del agua de mar. Cabe mencionar que las variaciones espaciales de la composición del agua de mar implican que la Salinidad Absoluta no es directamente proporcional a la Salinidad Práctica y TEOS-10 prevé los procedimientos que corrigen estos efectos.

Es importante destacar que mientras la Salinidad Absoluta (g/kg) es la variable necesaria para calcular la densidad y otras propiedades del agua de mar, la salinidad que debe almacenarse en las bases de datos nacionales y mundiales continúa siendo la salinidad medida, Salinidad Práctica (PSS-78), y para evitar confusiones los valores de salinidad informados en las distintas publicaciones deben identificarse como Salinidad Práctica con el símbolo S_P o Salinidad Absoluta con el símbolo S_A.

Las publicaciones que proveen información detallada relacionada con TEOS-10, incluyendo códigos computacionales para su aplicación son: IOC et al. (2010), McDougall y Barker (mayo 2011 - última actualización julio 2017 - versión 3.06.3), Pawlowicz (octubre 2010, última actualización abril 2008 - v8) y McDougall (s/f). Una fórmula anteriormente desarrollada por Leroy en 2008, permite calcular la velocidad del sonido en base a una expresión de 14 términos que involucran los parámetros: salinidad, temperatura, profundidad y latitud. Los resultados de las fórmulas de TEOS-10 y Leroy son muy similares en la zona bajo análisis.

3.2.7.1 Parámetros oceanográficos de la zona

Para definir los parámetros oceanográficos se realizó un análisis estacional de las variables. De la World Ocean Database se descargaron todos los perfiles de temperatura y salinidad disponibles para esta área, se los dividió por estación del año y se los promedió a lo largo de la vertical. Para eliminar las fluctuaciones rápidas debidas a que cada perfil tiene puntos de medición a diferente profundidad, se utilizó el método de promedios móviles en la vertical como se muestra en la Figura 4 como ejemplo para los meses de marzo, abril y mayo.

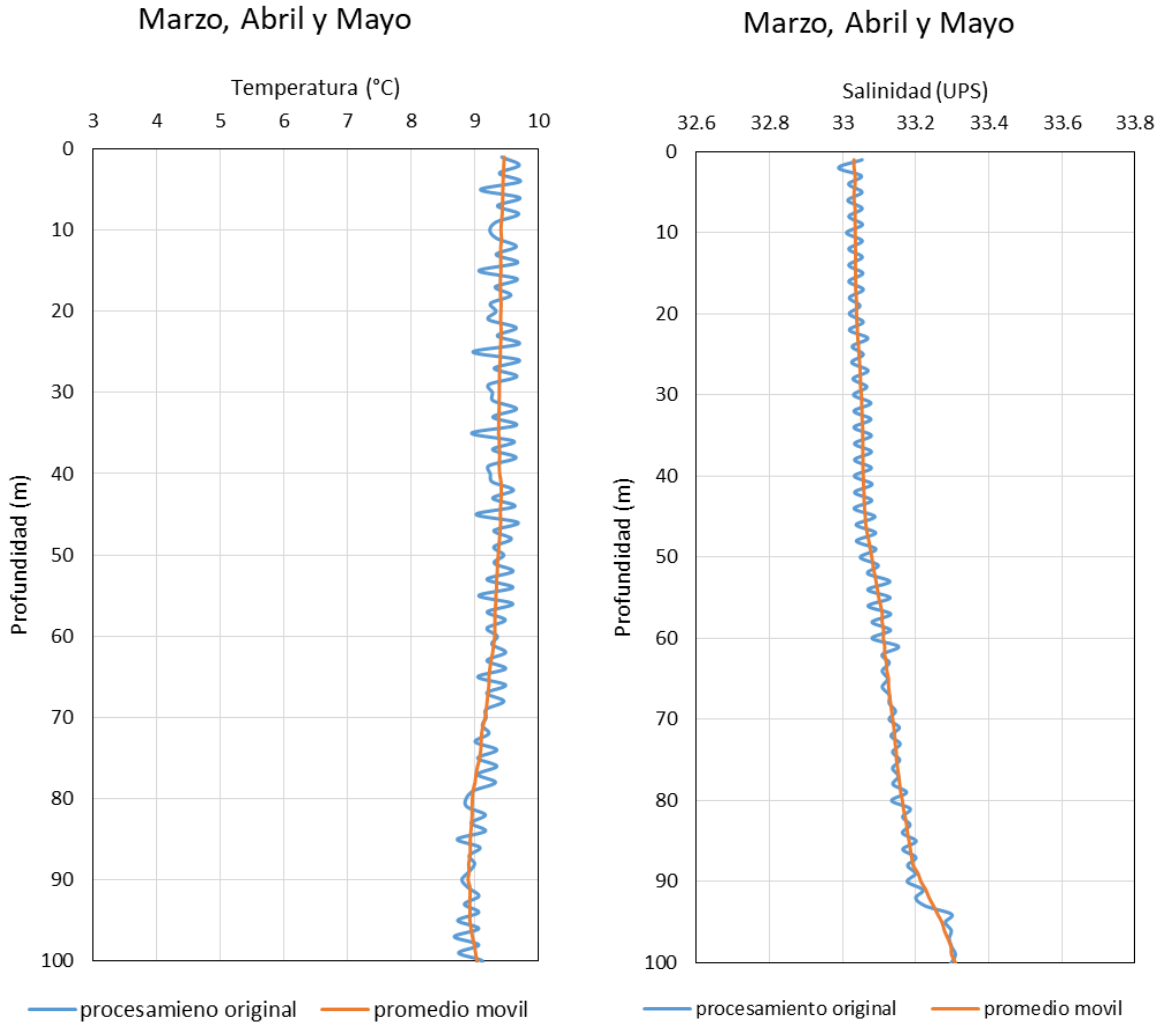


Figura 4. Perfiles de Temperatura (izquierda) y Salinidad (derecha) promediados para los meses de marzo, abril, mayo y por profundidad. Procesamiento original (azul) comparado con promedios móviles (naranja).

Luego de realizar los promedios móviles correspondientes, se muestran los resultados de la temperatura y la salinidad para los meses de diciembre, enero y febrero (Figura 5), marzo, abril y mayo (Figura 6), junio, julio y agosto (Figura 7) y septiembre, octubre y noviembre (Figura 8).

RE-2020-47390951-APN-DTD#JGM

Página 11 de 61

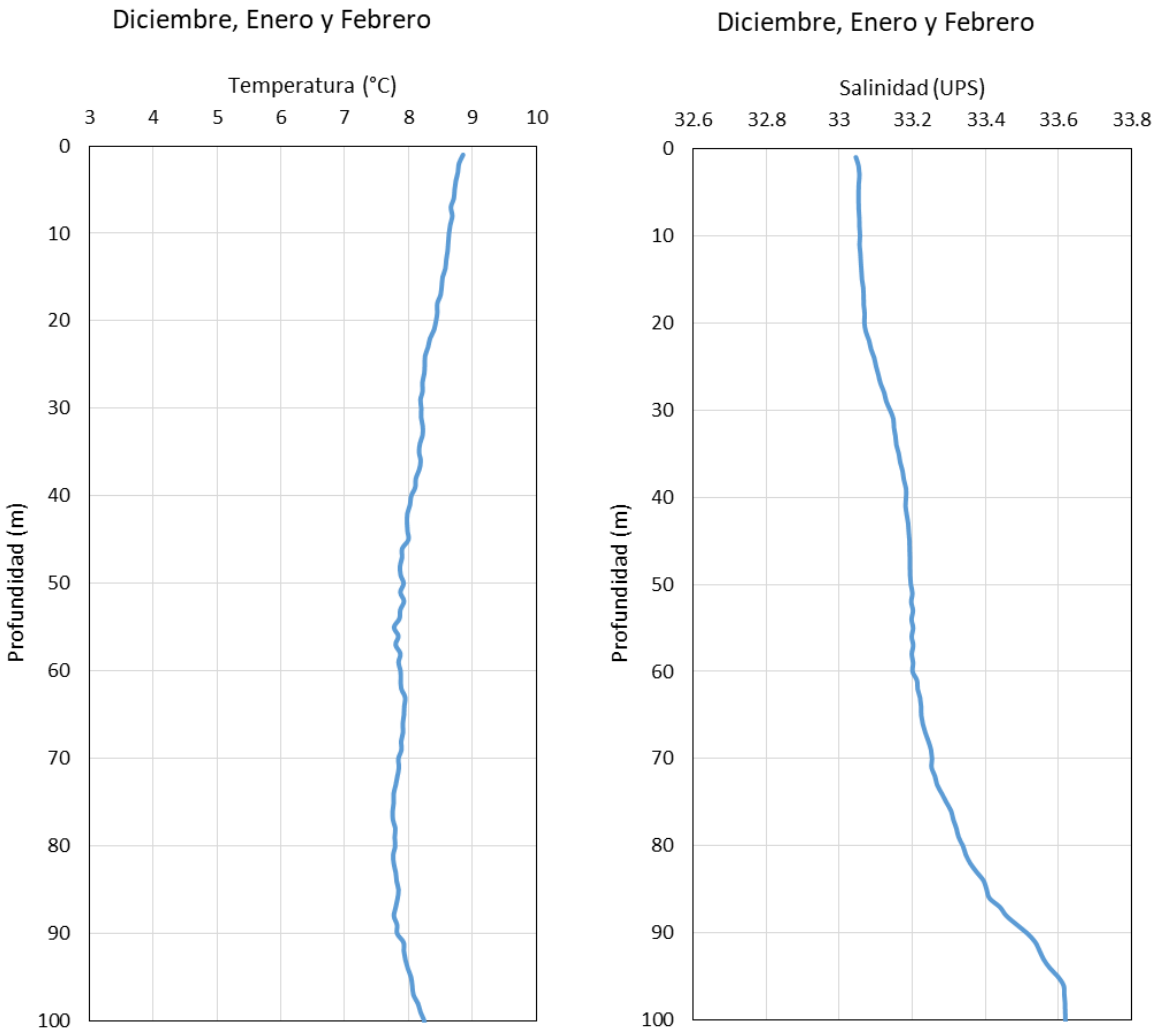


Figura 5. Perfiles de Temperatura (Izquierda) y salinidad (derecha), correspondientes a los meses de Diciembre, Enero y Febrero.

RE-2020-47390951-APN-DTD#JGM

CRISTINA GOYENECHEA
Directora Área Ambiente
SERMAN & ASOCIADOS S.A.

Página 12 de 61

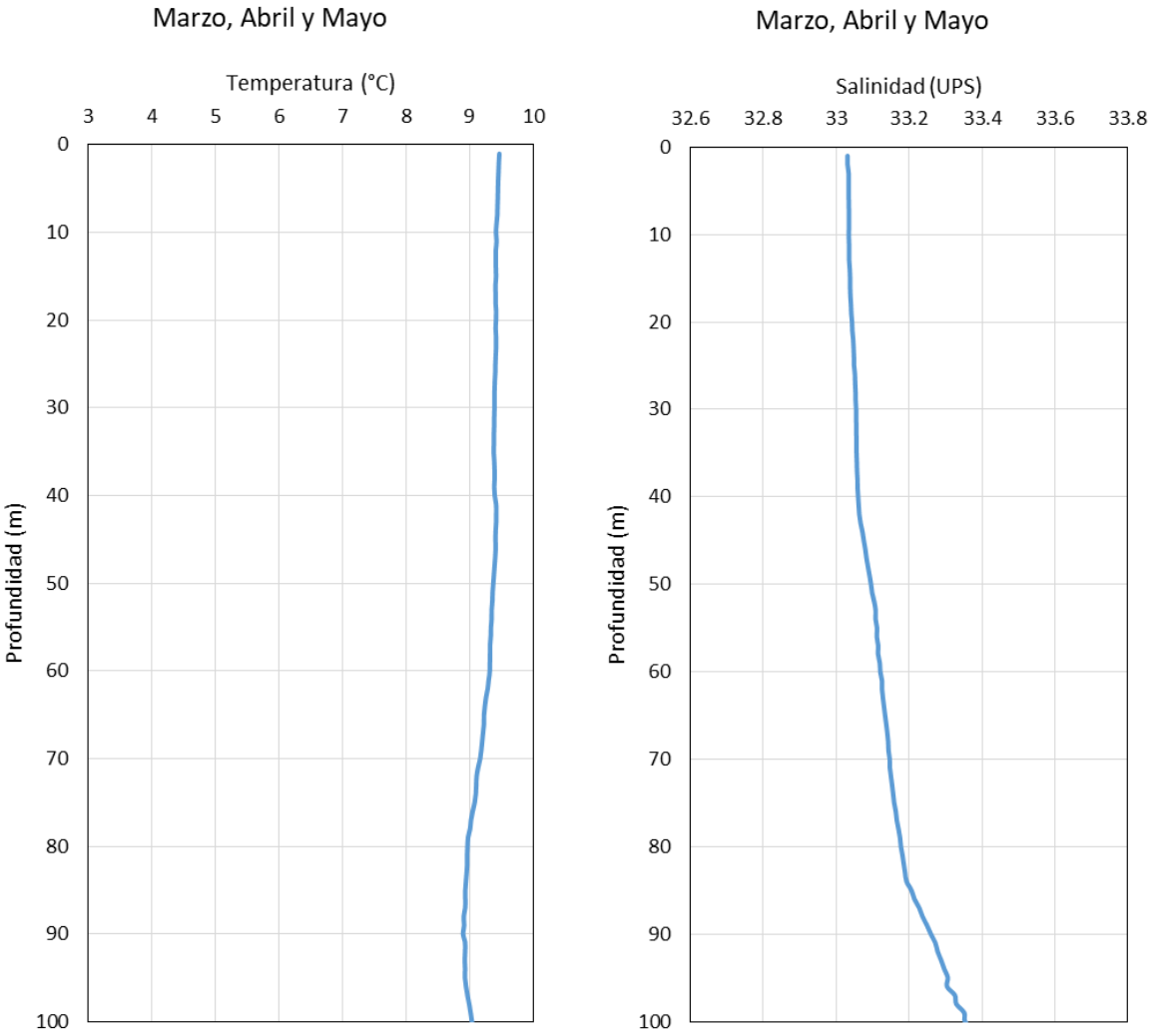


Figura 6. Perfiles de Temperatura (Izquierda) y salinidad (derecha), correspondientes a los meses de Marzo, Abril y Mayo.

RE-2020-47390951-APN-DTD#JGM

CRISTINA GOYENECHEA
Directora Área Ambiente
SERMAN & ASOCIADOS S.A.

Página 13 de 61

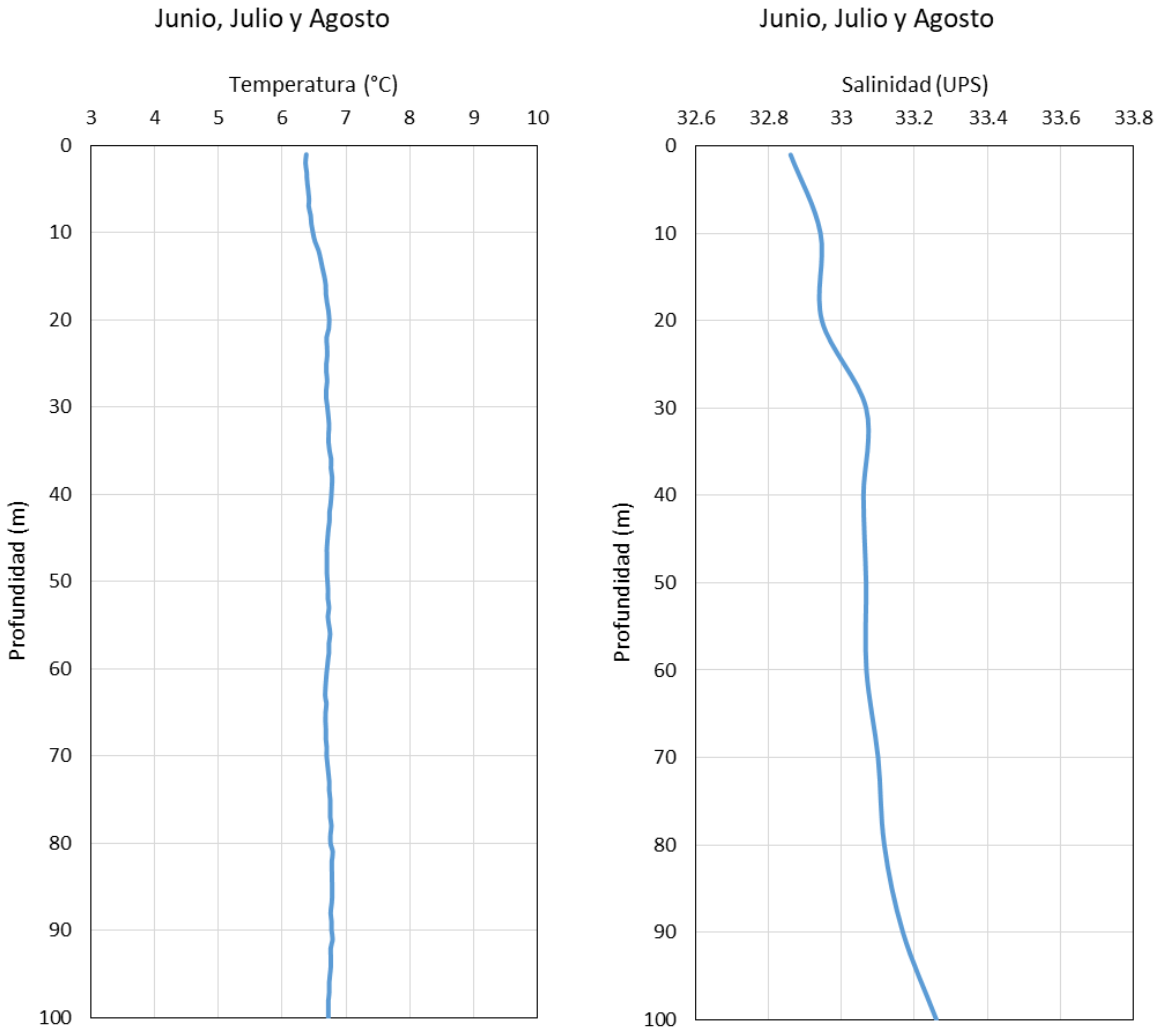


Figura 7. Perfiles de Temperatura (Izquierda) y salinidad (derecha), correspondientes a Junio, Julio y Agosto.

RE-2020-47390951-APN-DTD#JGM

CRISTINA GOYENECHEA
Directora Área Ambiente
SERMAN & ASOCIADOS S.A.

Página 14 de 61

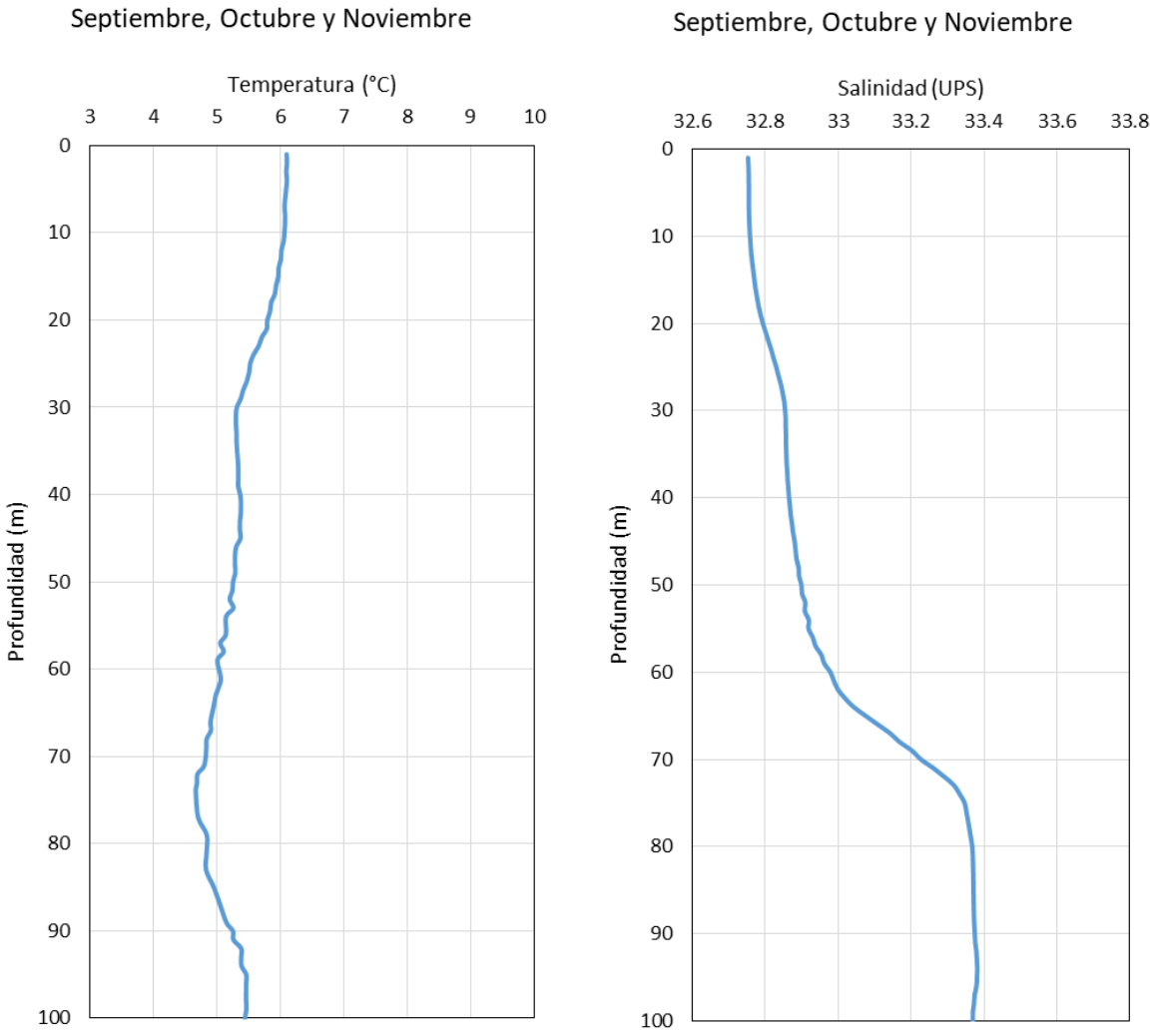


Figura 8. Perfiles de Temperatura (Izquierda) y salinidad (derecha), correspondientes a Septiembre, Octubre y Noviembre.

Se calcularon las densidades y velocidades del sonido para cada época del año, para luego ingresarlas como dato de entrada al modelo. En la Figura 9 se muestran los perfiles de densidad y velocidad del sonido para los meses de Diciembre, Enero y Febrero, en la Figura 10 para los meses de Marzo, Abril y Mayo, en la Figura 11, para Junio, Julio y agosto y en la Figura 12 para Septiembre, Octubre y Noviembre.

RE-2020-47390951-APN-DTD#JGM

Página 15 de 61

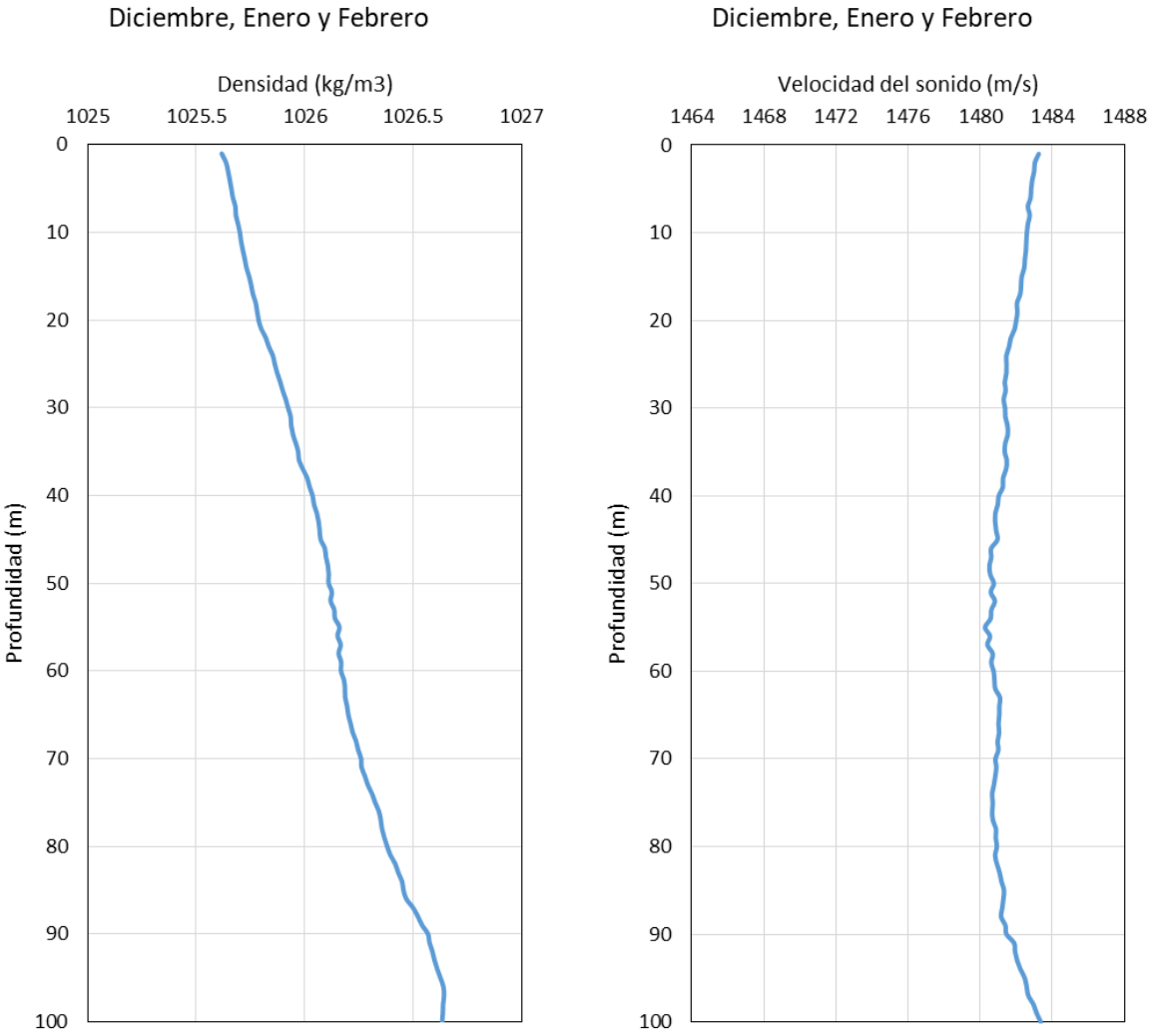


Figura 9. Perfiles de Densidad (Izquierda) y Velocidad del sonido (derecha), correspondientes a los meses de diciembre, enero y febrero.

RE-2020-47390951-APN-DTD#JGM

CRISTINA GOYENECHEA
Directora Área Ambiente
SERMAN & ASOCIADOS S.A.

Página 16 de 61

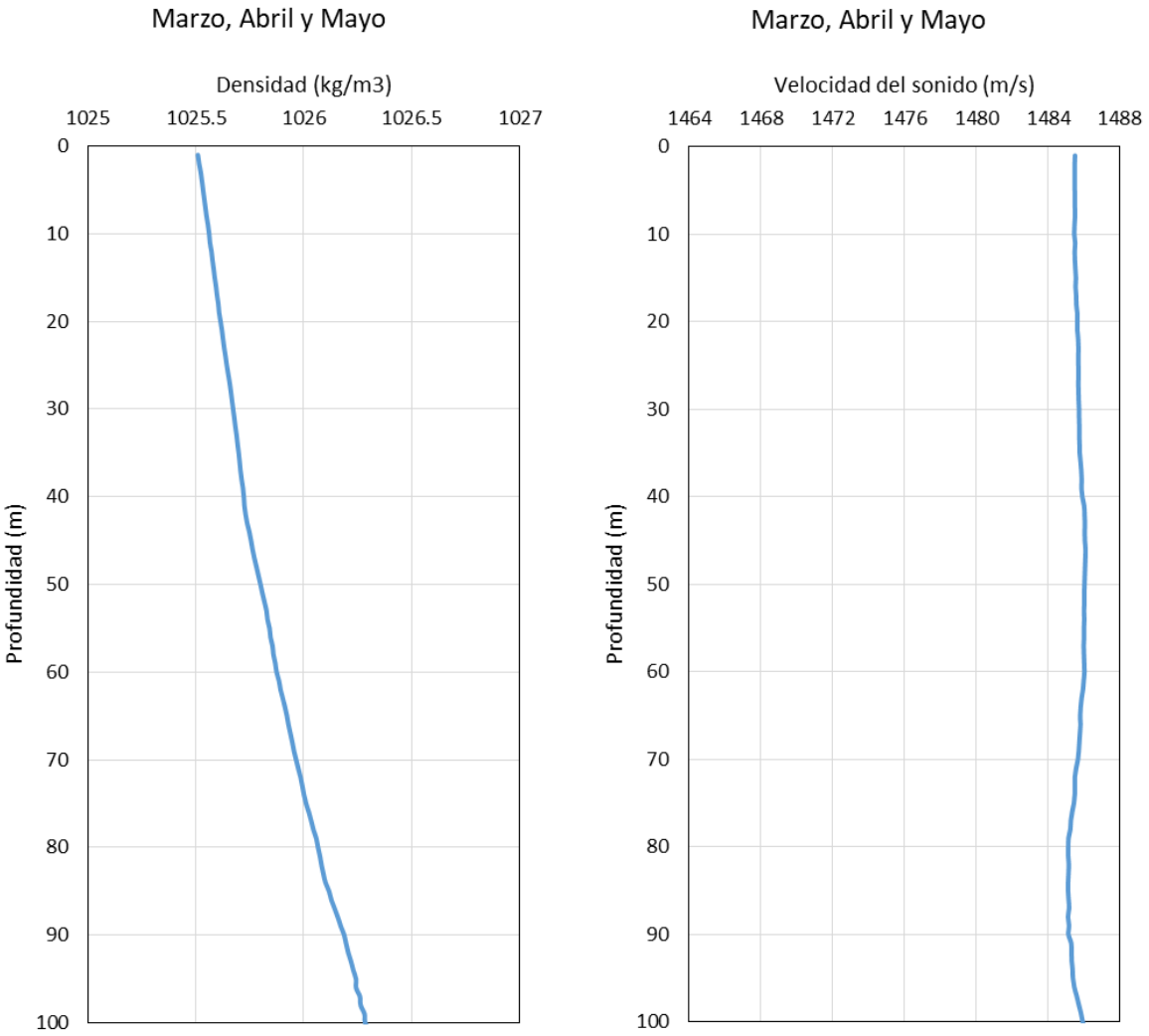


Figura 10. Perfiles de Densidad (Izquierda) y Velocidad del sonido (derecha), correspondientes a los meses de marzo, abril y mayo.

RE-2020-47390951-APN-DTD#JGM

CRISTINA GOYENECHEA
Directora Área Ambiente
SERMAN & ASOCIADOS S.A.

Página 17 de 61

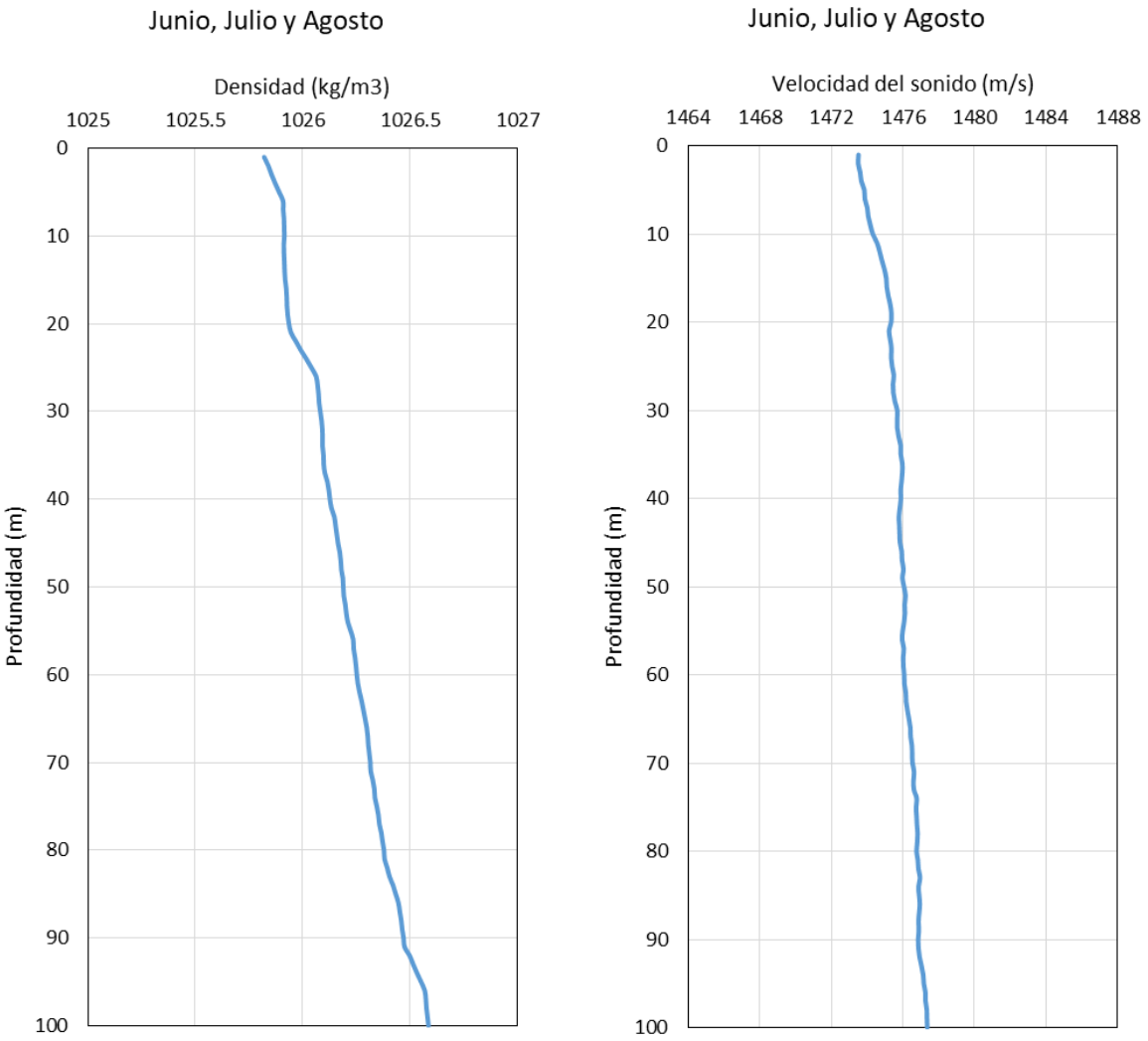


Figura 11. Perfiles de Densidad (Izquierda) y Velocidad del sonido (derecha), correspondientes a los meses de junio, julio y agosto.

RE-2020-47390951-APN-DTD#JGM

Página 18 de 61

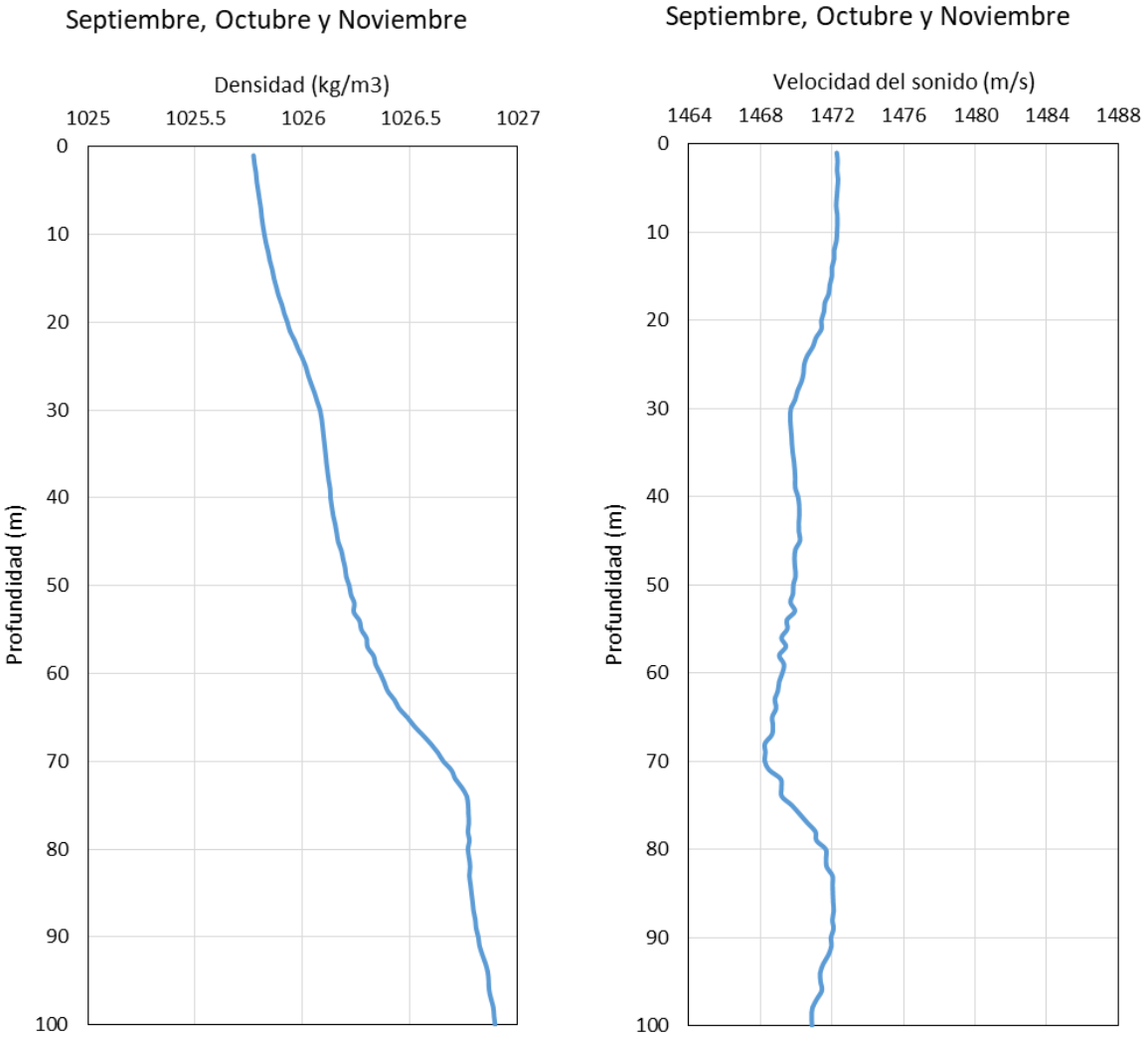


Figura 12. Perfiles de Densidad (Izquierda) y Velocidad del sonido (derecha), correspondientes a los meses de septiembre, octubre y noviembre.

3.2.7.2 Coeficiente de atenuación en agua

La atenuación en agua es débil y no influye en los resultados de la modelación acústica para la región, especialmente a las distancias que se investigan, de pocos kilómetros y frecuencias inferiores a 100 Hz. El valor del coeficiente de atenuación sonora en agua (α_a) fue seleccionado igual a 0,01 dB/λ, donde λ es la longitud de onda acústica (λ=C/f, llamando C a la velocidad de propagación y f a la frecuencia).

3.2.7.3 Sedimentos Marinos

Los datos de sedimentos del fondo marino se obtuvieron del Atlas de Sensibilidad del Mar Argentino (Boltovskoy et al., 2008). La plataforma continental tiene una cobertura de sedimentos recientes originados en el continente y llevados al mar a través de diferentes procesos de transporte y depositación. No hay sedimentos originados en el mar. En la Figura 13 se presentan los sedimentos superficiales para el área de estudio.

RE-2020-47390951-APN-DTD#JGM

Página 19 de 61

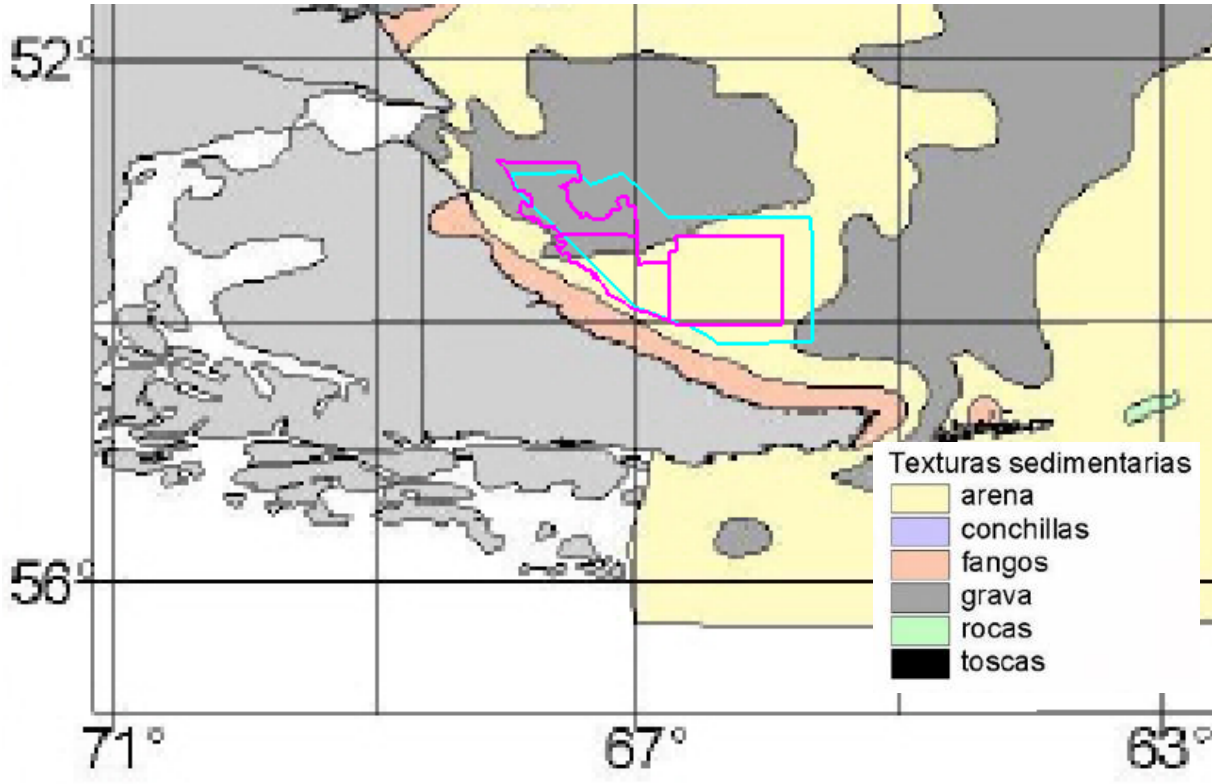


Figura 13. Capa de sedimentos de fondo marino para el área de exploración sísmica. Polígonos celestes: áreas de concesión; polígonos rosas: área de operación.

Los valores de las velocidades compresionales y de corte en los sedimentos y las atenuaciones de las mismas tienen grandes variaciones dependiendo del tipo de sedimento de fondo. Jensen et al., (2014) ofrece una tabla con los valores característicos de las propiedades geoacústicas de los sedimentos de fondo que se encuentran en lechos marinos y plataformas continentales. En la Tabla 5, se muestran estos parámetros, donde p: porosidad (%), ρ_b/ρ_w: densidad del sedimento sobre densidad del agua (ρ_w= 1000 kg/m^3), C_p/C_w: Velocidad compresional sobre velocidad del sonido media en agua (C_w=1500 m/s), C_p: velocidad compresional, C_s=Velocidad de corte, α_p: Atenuación asociada a la onda compresional, α_s: Atenuación asociada a la onda de corte. Para limos, arenas y arcillas el valor de C_s depende del espesor z de la capa superficial de sedimentos.

RE-2020-47390951-APN-DTD#JGM

Página 20 de 61

Tabla 5. Tabla de propiedades geoacústicas de los sedimentos de fondo. Fuente: Jensen et al., 2014.

Table 1.3 Geoacoustic properties of continental shelf and slope environments

Bottom type	p (%)	ρ_b/ρ_w –	c_p/c_w –	c_p (m/s)	c_s (m/s)	α_p (dB/λ_p)	α_s (dB/λ_s)
Clay	70	1.5	1.00	1500	<100	0.2	1.0
Silt	55	1.7	1.05	1575	$c_s^{(1)}$	1.0	1.5
Sand	45	1.9	1.1	1650	$c_s^{(2)}$	0.8	2.5
Gravel	35	2.0	1.2	1800	$c_s^{(3)}$	0.6	1.5
Moraine	25	2.1	1.3	1950	600	0.4	1.0
Chalk	–	2.2	1.6	2400	1000	0.2	0.5
Limestone	–	2.4	2.0	3000	1500	0.1	0.2
Basalt	–	2.7	3.5	5250	2500	0.1	0.2

$c_s^{(1)} = 80\,\tilde{z}^{0.3}$ $\quad c_w = 1500\ \text{m/s}, \quad \rho_w = 1000\ \text{kg/m}^3$
$c_s^{(2)} = 110\,\tilde{z}^{0.3}$
$c_s^{(3)} = 180\,\tilde{z}^{0.3}$

Para el área de exploración el material predominante es arenas y gravas, aunque existe fango en el área, se encuentra a una distancia mayor de 10 km de la zona de evolución del arreglo sísmico.

La secuencia sedimentaria depositacional (o unidad sismoestratigráfica) se extiende desde el borde exterior de plataforma (y aún sectores del talud superior) hasta las llanuras costeras, estando limitada en su base por la superficie transgresiva mientras que su tope está representado por la superficie topográfica actual. Su espesor promedia los 5 a 10 m, siendo mayor en la plataforma bonaerense donde llega a 10-15 m y menor en la patagónica donde generalmente no excede los 5 m, teniendo aquí una distribución discontinua (Urien y Ewing 1974, Parker et al. 1996, 1997, Urien et al. 2003), citado por Violante et al (2014).

En consecuencia, en esta zona se adopta un espesor z = 5 metros para el cálculo de Cs aunque los análisis de sensibilidad efectuados muestran que los resultados de atenuación del sonido son poco dependientes de la variación del valor de este parámetro en un amplio rango.

3.3 ESCENARIOS DE PROPAGACIÓN DE LA INTENSIDAD SONORA (SPL) MODELADOS Y RESULTADOS OBTENIDOS EN RELACIÓN CON LOS UMBRALES DE AFECTACIÓN

La estrategia de modelación adoptada para obtener resultados adecuadamente representativos de las condiciones de propagación del sonido en la zona fue la siguiente:

Se realizaron numerosos análisis de sensibilidad con respecto a la frecuencia de emisión, la época del año y la profundidad de agua dentro del rango correspondiente a cada sector. Un resumen ilustrativo de los mismos se presenta a continuación en la Tabla 6, la cual consta de una nomenclatura de la simulación, el rango de profundidad válido para el área, la profundidad adoptada en la corrida, la condición de velocidad del sonido adoptada, la frecuencia de emisión, y la distancia en la cual las Pérdidas de Transmisión Teóricas (TL) alcanzan 49,3 dB en cualquier profundidad para cada uno de los modelos empleados, valor umbral correspondiente al TTS para Cetáceos de frecuencias altas (HF), según la Tabla 4.

Las distancias indicadas han sido redondeadas a 10 m, considerando que los resultados presentan oscilaciones de intensidad en distancias cortas, por lo que la precisión del análisis no es del orden del metro.

El análisis efectuado mostró que, siendo la profundidad de agua relativamente baja, un parámetro muy importante en cuanto a su influencia en el resultado es el tipo de suelo, por lo que en la tabla se ha dividido el análisis según este parámetro.

Tabla 6. Síntesis de simulaciones realizadas y resultados sobre la distancia correspondiente a una Pérdida de Transmisión Teórica (TL) de 49,3 dB, umbral TTS para Cetáceos de frecuencias muy altas

Áreas AUS105 – AUS106 – MLO121

Nomen-clatura	Tipo de Suelo	Rango de Profundidad (m)	Profundidad Adoptada (m)	Estación del Año	Frecuencia (Hz)	Distancia TTS VHF (m)	Distancia TTS VHF (m)
					Modelo:	Bellhop	RAMS
S_01	Gravas	30-80	30	Primavera	5	300	70
S_02	Gravas	30-80	30	Primavera	50	1.050	1.140
S_03	Gravas	30-80	30	Primavera	80	1.370	1.790
S_04	Gravas	30-80	30	Verano	80	1.340	1.700
S_05	Gravas	30-80	30	Otoño	80	1.350	1.640
S_06	Gravas	30-80	30	Invierno	80	1.350	1.700
S_07	Gravas	30-80	80	Primavera	80	1.440	1.700
S_08	Arenas	50-130	50	Primavera	5	70	110
S_09	Arenas	50-130	50	Primavera	50	990	690
S_10	Arenas	50-130	50	Primavera	80	1.090	1.260
S_11	Arenas	50-130	50	Verano	80	1.060	1.070
S_12	Arenas	50-130	50	Otoño	80	1.080	1.050
S_13	Arenas	50-130	50	Invierno	80	1.090	1.260
S_14	Arenas	50-130	130	Primavera	80	1.180	1.170

La evaluación de la influencia de la frecuencia ilustra claramente que la mayor frecuencia del rango de emisión máxima (80 Hz) es la que presenta un decaimiento menor, correspondiendo para esta frecuencia una mayor distancia hasta alcanzar el nivel umbral, tanto en el caso de gravas (ver Figura 15) como para arenas (ver Figura 16).

La evaluación de la influencia de las diferentes condiciones de velocidad del sonido, correspondientes a las diferentes estaciones del año (ver Figura 17 y Figura 18), indica que si bien hay escasa diferencia en todas las estaciones de tal manera que las distancias son muy similares a nivel de los mínimos valores de TL, se aprecia en la tabla precedente que resulta muy ligeramente más conservativo el escenario de Primavera para los dos modelos empleados.

Con respecto a la influencia de la profundidad, si bien también es pequeña, resulta algo más conservativa la menor de ellas para el modelo RAMS, que es el que arroja mayores distancias (ver Figura 19 y Figura 20).

A los efectos prácticos, para definir las distancias en las que la Perdida de Transmisión es suficiente para alcanzar los niveles de sonido correspondientes a los diferentes umbrales correspondientes a los grupos auditivos de los mamíferos marinos y los peces, se empleará la modelación más conservativa, correspondiente a Gravas, en época de primavera y menores profundidades.

RE-2020-47390951-APN-DTD#JGM

Página 22 de 61

La Pérdida de Transmisión envolvente mínima para suelos tipo grava (modelación S_03) y arena (modelación S_10) se presenta en la Figura 14, comparada con las pérdidas geométricas por dispersión esférica, intermedia y cilíndrica (se puede apreciar que la intermedia es una aproximación más apropiada en esta zona de bajas profundidades).

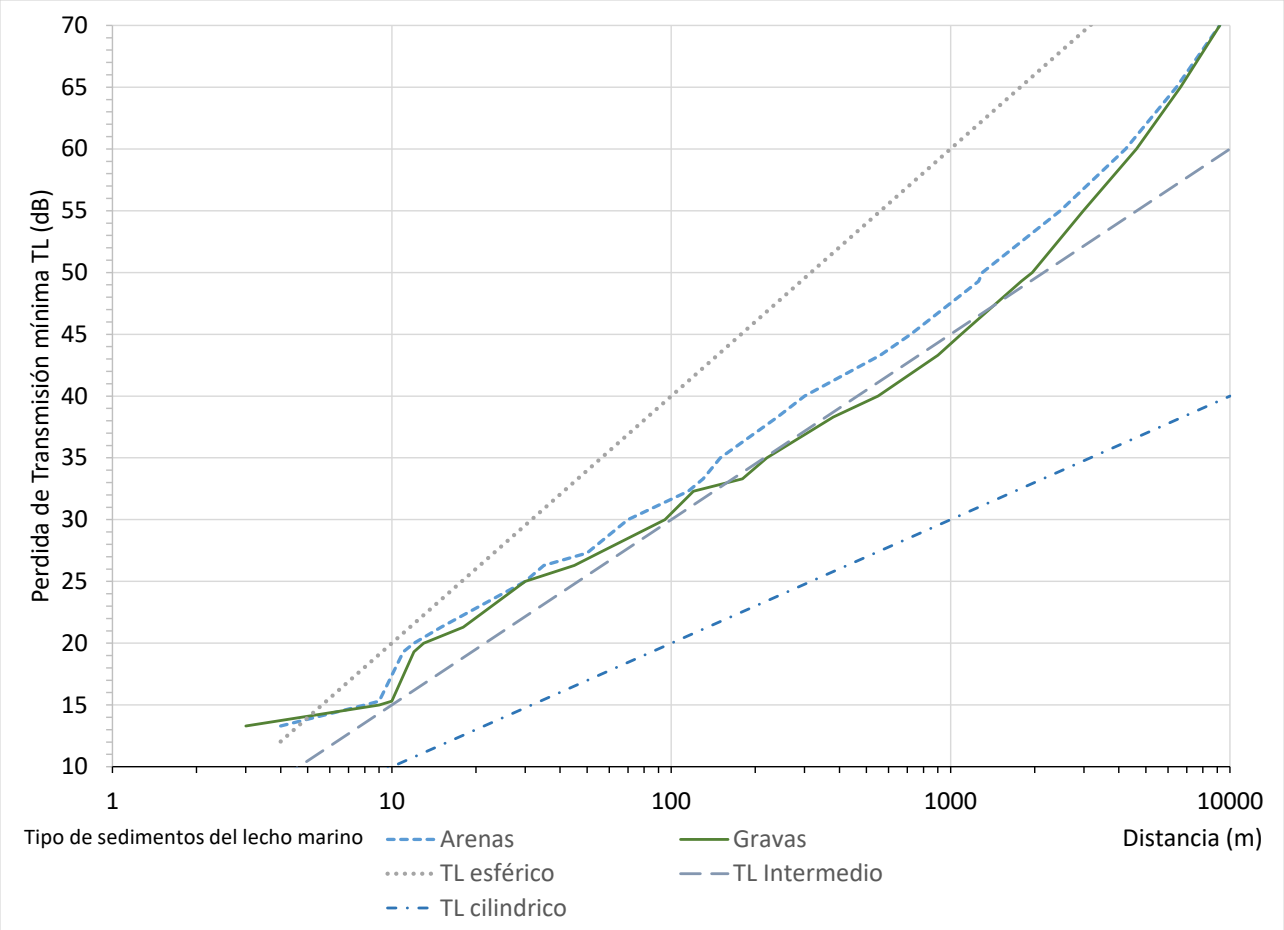


Figura 14. Pérdida de la Transmisión Teórica (TL) del sonido en función de la distancia al punto de emisión (Envolvente de valores mínimos)

Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 7 clasificados por Grupo Auditivo y en la Tabla 8 se ordenan por distancia a la fuente de emisión.

Se puede apreciar que la condición más exigente que se corresponde con la pérdida auditiva temporal (TTS) de los mamíferos marinos del tipo cetáceos de frecuencia auditiva muy alta (VHF), cuyo umbral se alcanza a unos 1.800 metros de la fuente (para fondo de gravas), seguida de la pérdida auditiva permanente (PTS) de los mismos mamíferos, cuyo umbral se alcanza a unos 900 metros.

En el caso de las ballenas, que son cetáceos de frecuencia auditiva baja (LF), el umbral de TTS se alcanza a los 120 metros de distancia de la fuente, y el de PTS se alcanza a menos de 50 metros.

RE-2020-47390951-APN-DTD#JGM

Página 23 de 61

Tabla 7. Síntesis de Distancias a la fuente para alcanzar la Pérdida de Transmisión correspondiente a los diversos umbrales y grupos auditivos evaluados

Grupo Auditivo	SPL pK (0-p) (dB re 1 µPa-m)	TL necesario (dB)	Distancia Gravas (m)	Distancia Arenas (m)
PTS - LF	219	26,3	45	35
PTS - HF	230	15,3	10	9
PTS - VHF	202	43,3	900	560
PTS - PW	218	27,3	55	50
PTS - PO	232	13,3	3	3
Peces SIN vejiga natatoria	213	32,3	120	115
Peces CON vejiga natatoria	207	38,3	380	240
TTS - LF	213	32,3	120	115
TTS - HF	224	21,3	18	15
TTS - VHF	196	49,3	1.790	1.260
TTS - PW	212	33,3	180	130
TTS - PO	226	19,3	12	11
Limite convencional de afectación	190	55,3	3.040	2.510

Tabla 8. Síntesis de Distancias a la fuente ordenadas para alcanzar la Pérdida de Transmisión correspondiente a los diversos umbrales y grupos auditivos evaluados

Grupo Auditivo	SPL pK (0-p) (dB re 1 µPa-m)	TL necesario (dB)	Distancia Gravas (m)	Distancia Arenas (m)
PTS - PO	232	13,3	3	3
PTS - HF	230	15,3	10	9
TTS - PO	226	19,3	12	11
TTS - HF	224	21,3	18	15
PTS - LF	219	26,3	45	35
PTS - PW	218	27,3	55	50
Peces SIN vejiga natatoria	213	32,3	120	115
TTS - LF	213	32,3	120	115
TTS - PW	212	33,3	180	130
Peces CON vejiga natatoria	207	38,3	380	240
PTS - VHF	202	43,3	900	560
TTS - VHF	196	49,3	1.790	1.260
Limite convencional de afectación	190	55,3	3.040	2.510

RE-2020-47390951-APN-DTD#JGM

Página 24 de 61

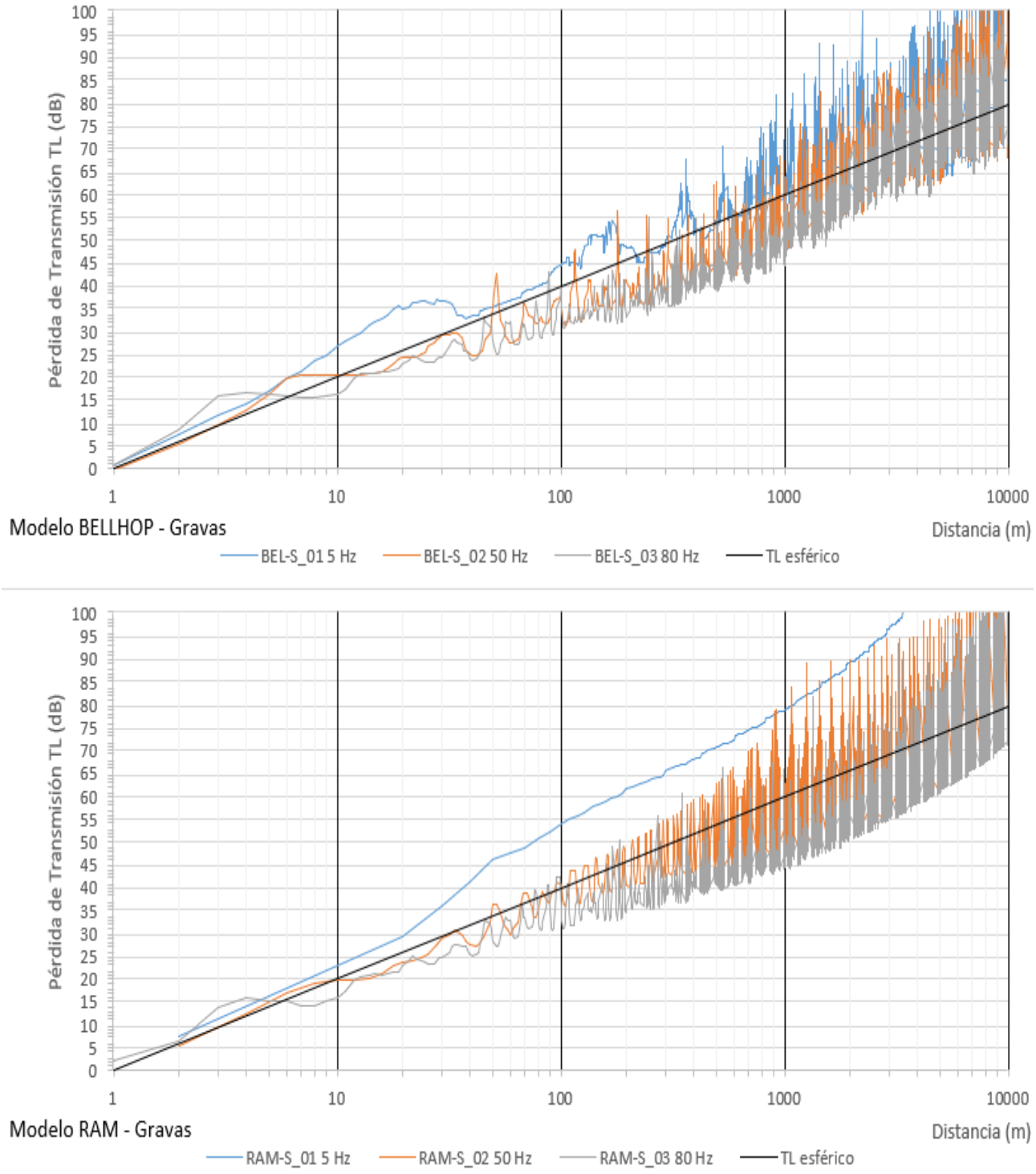


Figura 15. Pérdida de la Transmisión Teórica (TL) mínima del sonido en función de la distancia al punto de emisión. Tipo de Suelo Gravas. Simulaciones S_01 a S_03 (sensibilidad a la frecuencia)

RE-2020-47390951-APN-DTD#JGM

CRISTINA GOYENECHEA
Directora Área Ambiente
SERMAN & ASOCIADOS S.A.

Página 25 de 61

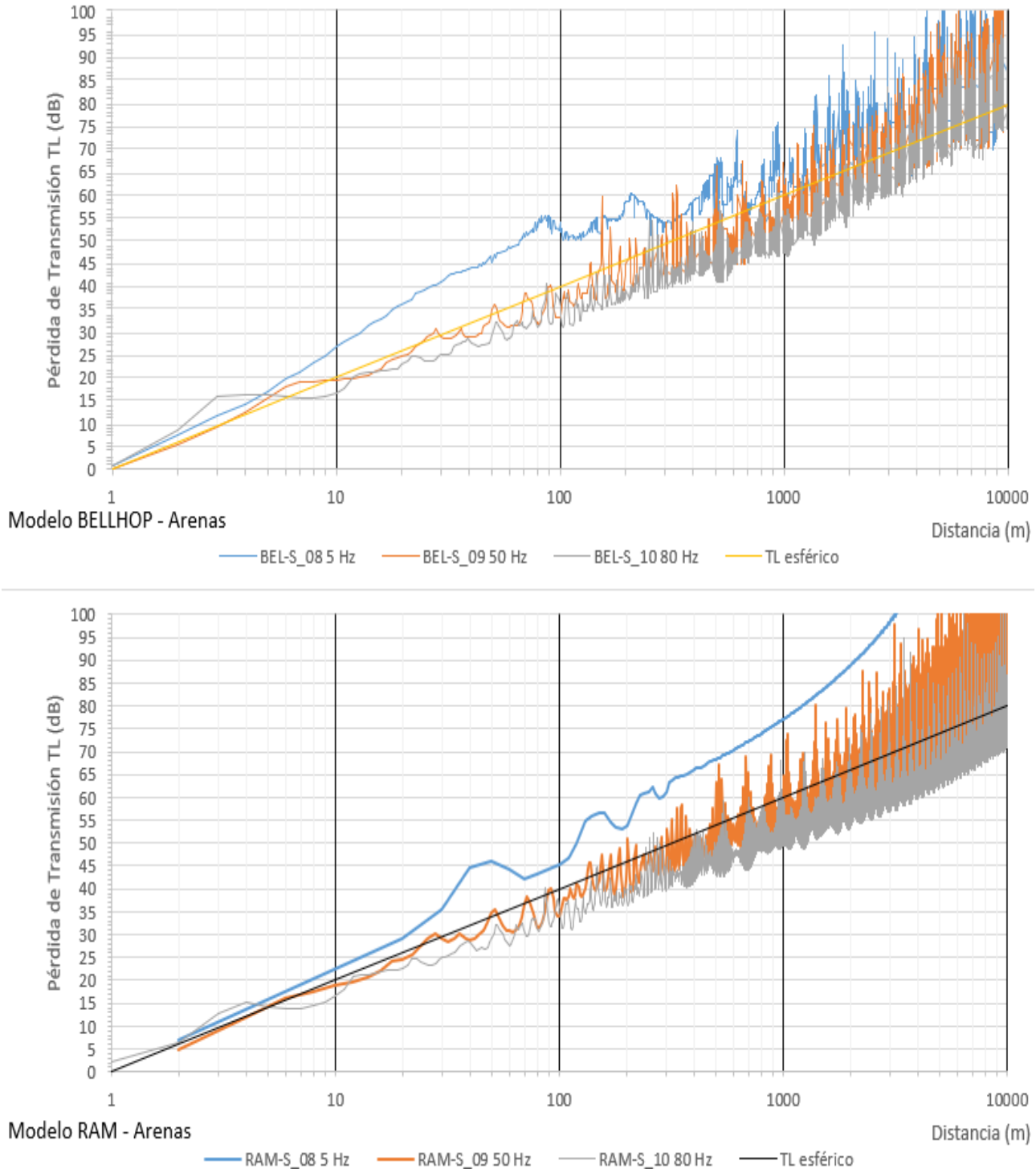


Figura 16. Pérdida de la Transmisión Teórica (TL) mínima del sonido en función de la distancia al punto de emisión. Tipo de Suelo Arenas. Simulaciones S_08 a S_10 (sensibilidad a la frecuencia)

RE-2020-47390951-APN-DTD#JGM

CRISTINA GOYENECHEA
Directora Área Ambiente
SERMAN & ASOCIADOS S.A.

Página 26 de 61

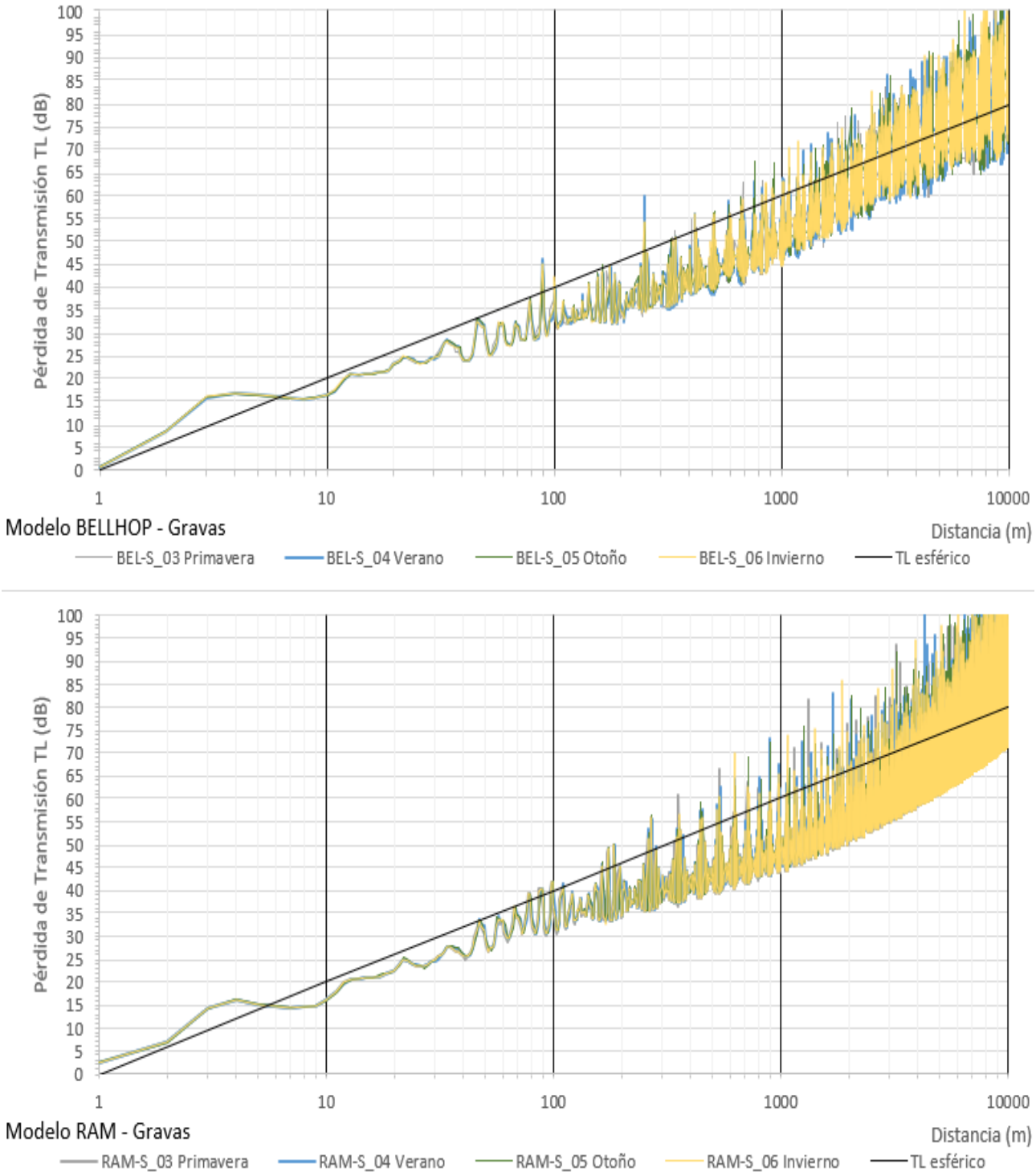


Figura 17. Pérdida de la Transmisión Teórica (TL) del sonido mínima en función de la distancia al punto de emisión. Tipo de Suelo Gravas. Simulaciones S_03 a S_06 (sensibilidad a la velocidad del sonido)

RE-2020-47390951-APN-DTD#JGM

Página 27 de 61

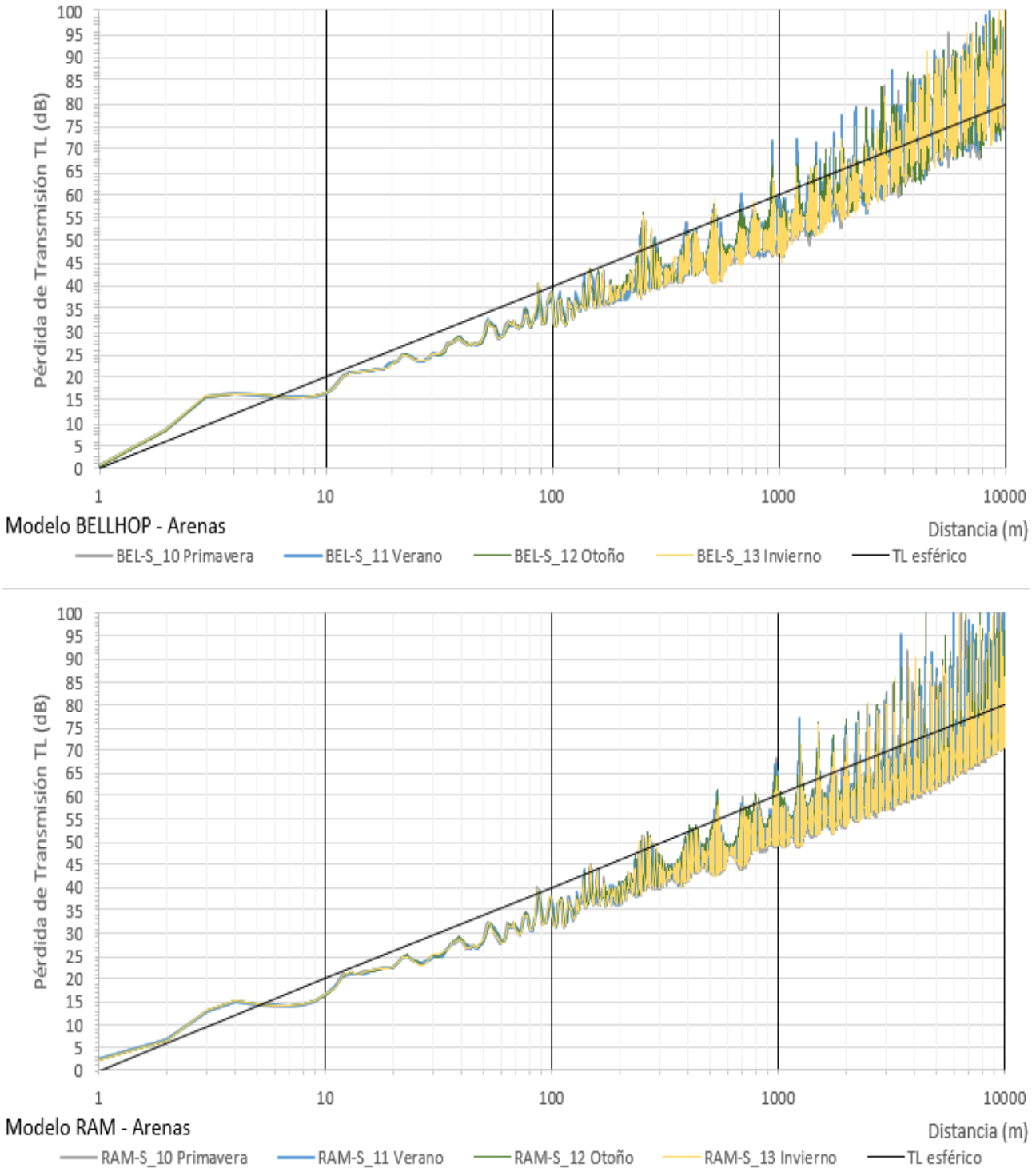


Figura 18. Pérdida de la Transmisión Teórica (TL) del sonido mínima en función de la distancia al punto de emisión. Tipo de Suelo Arenas. Simulaciones S_10 a S_13 (sensibilidad a la velocidad del sonido)

RE-2020-47390951-APN-DTD#JGM

Página 28 de 61

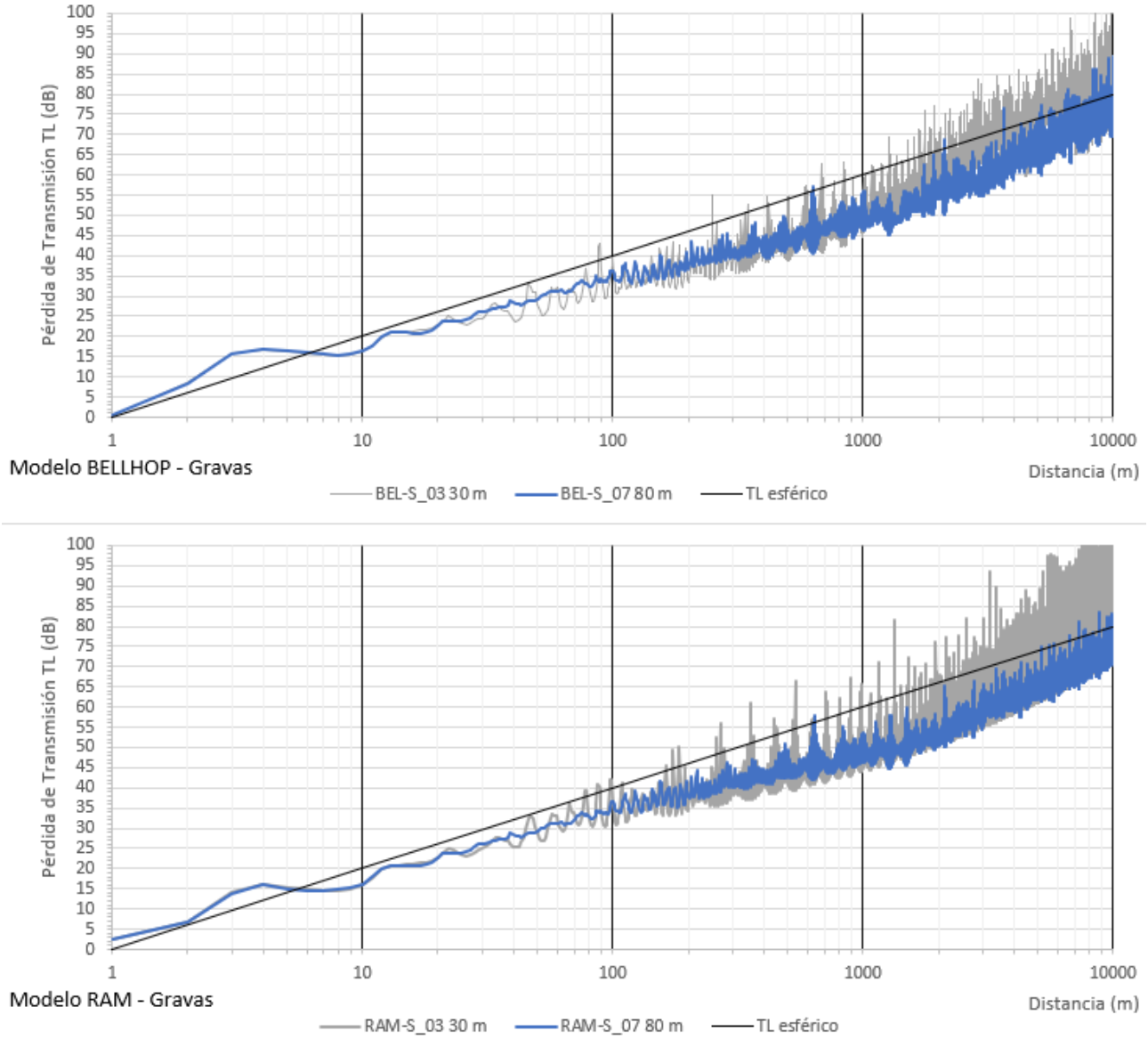


Figura 19. Pérdida de la Transmisión Teórica (TL) del sonido mínima en función de la distancia al punto de emisión. Tipo de Suelo Gravas. Simulaciones S_03 y S_07 (sensibilidad a la profundidad)

RE-2020-47390951-APN-DTD#JGM

Página 29 de 61

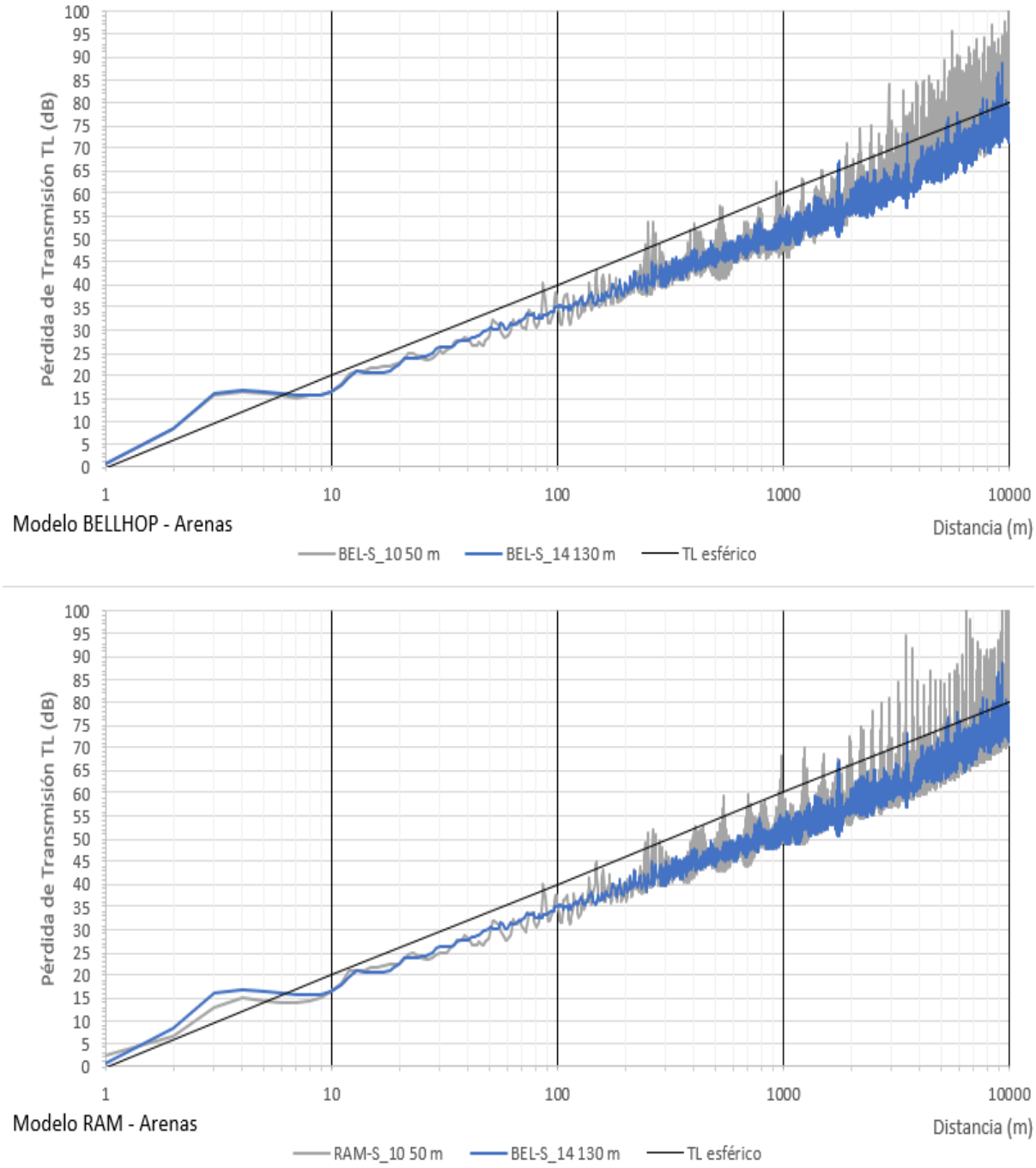


Figura 20. Pérdida de la Transmisión Teórica (TL) del sonido mínima en función de la distancia al punto de emisión. Tipo de Suelo Arenas. Simulaciones S_10 y S_14 (sensibilidad a la profundidad)

En las siguientes figuras se ilustra la Pérdida de Transmisión en forma bidimensional para algunas de las simulaciones a modo de ejemplo:

- S_06 y S_07 muestran las diferencias en TL para suelo tipo Gravas, con condiciones de velocidad del sonido de invierno y profundidad mínima la primera, y para velocidad del sonido de primavera y profundidad máxima la segunda.
- S_12 y S_14 muestran las diferencias en TL para suelo tipo Arenas, con las condiciones de velocidad del sonido correspondientes a condiciones de mínima profundidad y otoño, y de máxima profundidad y primavera.

RE-2020-47390951-APN-DTD#JGM

Página 30 de 61

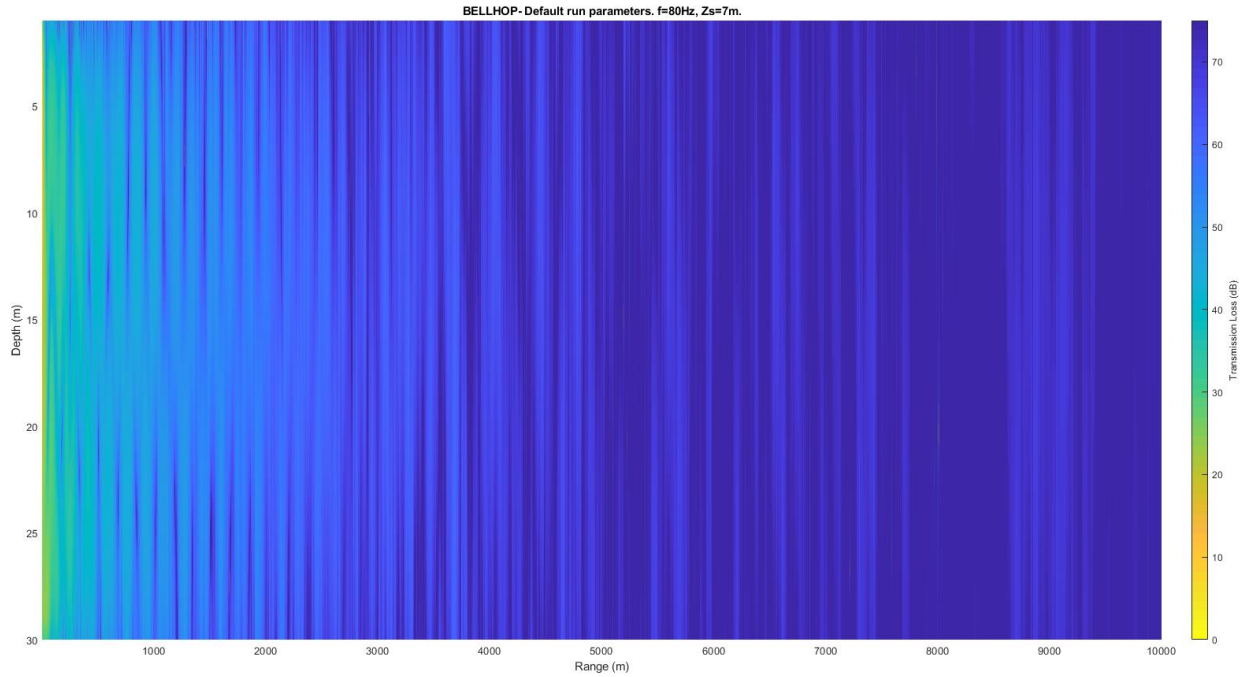


Figura 21. Atenuación bidimensional del sonido con la distancia al punto de emisión. Tipo de Suelo Gravas. Simulación S_06. Bellhop

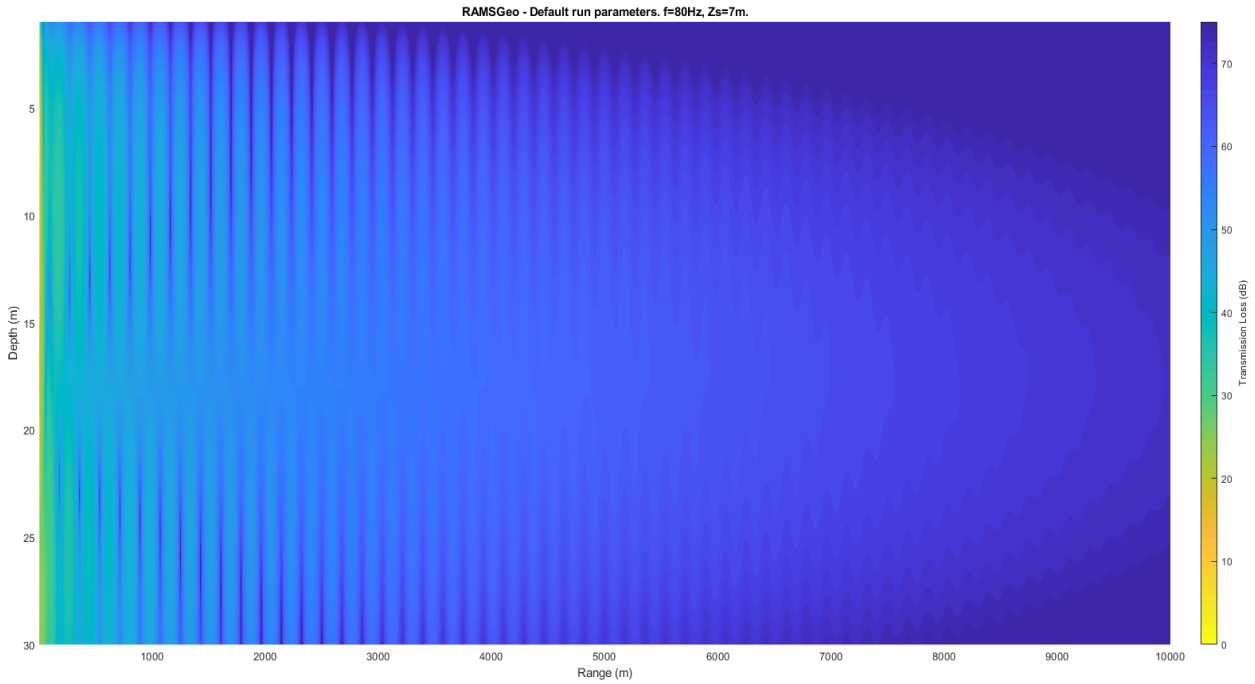


Figura 22. Atenuación bidimensional del sonido con la distancia al punto de emisión. Tipo de Suelo Gravas. Simulación S_06. Modelo RAM

RE-2020-47390951-APN-DTD#JGM

Página 31 de 61

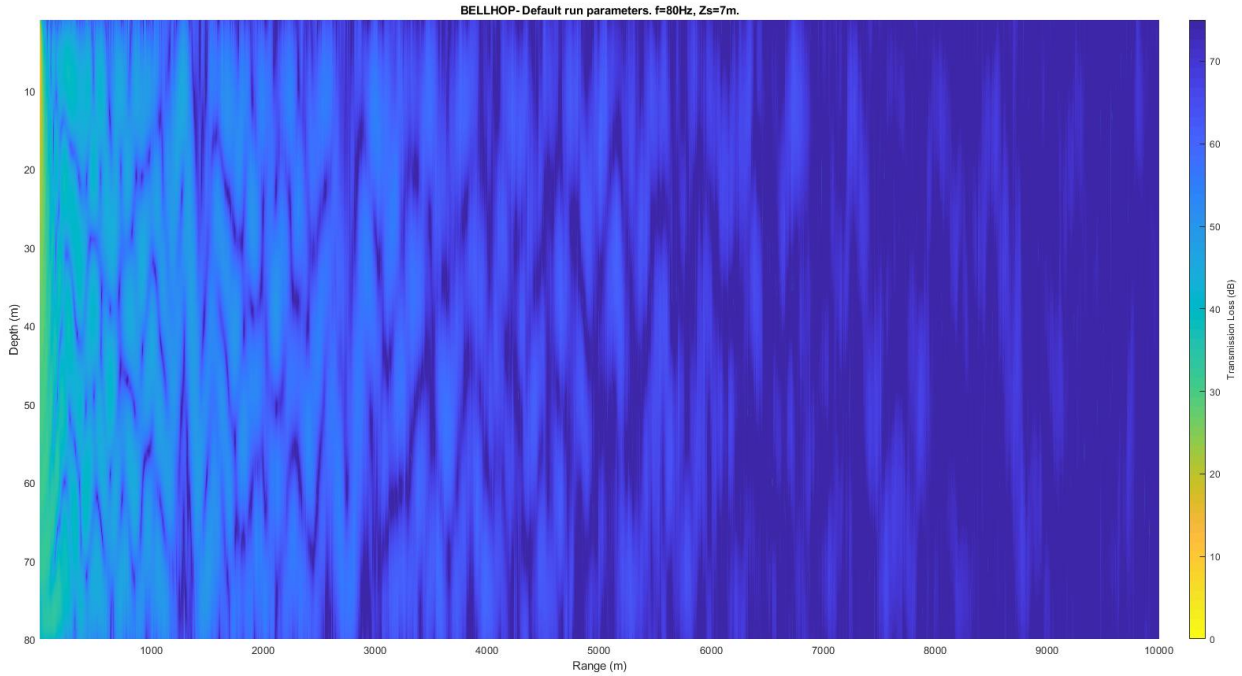


Figura 23. Atenuación bidimensional del sonido con la distancia al punto de emisión. Tipo de Suelo Gravas. Simulación S_07. Modelo Bellhop

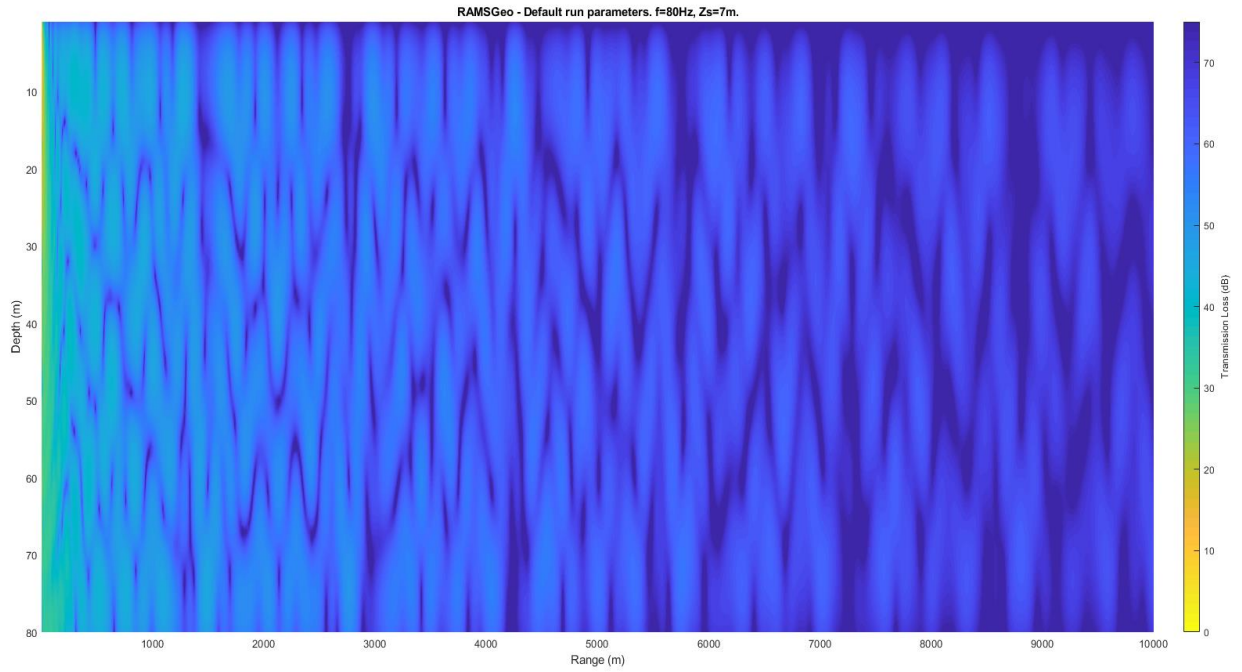


Figura 24. Atenuación bidimensional del sonido con la distancia al punto de emisión. Tipo de Suelo Gravas. Simulación S_07. Modelo RAM

RE-2020-47390951-APN-DTD#JGM

CRISTINA GOYENECHEA
Directora Área Ambiente
SERMAN & ASOCIADOS S.A.

Página 32 de 61

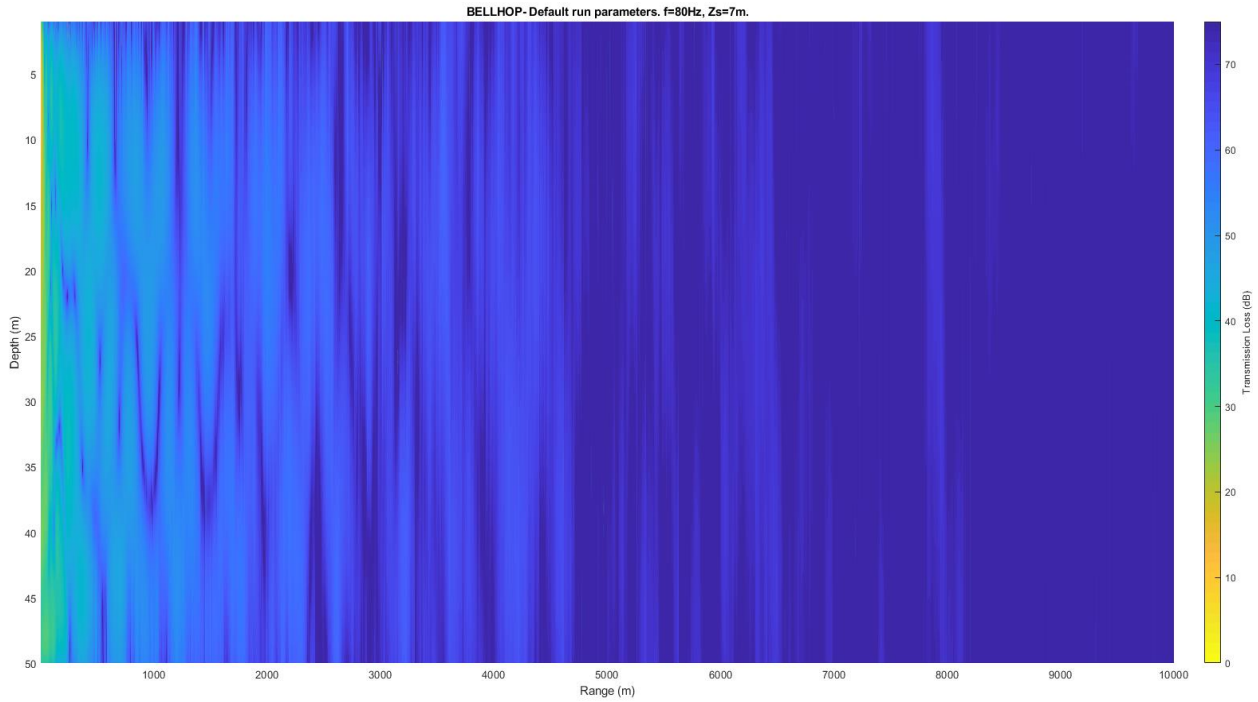


Figura 25. Atenuación bidimensional del sonido con la distancia al punto de emisión. Tipo de Suelo Arenas. Simulación S_12. Modelo Bellhop

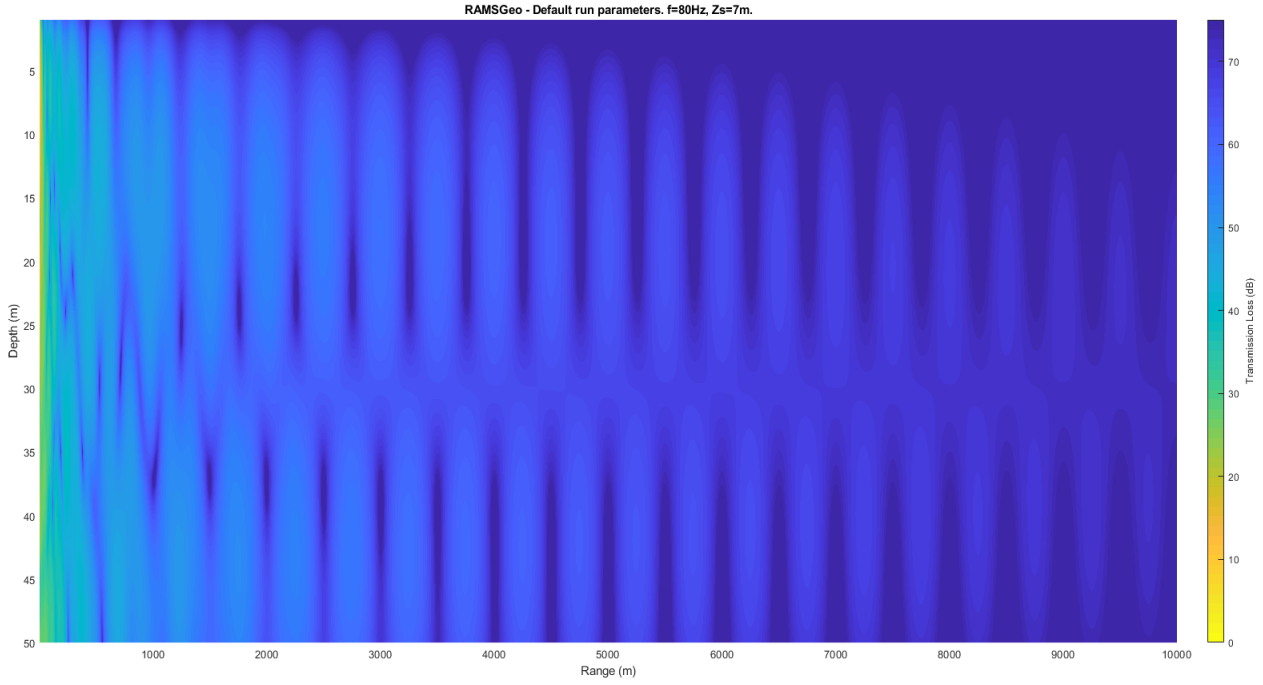


Figura 26. Atenuación bidimensional del sonido con la distancia al punto de emisión. Tipo de Suelo Arenas. Simulación S_12. Modelo RAM

Página 33 de 61

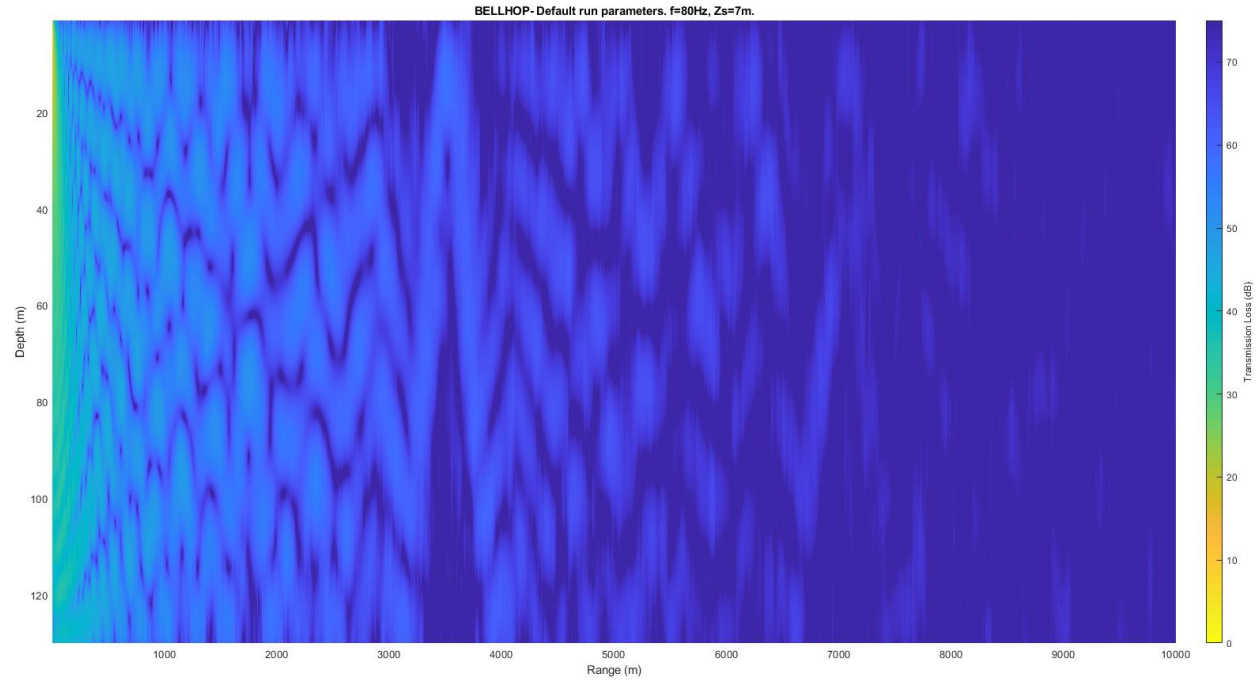


Figura 27. Atenuación bidimensional del sonido con la distancia al punto de emisión. Tipo de Suelo Arenas. Simulación S_14. Modelo Bellhop

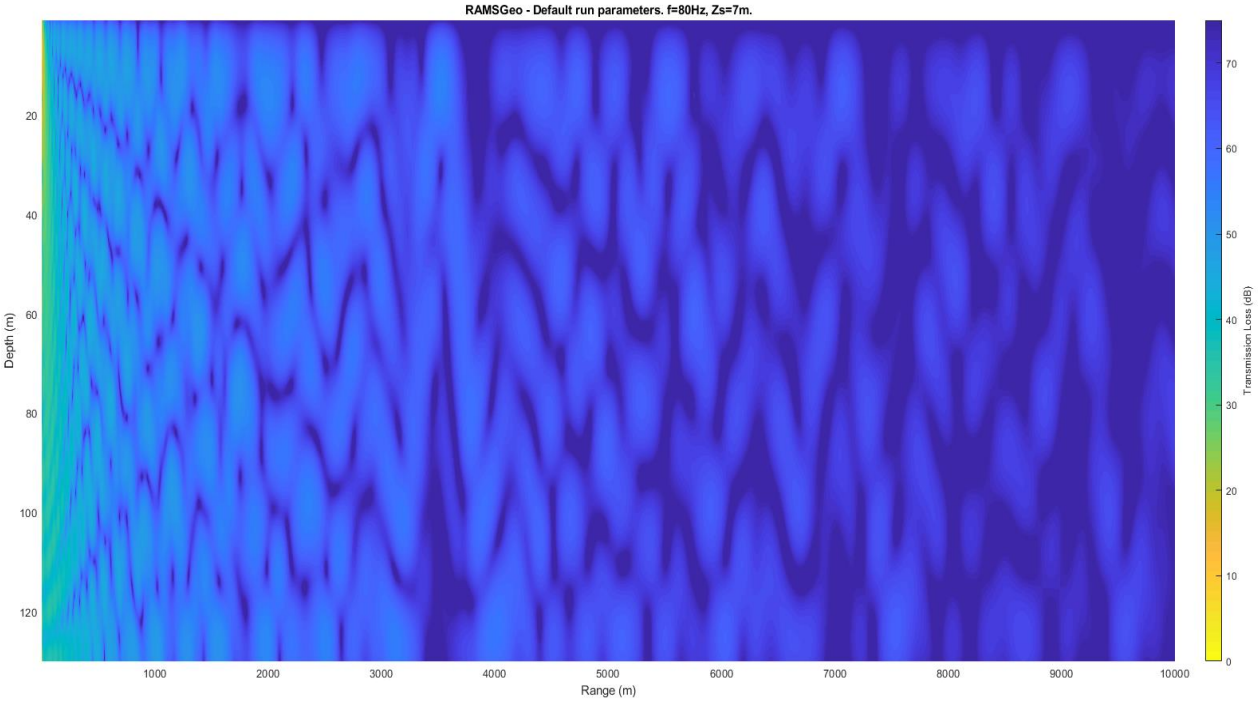


Figura 28. Atenuación bidimensional del sonido con la distancia al punto de emisión. Tipo de Suelo Arenas. Simulación S_14. Modelo RAM

Página 34 de 61

3.4 CONCLUSIONES SOBRE LOS UMBRALES CORRESPONDIENTES A LA INTENSIDAD SONORA (SPL)

En función de los resultados de las modelizaciones realizadas, es posible apreciar (en la Tabla 6) que los resultados obtenidos en cuanto a la atenuación o pérdida de transmisión en función de la distancia para la frecuencia de 80 Hz, son similares para todas las condiciones simuladas, lo cual implica que a los efectos prácticos éstos resultados son poco sensibles a la época del año y la profundidad de agua, y que básicamente se diferencian por la influencia del tipo de suelo.

En la Tabla 8 se puede apreciar que la condición más exigente que se corresponde con la pérdida auditiva temporal (TTS) de los mamíferos marinos del tipo cetáceos de frecuencia auditiva muy alta (VHF), cuyo umbral (para fondo de gravas) se alcanza a unos 1.800 metros de la fuente, seguida de la pérdida auditiva permanente (PTS) de los mismos mamíferos, cuyo umbral se alcanza a unos 900 metros. En el caso de fondo de arenas estos umbrales se alcanzan a casi 1.300 m para el TTS y a unos 560 metros para el PTS.

En el caso de las ballenas, que son cetáceos de frecuencia auditiva baja (LF), el umbral de TTS en fondo de grava se alcanza a los 120 metros de distancia de la fuente, y el de PTS se alcanza a menos de 50 metros. Con fondo de arena, los resultados son solo ligeramente inferiores a estos valores, por lo que en la práctica no hay diferencias según la zona.

Las distancias correspondientes al límite convencional de afectación de 190 dB re 1 μPa-m (0-p), son las mayores entre todos los umbrales antes indicados, alcanzando unos 3 km en la zona con lecho de gravas, y 2,5 km en la zona con lecho de arena.

El resto de las distancias en las que se alcanzan los umbrales para los diferentes grupos auditivos de mamíferos y para los peces se presenta en la Tabla 7 y en la Tabla 8.

4 MODELACIÓN DEL NIVEL DE EXPOSICIÓN ACÚSTICA (SEL) ACUMULADO

4.1 INTRODUCCIÓN

Otro de los criterios para analizar el impacto del sonido sobre la biota, además de considerar la amplitud sonora SPLPEAK o valor pico del SPL (0-p) en dB re 1 μPa que recibe, es analizar el Nivel de Exposición Acústica (SEL o L_E), que es una medida de energía (Southall et al., 2007). Específicamente, es el nivel de dB de la integral de tiempo del cuadrado de la presión acústica instantánea normalizada a un período de 1 segundo.

$$L_E = 10\log_{10}\left(\int_T p^2(t)dt \Big/ T_0 p_0^2\right)$$

Es una métrica útil para evaluar la exposición acumulada, ya que permite que los sonidos de diferente duración, a veces con múltiples exposiciones, sean comparados en términos de energía total. Existen métodos para sumar la energía en exposiciones múltiples para generar un valor de "exposición equivalente" único, que generalmente no supone recuperación de audición entre exposiciones repetidas. A continuación, se desarrolla un procedimiento para tal fin.

Tanto el SEL como el SPL rms se calculan a través de la integral de la presión al cuadrado, por lo que están relacionados por una expresión simple que depende solamente de la duración T del pulso de energía (en segundos):

SPL RMS = SEL – 10log10(T)

El SEL se expresa como dB re 1 μPa^2 s y su valor numérico es típicamente de 20 a 25 dB inferior a la presión cero-a-pico y de 10 a 15 dB inferior a la presión RMS para señales de una duración T entre 30-100 ms (= tiempo de integración). Para señales que duran 1 s, los valores SEL y RMS concuerdan, tal como surge de la ecuación, al ser el Log10(1)=0 (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente de España, 2012).

En el presente caso, dada una duración del pulso inferior a los 30 ms, correspondería considerar que la diferencia entre RMS y SEL es del orden de 15 dB. No obstante, aplicando el criterio conservativo utilizado normalmente en la bibliografía, correspondiente a un pulso de unos 100 ms de duración, se adopta una diferencia entre RMS y SEL igual a 10 dB resultando 20 dB de diferencia entre el SPLPEAK y el SEL.

En distancias mayores de 10 km, los componentes individuales de la forma de onda (pico y burbuja) no se diferencias, y junto con múltiples reflexiones, la forma de onda general puede durar del orden de un segundo. En estos rangos largos, el nivel promedio de presión sonora de 1 segundo es probablemente más apropiado, y por lo tanto, se considera que el SEL es igual al SPLPEAK.

Conceptualmente, el procedimiento para calcular la acumulación del SEL, que se suele denominar como SELcum en la bibliografía, consiste en ir sumando las contribuciones de cada emisión sísmica percibidas por el animal receptor del sonido, considerando la distancia al arreglo en la que se encuentra, el rango de profundidad en que se puede encontrar, la trayectoria del mismo, y su capacidad de percepción (audiograma).

4.2 ESPECTRO DE ENERGÍA EXTENDIDO

Los espectros de Energía extendidos hasta 1 Khz de los dos tipos de arreglos que podrían emplearse, correspondientes a un arreglo concentrado con 4.030 pulgadas cúbicas (cu.in.) de capacidad, y un arreglo extendido de 6 subarreglos (denominado “Hexa”) con 5.400 cu.in., se presentan en la Figura 29 y la Figura 30, respectivamente.

A los efectos del cálculo del SEL dentro de la banda auditiva de las especies que se encuentran en la zona de trabajo, se discretiza el espectro normalmente hasta una frecuencia de 125 kHz. La forma del espectro se considera detalladamente en el rango inicial de frecuencias menores a unos 100 Hz, mientras que se simplifica para frecuencias mayores considerando tendencias de decaimiento de la intensidad sonora máxima en dB, para poder luego discretizarlo.

Para ello se suele dividir el ancho de banda de la frecuencia de origen en bandas de 1/3 de octava donde cada banda tiene un nivel espectral, frecuencia central y ancho de banda dados, resultando los siguientes 42 valores (en Hz), que cubren prácticamente todo el rango auditivo de los mamíferos marinos:

10, 12.5, 16, 20, 25, 31, 40, 50, 63, 80,
100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800,
1k, 1.25k, 1.6k, 2k, 2.5k, 3.15k, 4k, 5k, 6.3k, 8k,
10k, 12.5k, 16k, 20k, 25k, 31.5k, 63k, 80k,
100k, 125k

En primer lugar, se generó una envolvente de máximos dentro del rango de frecuencias para el cual se dispone del espectro, entre 10 Hz y 1.000 Hz, que se indica en la figura identificada como “máximos locales”, respetando la forma inicial del espectro hasta los 150 Hz aproximadamente.

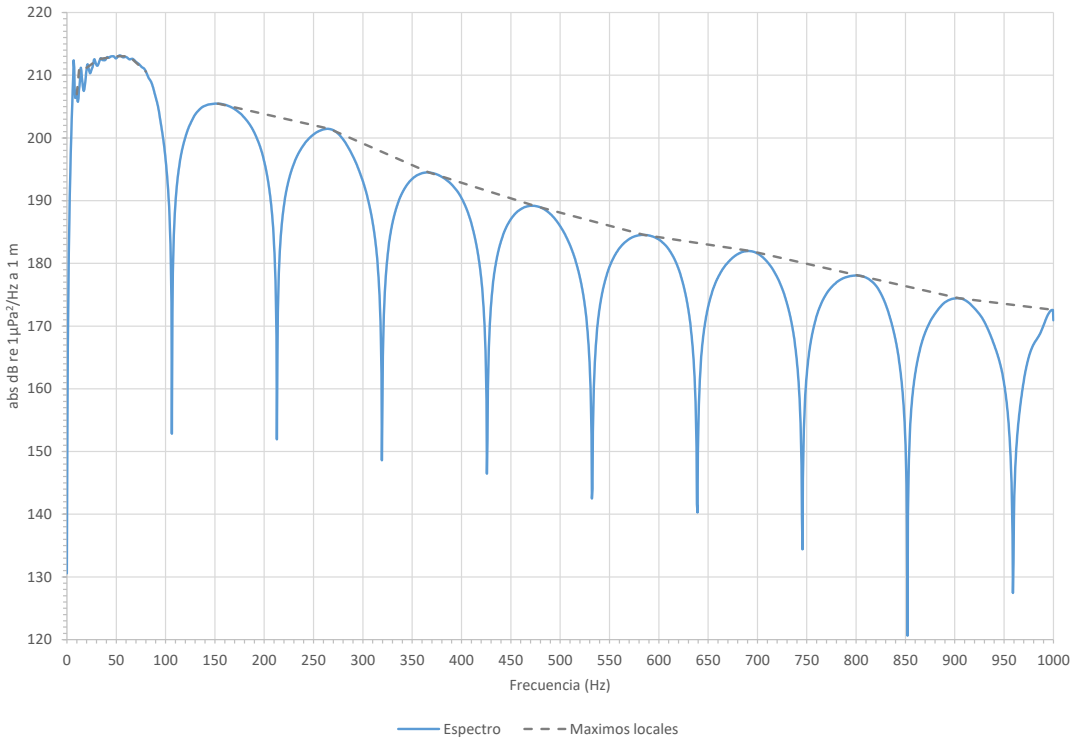


Figura 29. Firma vertical del espectro (dB absoluto) de un arreglo típico de 4.030 cu.in. a 7 metros de profundidad.

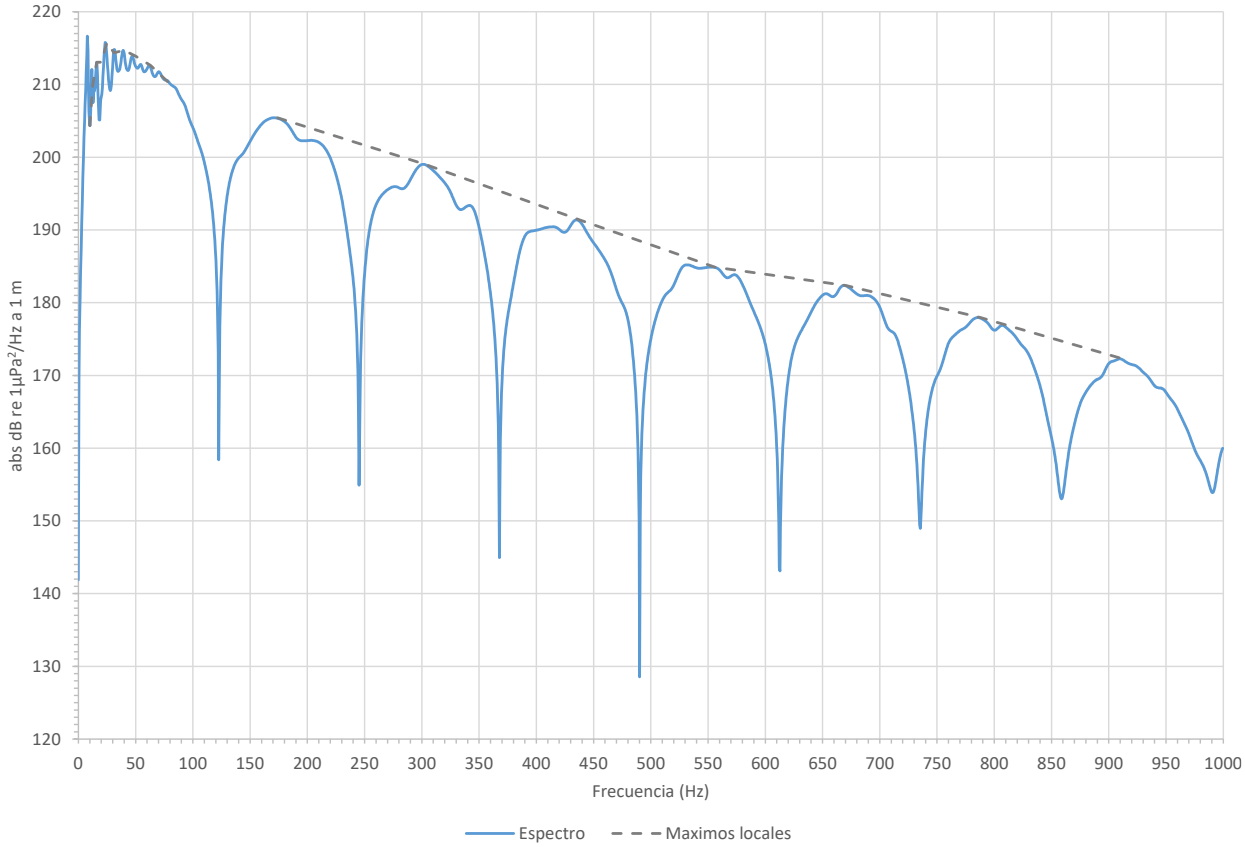


Figura 30. Firma vertical del espectro (dB absoluto) del arreglo de 5.400 cu.in. a 6 metros de profundidad.

RE-2020-47390951-APN-DTD#JGM

Página 37 de 61

Se puede apreciar el fuerte decaimiento de la energía con la frecuencia, ya que entre unos 100 y 1.000 Hz cae unos 40 dB. Para evaluar la tendencia de la energía para frecuencias más altas, se realizó una regresión lineal de los máximos locales más elevados, extrapolando así la tendencia.

Los espectros extrapolados para un arreglo concentrado de 4.030 cu.in. de capacidad, y un arreglo extendido de 6 subarreglos (Hexa) con 5.400 cu.in., se presentan en la Figura 31 y la Figura 32, respectivamente.

Se puede apreciar que, a partir de 5.000 Hz y 6.300 Hz según el arreglo, la energía emitida es nula a los efectos prácticos.

En la Figura 33 se presentan en forma comparada los espectros simplificados y extrapolados para ambos arreglos. Se puede observar que la extrapolación para frecuencias mayores a 1.000 Hz es más conservativa para el espectro del arreglo de menor capacidad.

En la Figura 34 se ilustran (en escala logarítmica para mayor claridad) los mismos espectros y los valores adoptados para cada una de las frecuencias consideradas para la discretización en 1/3 de octavas, que son los valores máximos entre ambos arreglos para cada frecuencia.

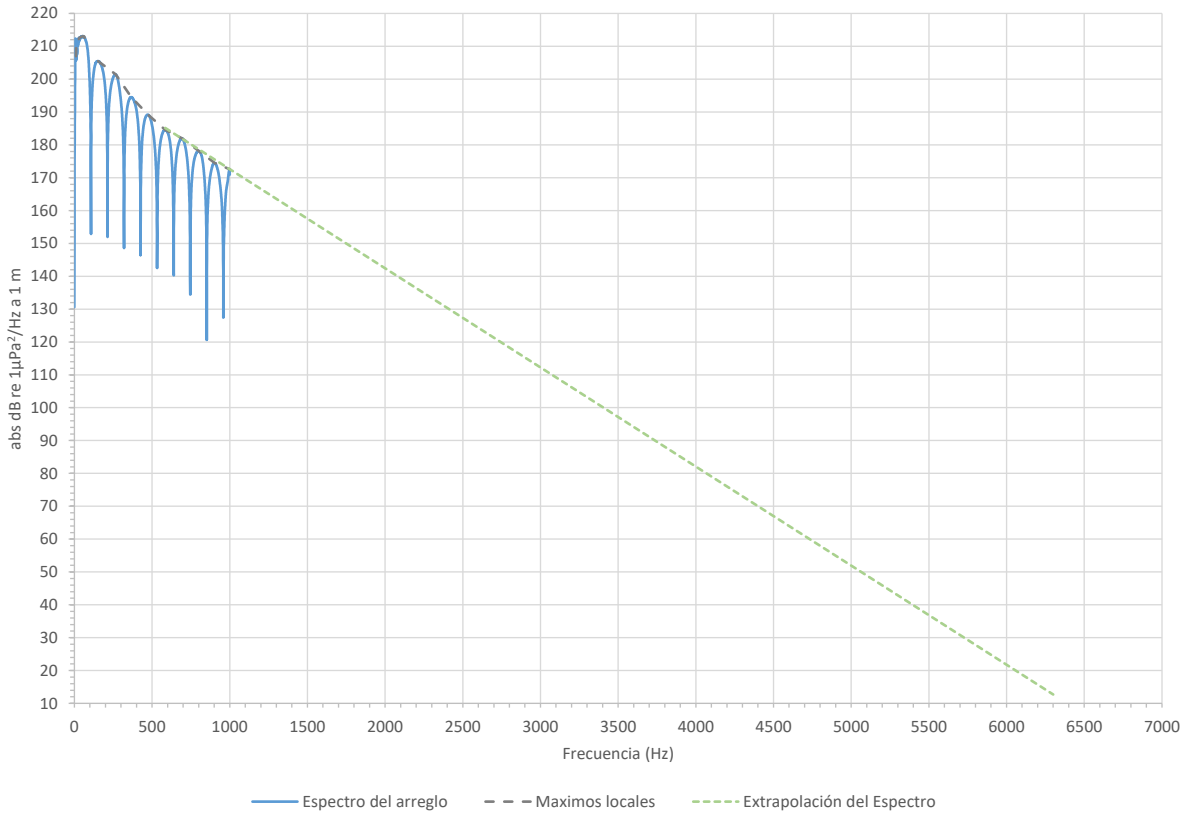


Figura 31. Firma vertical extendida del espectro de un arreglo típico de 4.030 cu.in. a 7 metros de profundidad.

RE-2020-47390951-APN-DTD#JGM

CRISTINA GOYENECHEA
Directora Área Ambiente
SERMAN & ASOCIADOS S.A.

Página 38 de 61

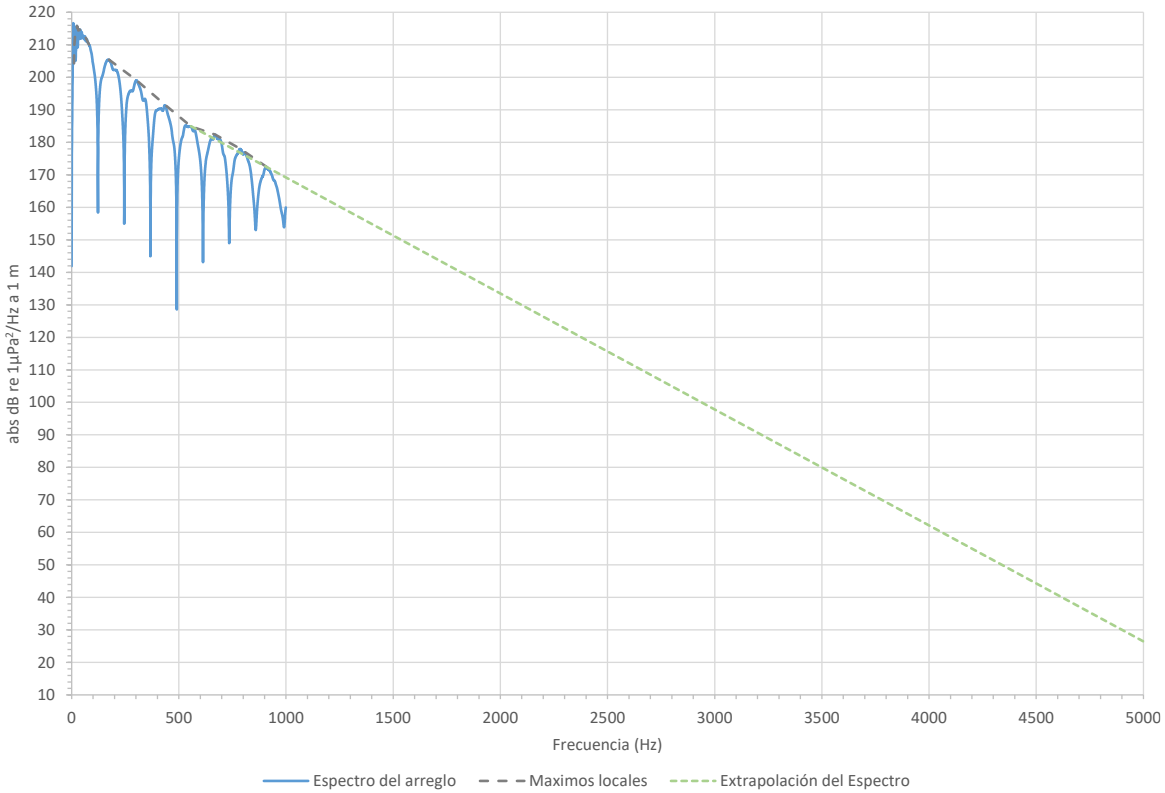


Figura 32. Firma vertical extendida del espectro del arreglo de 5.400 cu.in. a 6 metros de profundidad.

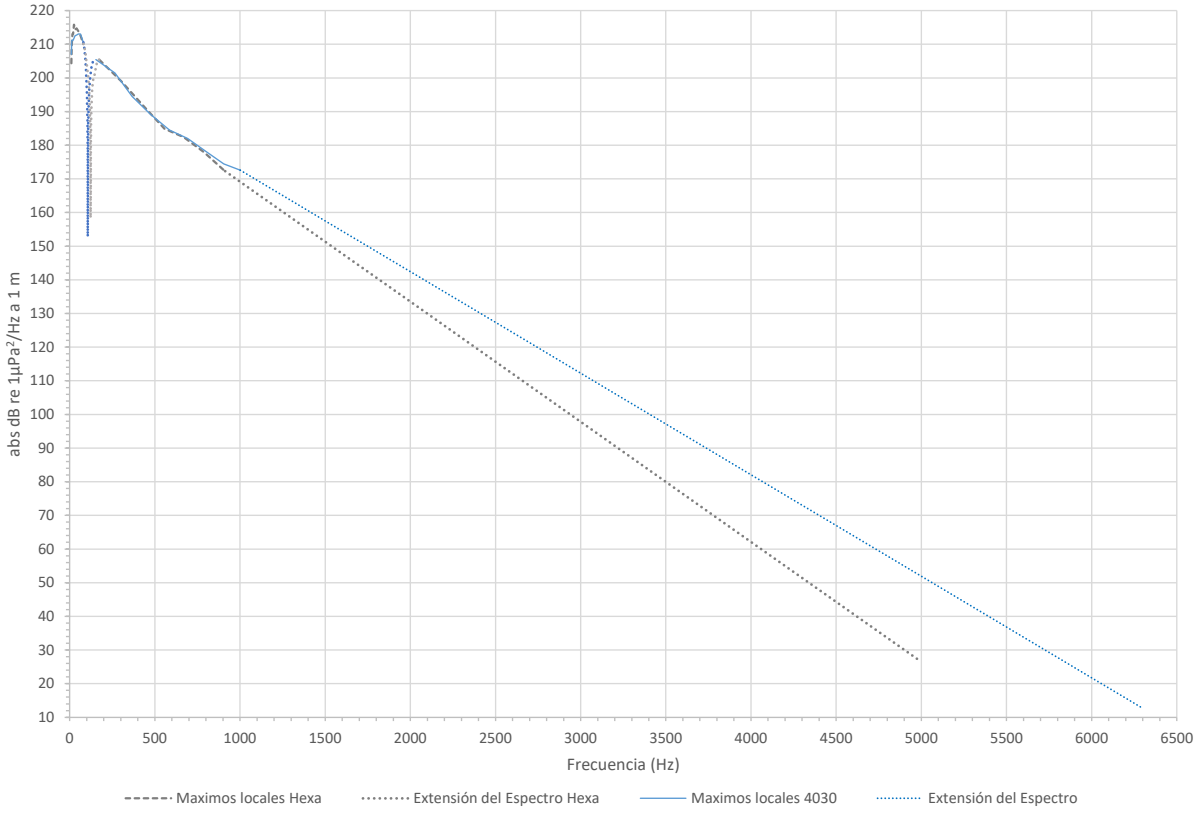


Figura 33. Firma vertical extendida simplificada y extrapolada del espectro de ambos arreglos.

RE-2020-47390951-APN-DTD#JGM

Página 39 de 61

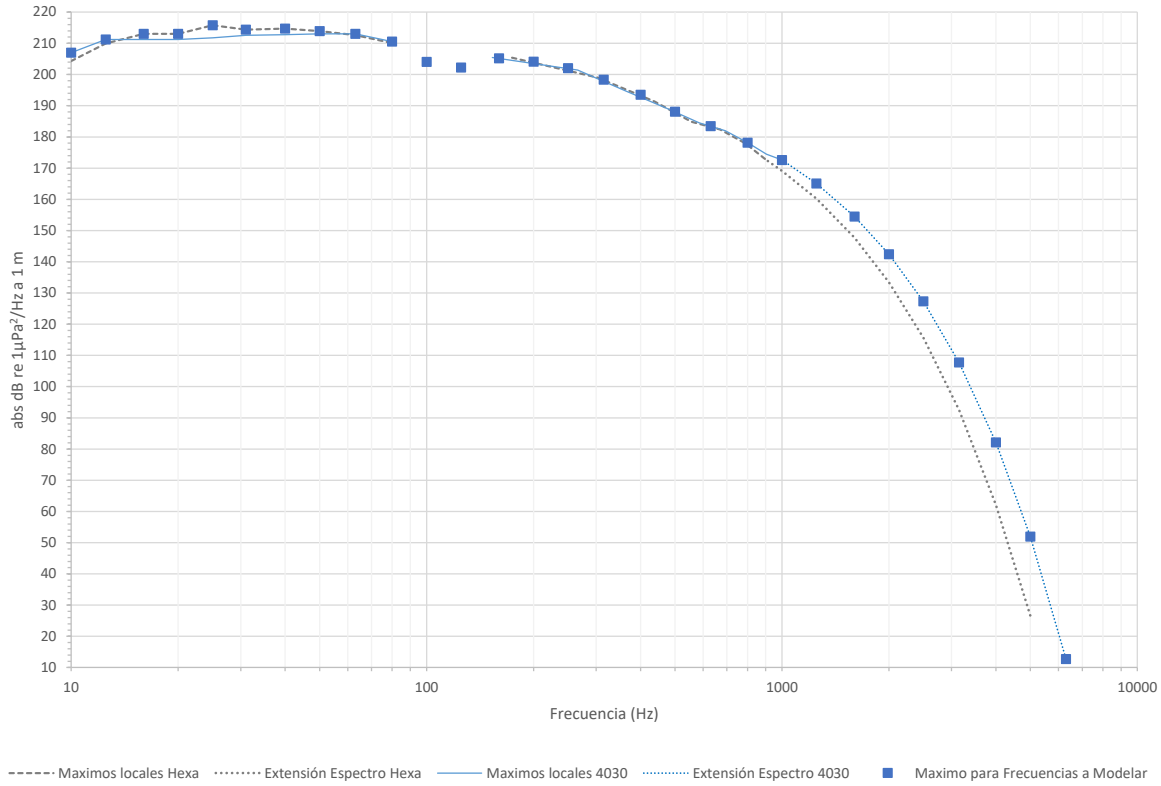


Figura 34. Firma vertical extendida simplificada y extrapolada del espectro de ambos arreglos y valores máximos adoptados para las frecuencias del espectro discretizado.

4.3 PÉRDIDAS POR ABSORCIÓN PARA FRECUENCIAS ALTAS

Para el cálculo de la propagación con frecuencias altas se torna relevante la pérdida por absorción, que puede estimarse mediante la siguiente ecuación:

$$\alpha = 0.106\frac{f_1 f^2}{f_1^2+f^2}e^{(pH-8)/0.56} + 0.52\left(1+\frac{T}{43}\right)\frac{S}{35}\frac{f_2 f^2}{f_2^2+f^2}e^{-z/6}$$
$$+ 4.9\times10^{-4} f^2 e^{-(T/27+z/17)}$$

$f_1 = 0.78(S/35)^{1/2}e^{T/26}$ $\quad f_2 = 42e^{T/17}$; f [kHz], α[dB/km]

Rango de Validez:
$-6 < T < 35$°C (S=35ppt, pH=8, z=0)
$7.7 < pH < 8.3$ (T=10°C, S=35ppt, z=0)
$5 < S < 50$ppt (T=10°C, pH=8, z=0)
$0 < z < 7$km (T=10°C, S=35ppt, pH=8)

Los valores obtenidos para condiciones típicas del área de estudio, correspondientes a una temperatura de 6º para la estación del año más conservativa (Primavera) y una salinidad igual a 33 ppt, se presentan en la Figura 35. Recién a partir de los 1.600 Hz la atenuación por absorción comienza a ser del orden de 0,1 dB/km, y para 10 kHz ya supera 1 dB/km, con lo cual el decamiento para frecuencias de ese orden o superiores resulta muy significativo. Dentro del rango de frecuencias de interés, las variaciones de la atenuación para salinidades y temperaturas mínimas y máximas dentro del perfil en profundidad son absolutamente despreciables a los efectos prácticos.

RE-2020-47390951-APN-DTD#JGM

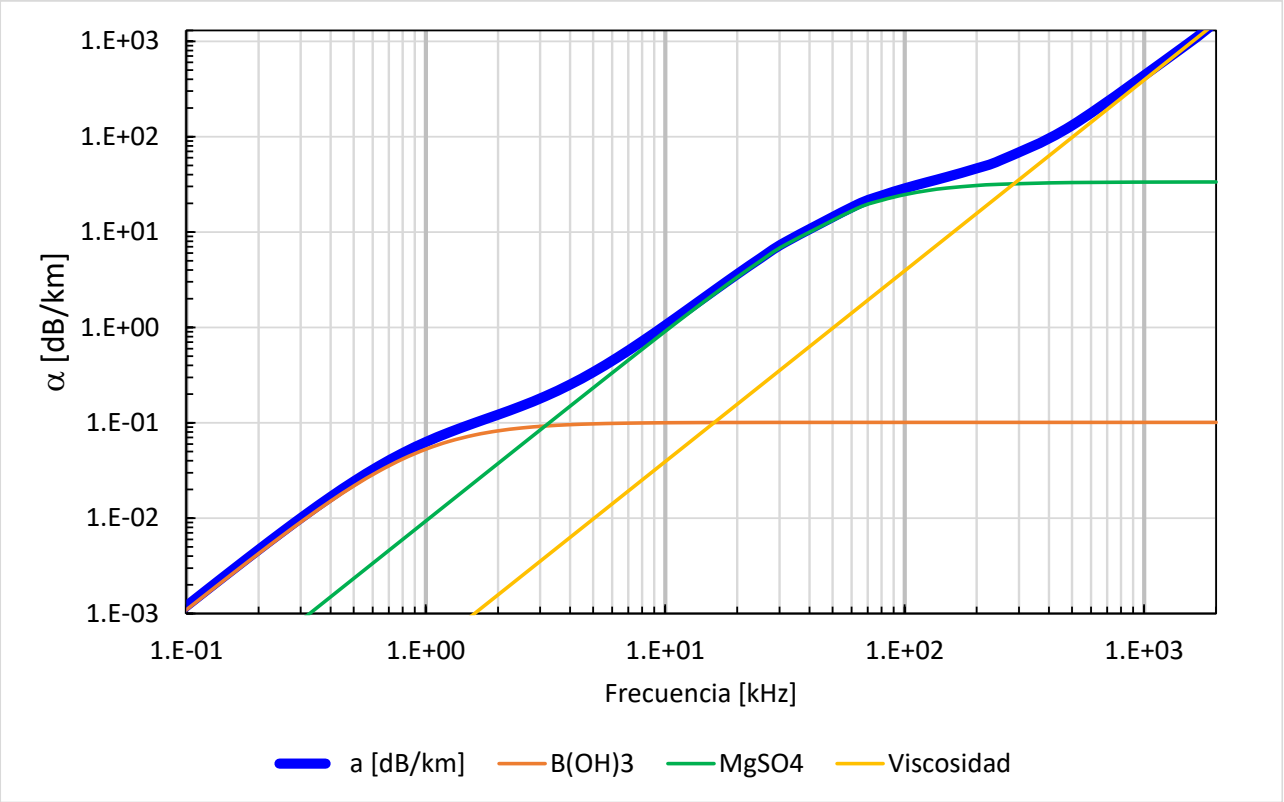


Figura 35. Pérdidas por absorción en función de la frecuencia según la dominancia del Ácido Bórico ($B(OH)_3$), moléculas de Sulfato de Magnesio ($MgSO_4$) y Viscosidad.

4.4 CALCULO DE LA PÉRDIDA DE TRANSMISIÓN DEL SONIDO TL

Se calculó la Pérdida de Transmisión TL bidimensional con la distancia a la fuente para la serie de 29 frecuencias representativas dentro del rango del espectro correspondientes al valor central de cada banda, considerando la condición del medio acuático y del lecho marino más conservativa dentro de las ensayadas (Primavera y lecho marino con Gravas, ver la Tabla 6).

Se utilizó el modelo RAMS para frecuencias bajas (dado que genera valores de TL más reducidos y además es apropiado para ese rango), y el modelo BELLHOP para frecuencias altas (iguales o mayores a 1 KHz).

Luego se calculó la Pérdida de Transmisión mínima TLmin en toda la columna de agua para cada frecuencia, lo cual se ilustra en la Figura 36, en forma comparativa con las líneas de Pérdida de Transmisión geométrica esférica y cilíndrica.

Dado que los valores obtenidos presentan fluctuaciones espaciales significativas, se realizó un proceso espacial adicional para determinar el valor de TLmin para cada distancia a la fuente, con lo cual resultan gráficos de la Pérdida de Transmisión con un leve escalonamiento, que surge de tomar en cada punto la pérdida más reducida resultante del modelo utilizado, desde ese punto en adelante. Los valores obtenidos se presentan en la Figura 37.

Los valores de TLmin para frecuencias muy bajas (10 Hz a 20 Hz) tienden a ser más altos que las pérdidas teóricas esféricas en prácticamente todo el rango espacial, mientras que frecuencias ligeramente más altas (25 Hz y 31 Hz) recién superan la tendencia esférica a varios kilómetros de distancia de la fuente.

RE-2020-47390951-APN-DTD#JGM

Página 41 de 61

Los resultados de la modelación para las frecuencias mayores a 100 Hz se ubican hasta unos 7 dB por debajo de la línea de TL cilíndrico, que es la tendencia típica esperable para profundidades bajas como las que existen en esta zona. En las frecuencias mayores hasta los 6.300 Hz comienzan a influir los efectos de absorción, pero son aún tan leves (menos de 0,5 dB/km) que no alcanzan a generar pérdidas de transmisión relevantes.

4.5 CALCULO DE SEL PROPAGADO EN DB Y DBHA POR ESPECIE

A partir del valor de SEL teórico de emisión del arreglo a 1 metro, en el punto central cada banda, se obtiene la secuencia de SEL propagados, restando el valor de TLmin correspondiente según la distancia “d” al punto de emisión.

El valor de SEL para cada banda es filtrado para cada especie calculando el dBha (ha: “habilidad de oír” - hearing ability -), lo cual significa que la intensidad del sonido percibida es “reducida” por un filtro dependiente de la frecuencia.

El nivel expresado en esta escala es diferente para cada especie y corresponde a la percepción del sonido por la especie. Las especies consideradas son las 5 siguientes: LF (Cetáceos de frecuencias bajas), HF (Cetáceos de frecuencias altas, considerados como “medias” en algunas fuentes), VHF (Cetáceos de frecuencias muy altas, considerados como “altas” en algunas fuentes), PW (Carnívoros Fócidos), PO (Pinnípedos Otaridos y otros carnívoros). Para los peces se considera el valor SEL sin filtrar.

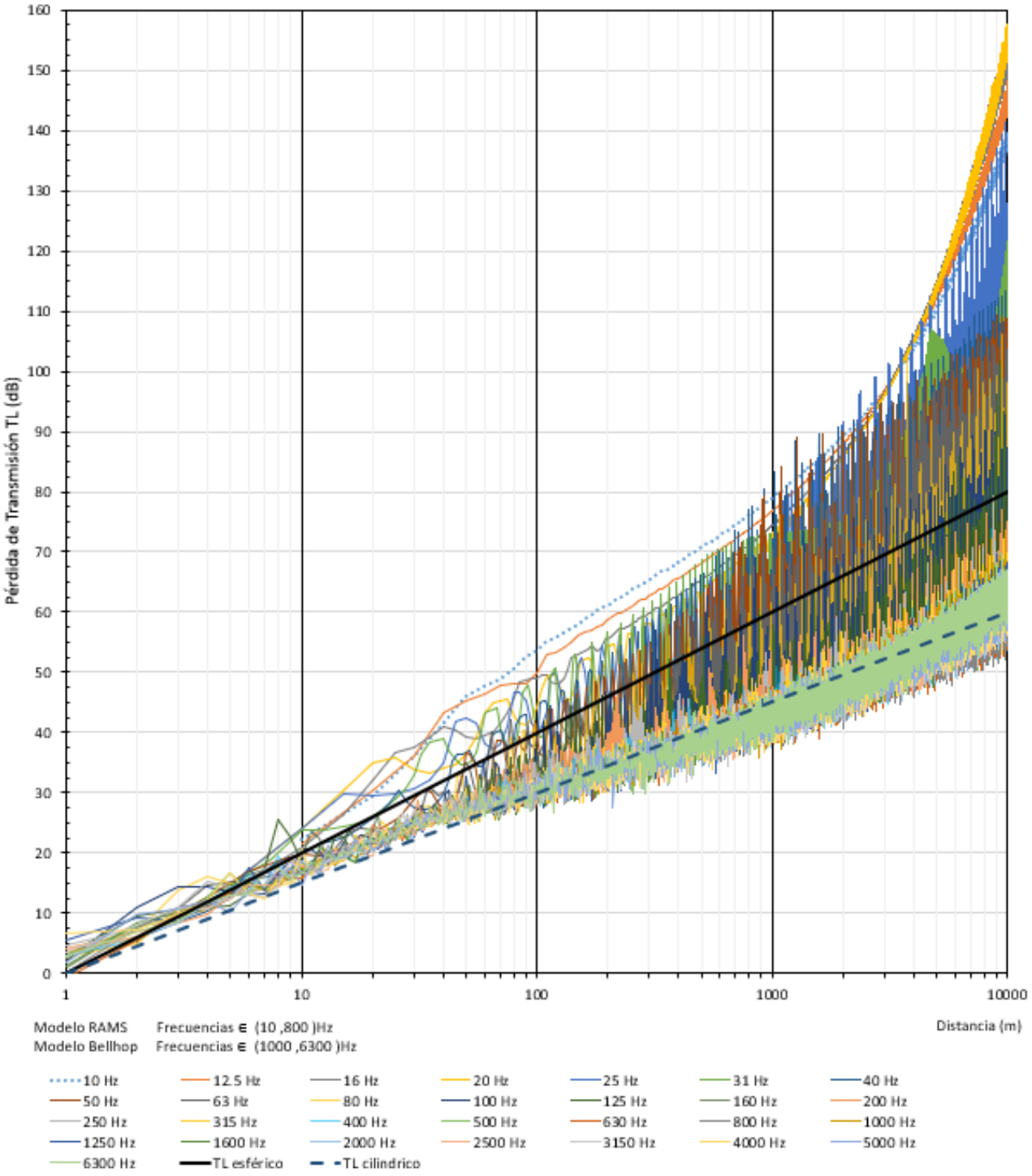


Figura 36. Pérdidas de Transmisión mínimas en la columna de agua para cada frecuencia

RE-2020-47390951-APN-DTD#JGM

Página 43 de 61

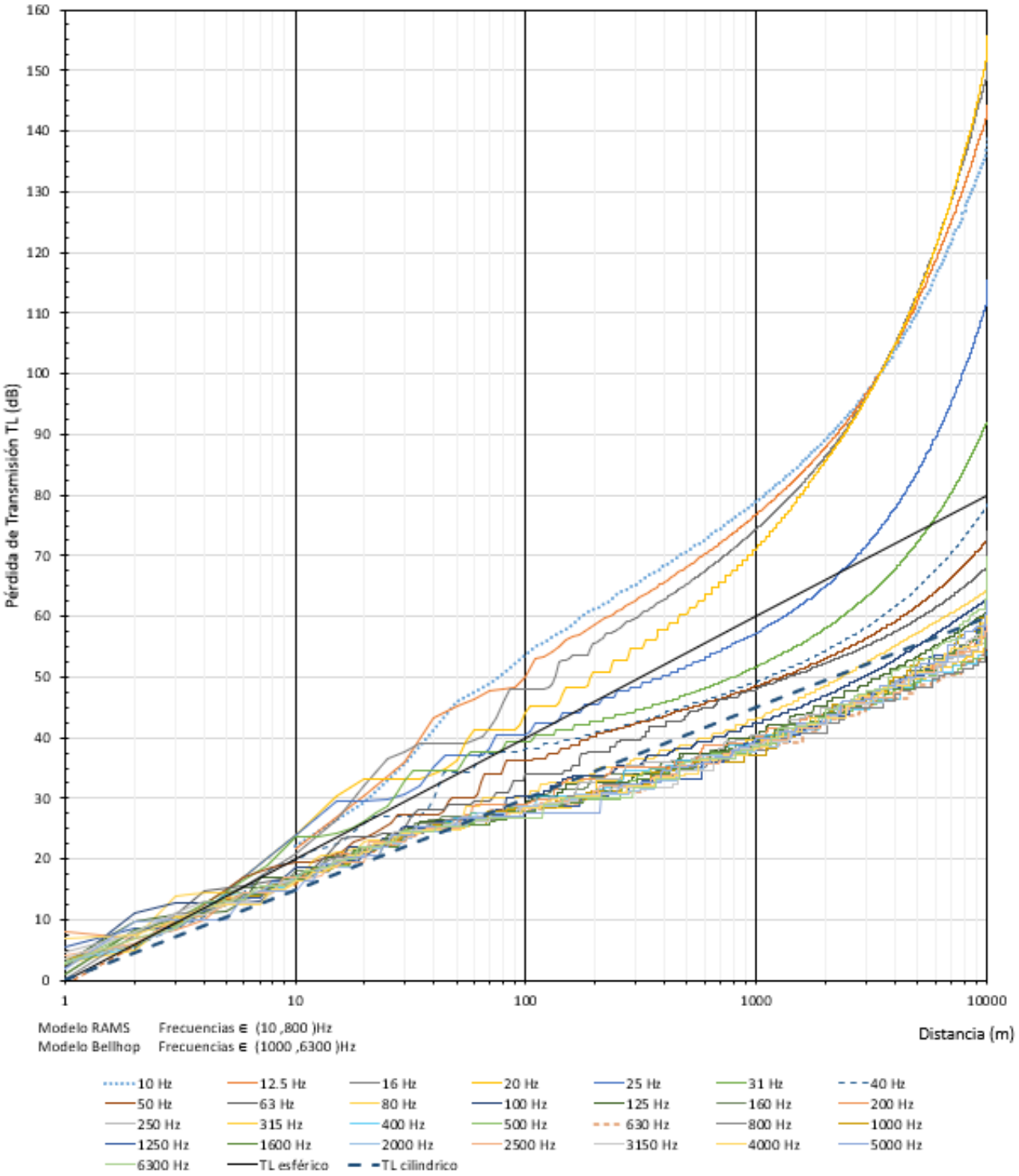


Figura 37. Pérdidas de Transmisión mínimas en la columna de agua y para cada distancia a la fuente, y para cada frecuencia

RE-2020-47390951-APN-DTD#JGM

Página 44 de 61

Las funciones de audición (audiogramas) de las diferentes especies propuestas por el National Marine Fisheries Service (2016), tienen la siguiente forma:

$$G(f) = K + 10\log_{10}\left[\left(\frac{(f/f_{lo})^{2a}}{\left[1+(f/f_{lo})^{2}\right]^{a}\left[1+(f/f_{hi})^{2}\right]^{b}}\right)\right]$$

Los coeficientes de la fórmula de cálculo se presentan en la siguiente tabla y en la Figura 38.

Tabla 9. Coeficientes de la formulación de cálculo de los Audiogramas por especie

Grupo Auditivo		a	b	f_{lo} (Hz)	f_{hi} (kHz)	K(dB)
LF	Cetáceos de frecuencias bajas	1,0	2,0	200	19.000	0,13
HF	Cetáceos de frecuencias altas (o “medias”)	1,6	2,0	8.800	110.000	1,20
VHF	Cetáceos de frecuencias muy altas (o “altas”)	1,8	2,0	12.000	140.000	1,36
PW	Carnívoros Fócidos	1,0	2,0	1.900	30.000	0,75
PO	Pinnípedos Otaridos y otros carnívoros	2,0	2,0	940	25.000	0,64

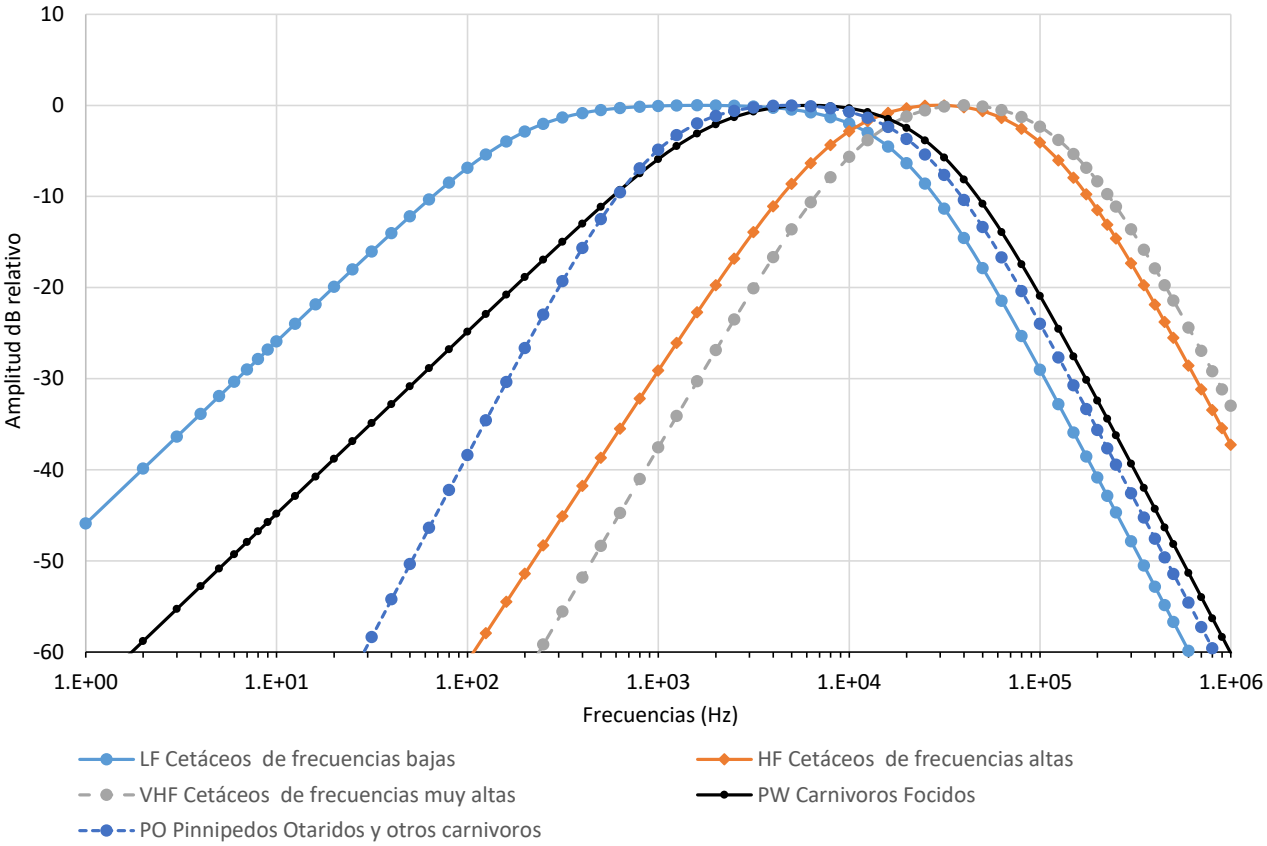


Figura 38. Funciones de peso (audiogramas) para diferentes especies.

Este procedimiento genera una serie de valores SEL(d) dB re 1 µPa^2 s y 5 series de SEL(d) dBha re 1 µPa^2 s, para distancias “d” entre 1 metro y 10.000 metros.

En la Figura 39 a la Figura 44 se presentan los valores de SEL correspondientes.

RE-2020-47390951-APN-DTD#JGM

Página 45 de 61

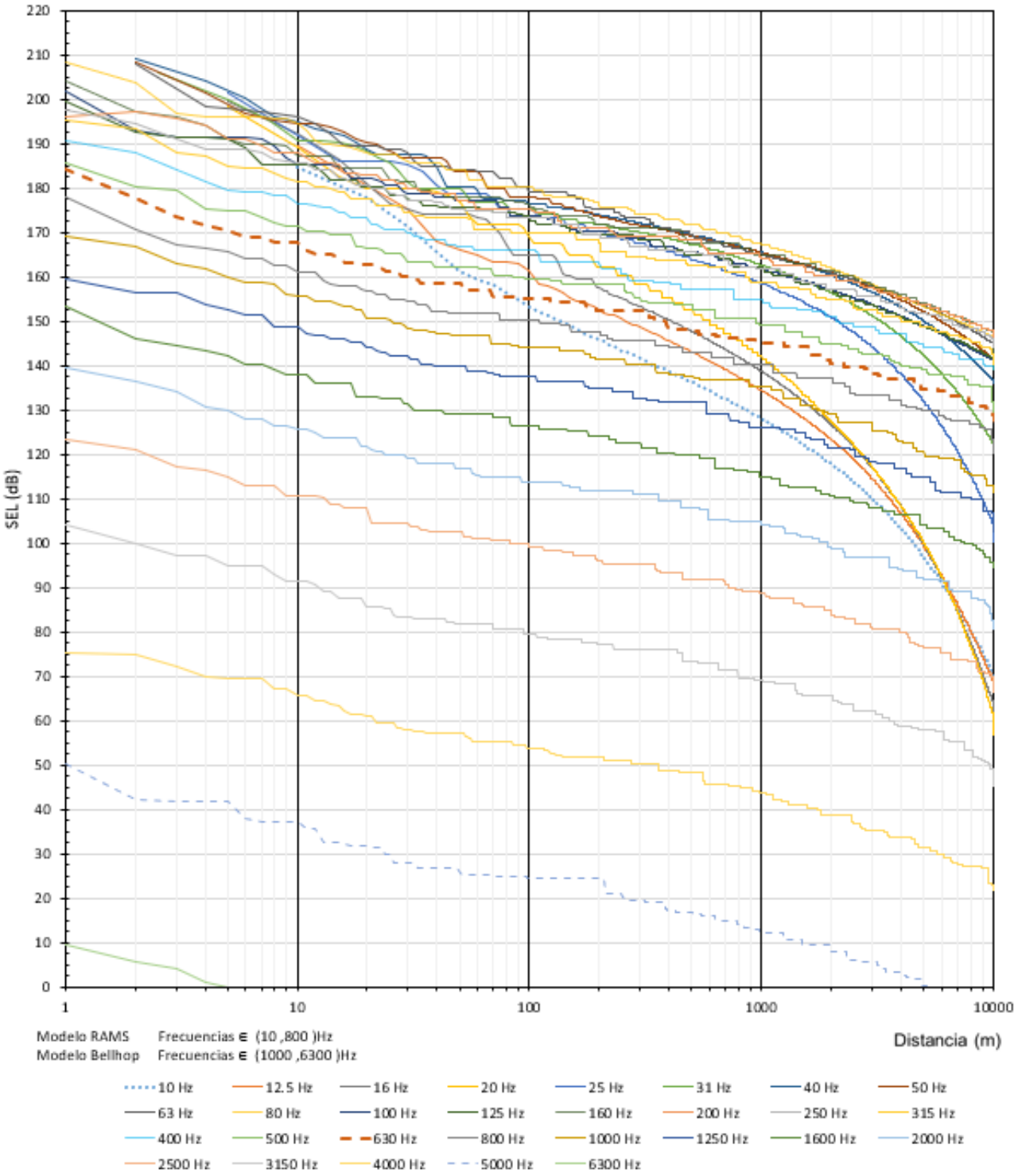


Figura 39. Transmisión máxima del SEL en función de la distancia a la fuente, para cada frecuencia. Valores sin filtrar.

RE-2020-47390951-APN-DTD#JGM

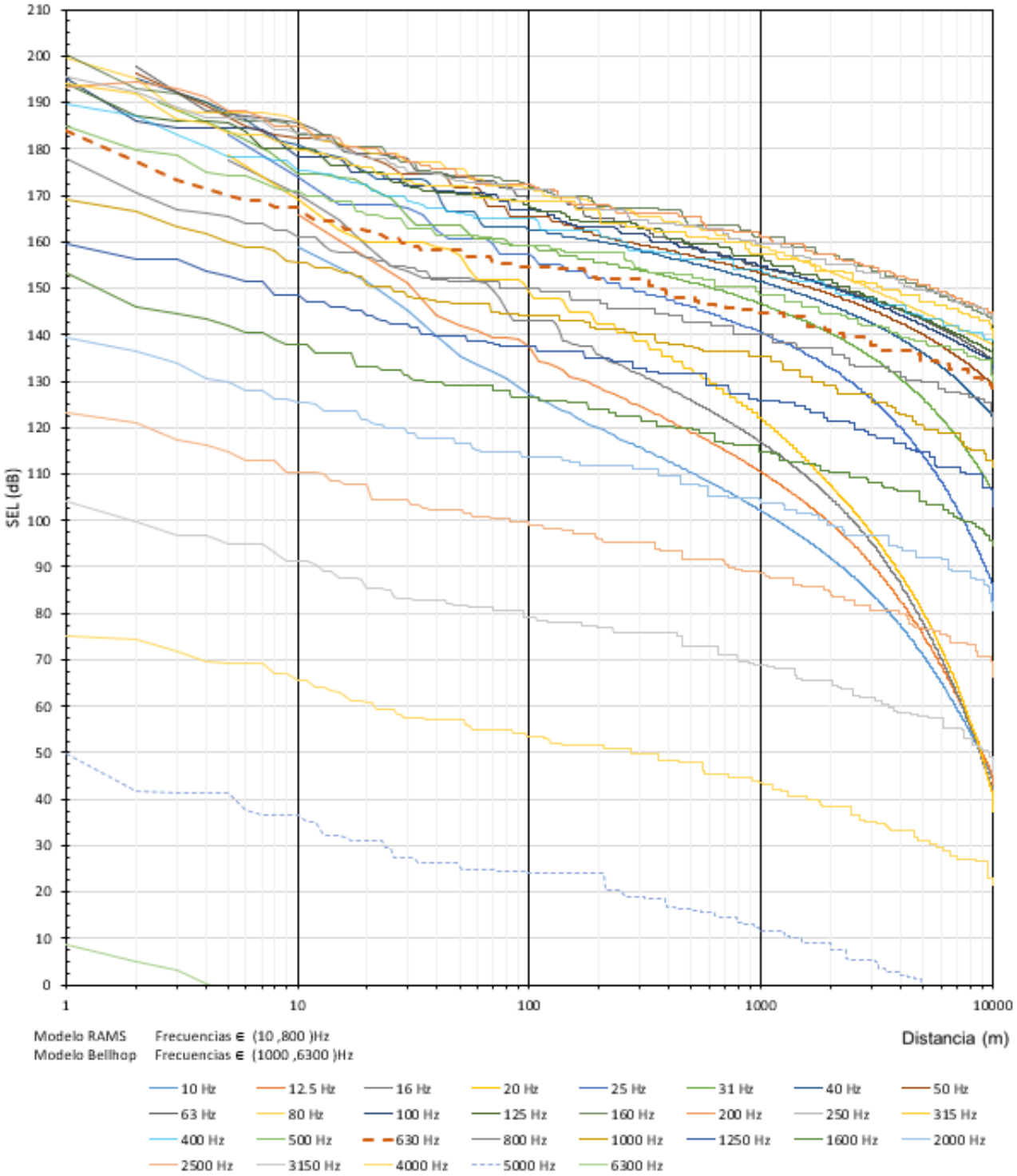


Figura 40. Transmisión máxima del SEL en función de la distancia a la fuente, para cada frecuencia. Valores filtrados por el Audiograma de Cetáceos de frecuencias bajas (LF).

RE-2020-47390951-APN-DTD#JGM

CRISTINA GOYENECHEA
Directora Área Ambiente
SERMAN & ASOCIADOS S.A.

Página 47 de 61

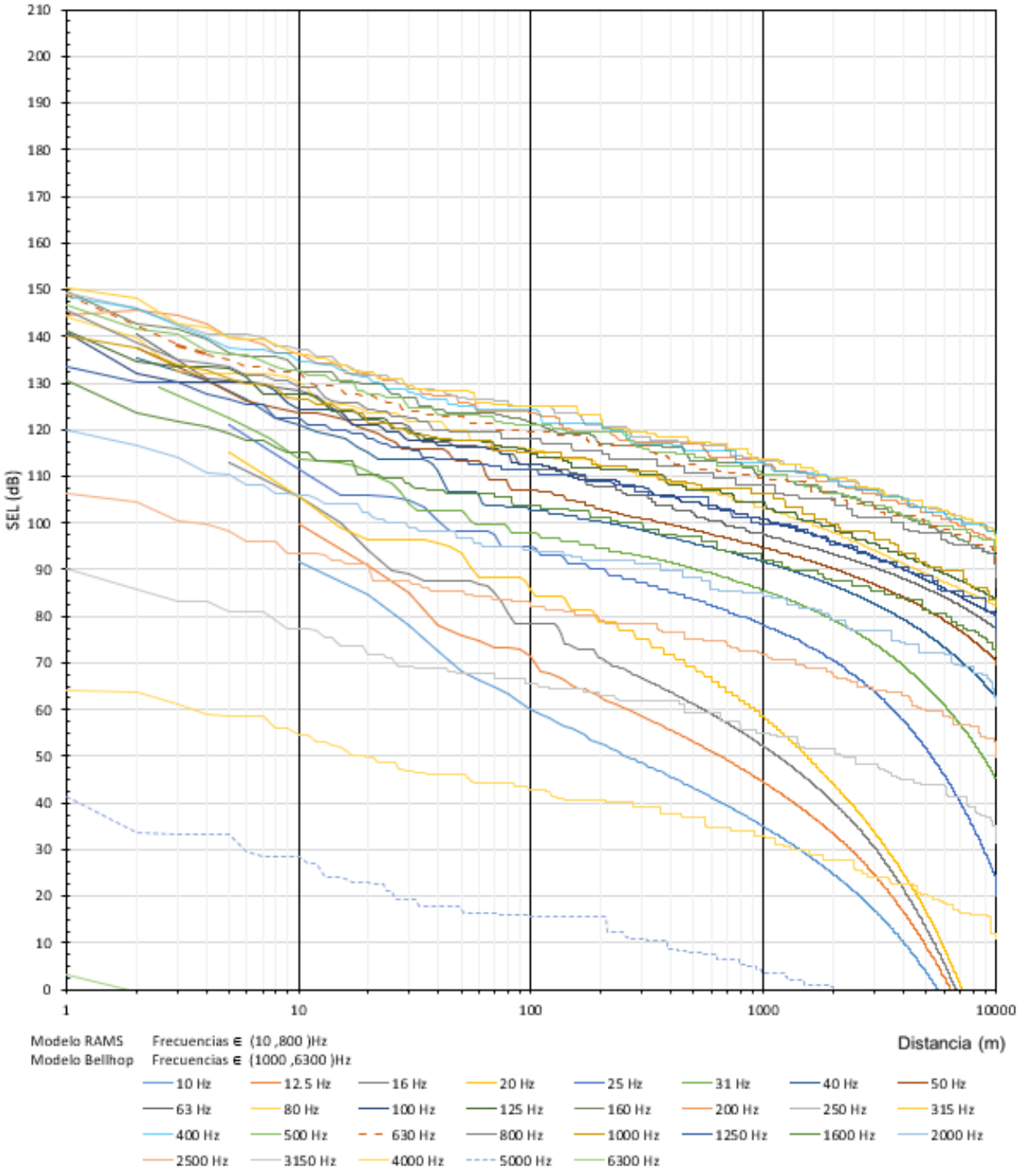


Figura 41. Transmisión máxima del SEL en función de la distancia a la fuente, para cada frecuencia. Valores filtrados por el Audiograma de Cetáceos de frecuencias altas (HF).

RE-2020-47390951-APN-DTD#JGM

CRISTINA GOYENECHEA
Directora Área Ambiente
SERMAN & ASOCIADOS S.A.

Página 48 de 61

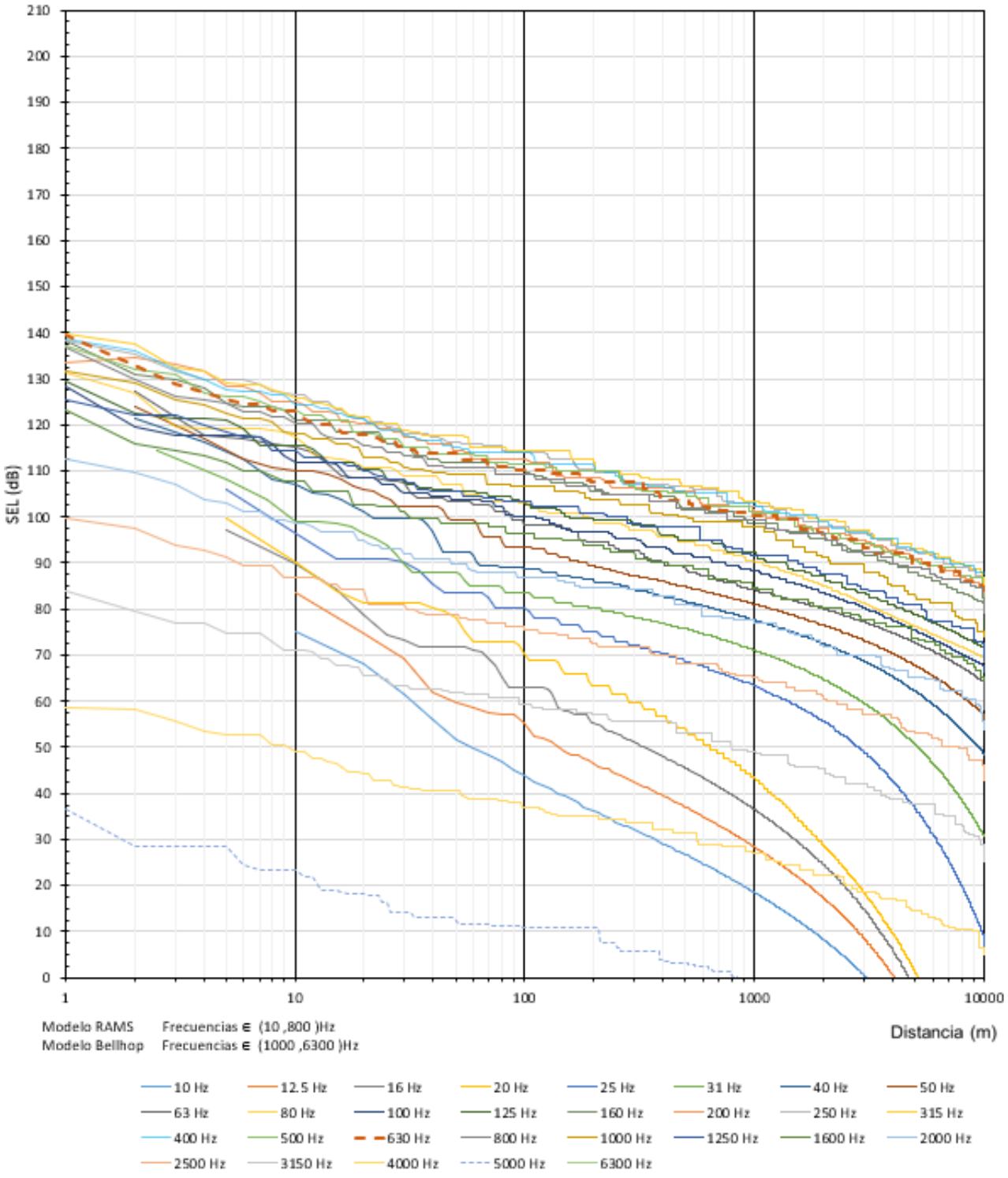


Figura 42. Transmisión máxima del SEL en función de la distancia a la fuente, para cada frecuencia. Valores filtrados por el Audiograma de Cetáceos de frecuencias muy altas (VHF).

RE-2020-47390951-APN-DTD#JGM

CRISTINA GOYENECHEA
Directora Área Ambiente
SERMAN & ASOCIADOS S.A.

Página 49 de 61

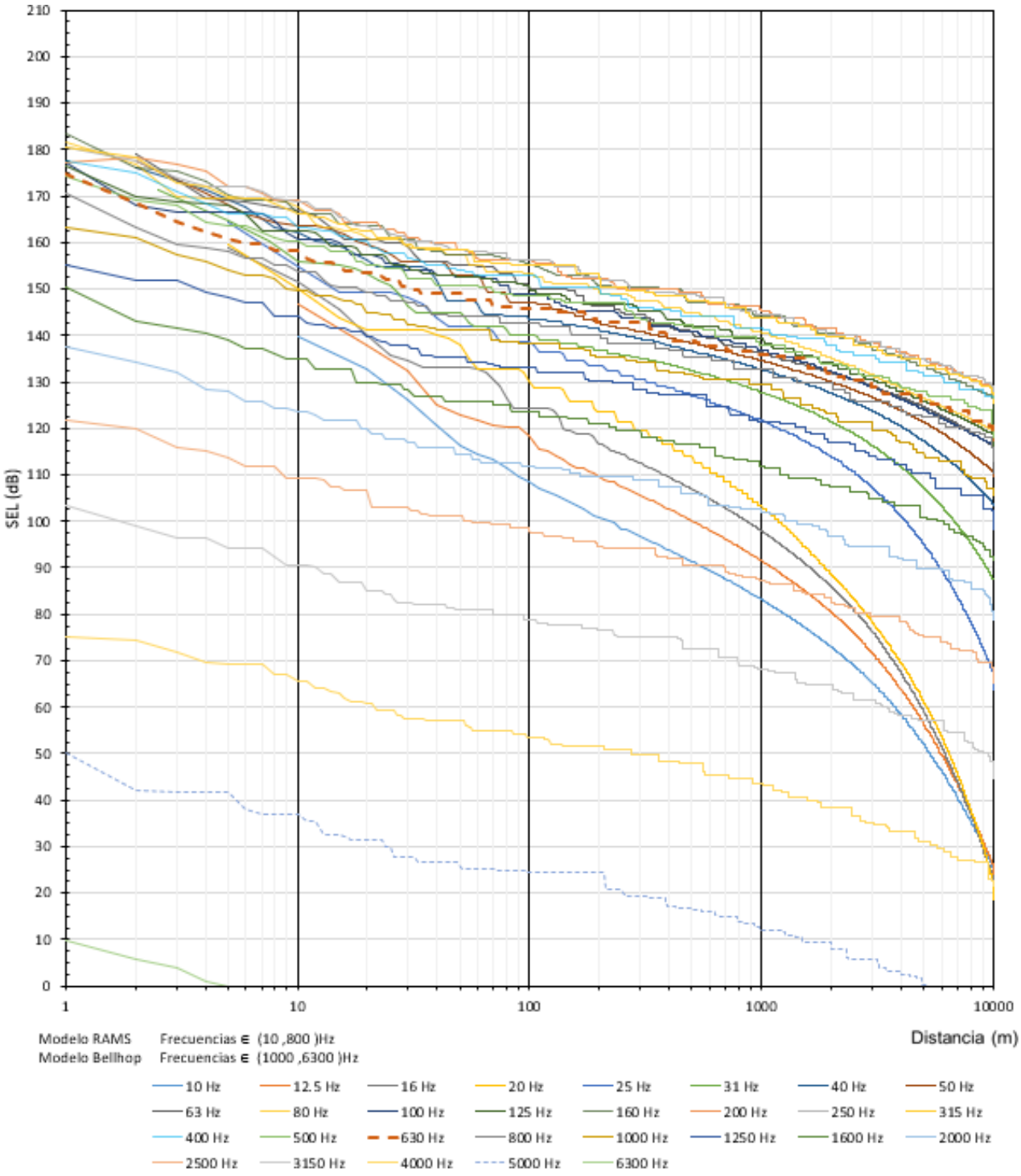


Figura 43. Transmisión máxima del SEL en función de la distancia a la fuente, para cada frecuencia. Valores filtrados por el Audiograma de Carnívoros Fócidos (PW).

RE-2020-47390951-APN-DTD#JGM

CRISTINA GOYENECHEA
Directora Área Ambiente
SERMAN & ASOCIADOS S.A.

Página 50 de 61

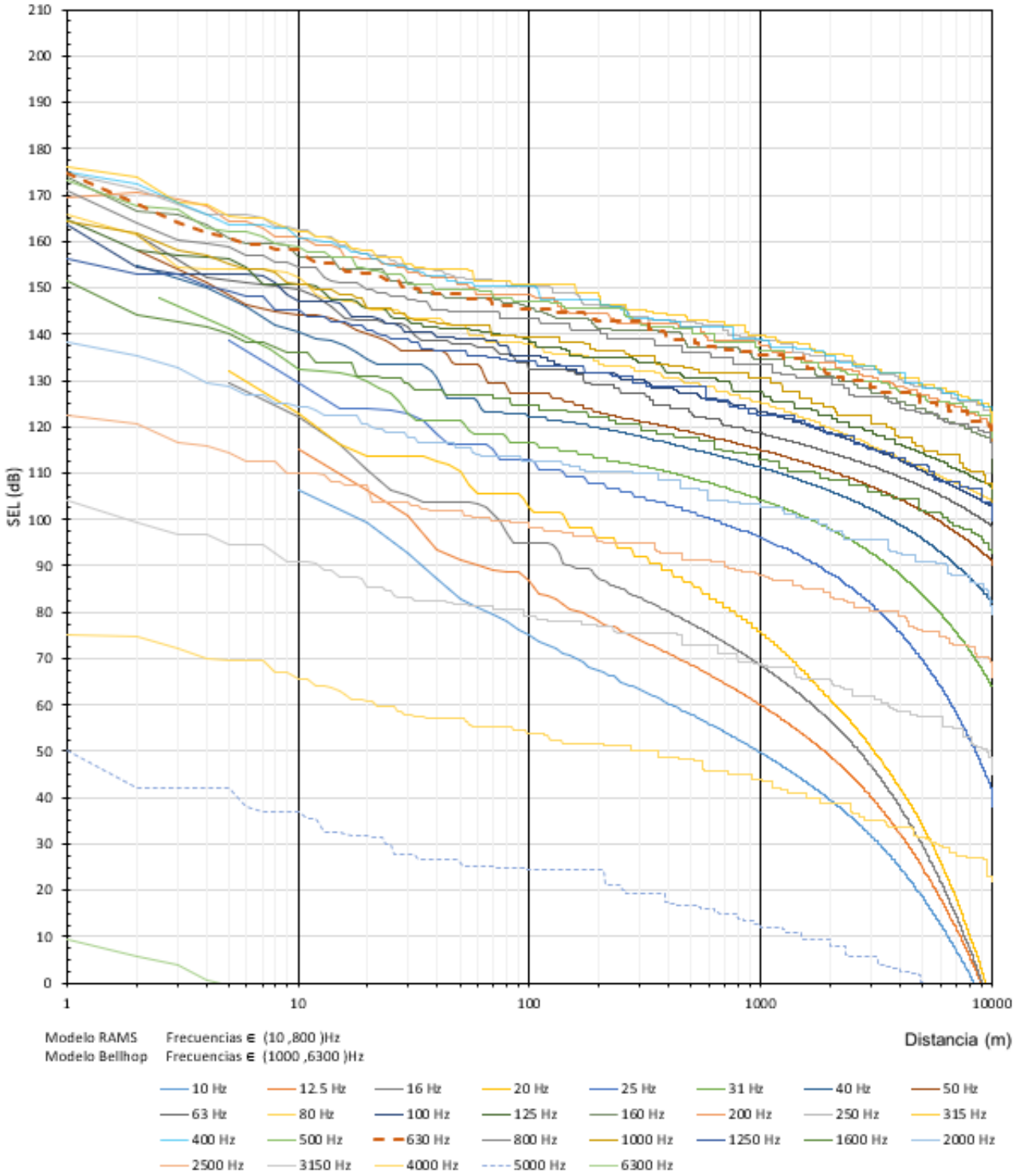


Figura 44. Transmisión máxima del SEL en función de la distancia a la fuente, para cada frecuencia. Valores filtrados por el Audiograma de Pinnípedos Otaridos y otros carnívoros (PO).

RE-2020-47390951-APN-DTD#JGM

CRISTINA GOYENECHEA
Directora Área Ambiente
SERMAN & ASOCIADOS S.A.

Página 51 de 61

4.6 PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DEL SEL ACUMULADO PARA CADA ESPECIE

El procedimiento para calcular el valor del SEL acumulado es el siguiente:

Escenarios de interrelación:

Se plantearon escenarios posibles entre la trayectoria de la línea sísmica que recorre el arreglo mientras que emite el sonido, y la trayectoria del animal, considerando los antecedentes disponibles en los estudios citados sobre comportamientos evasivos de mamíferos marinos en el Capítulo 7 de evaluación de impactos. En general, las evidencias existentes muestran que en los desplazamientos registrados de mamíferos marinos se pueden alcanzar hasta velocidades de 4 m/s durante períodos en que se encuentra cerca de la fuente, y 2 m/s como velocidad habitual. También los peces alcanzan este orden de velocidades.

Se considera una fuente constituida por un arreglo que se desplaza en el sentido de las x negativas de la Figura 45, dirección que se define como 0º y que representa cualquiera de las líneas sísmicas relevadas. Se considera que el animal (denominado el "receptor") se encuentra inicialmente en la línea en que avanza el arreglo, a una dada distancia del punto de arranque de la emisión del sonido. Las direcciones de escape del animal se miden en sentido antihorario con respecto a la del arreglo. Se verifica la distancia inicial a la cual debe encontrarse para no superar los umbrales de PTS y TTS, respectivamente. En todos los casos se ha considerado que el punto inicial se encuentra sobre la línea del relevamiento, siendo ésta una hipótesis conservativa.

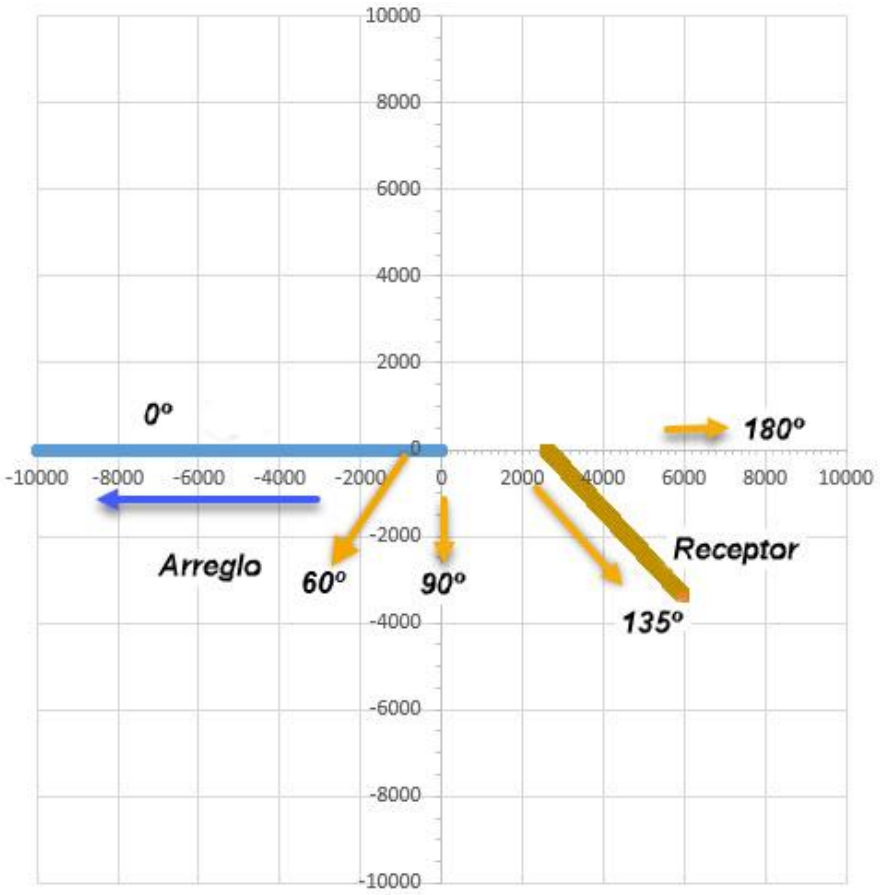


Figura 45. Escenarios de Interrelación entre la trayectoria del arreglo (fuente) y del receptor.

RE-2020-47390951-APN-DTD#JGM

Los Escenarios evaluados con respecto al comportamiento del receptor al buscar una ruta de escape son los siguientes:

a) Se encuentra en un sitio opuesto a la dirección de avance del arreglo, y se desplaza en forma opuesta alejándose del mismo (180º) con una velocidad de 2 m/s
b) Se encuentra en un sitio opuesto a la dirección de avance del arreglo, y se desplaza en forma perpendicular a la dirección de avance del mismo (90º) con una velocidad de 2 m/s
c) Se encuentra en un sitio opuesto a la dirección de avance del arreglo, y se desplaza en forma diagonal alejándose del mismo (135º) con una velocidad reducida de 1 m/s
d) Se encuentra en la línea sísmica en la dirección de avance del arreglo, y se desplaza alejándose del mismo lateralmente (60º) con una velocidad incrementada a 4 m/s durante 30 minutos, para luego descender a 2 m/s.

Cálculo de distancias relativas:

Se calcula la distancia entre el arreglo y el receptor para cada momento en que se realiza emisión del sonido a lo largo de la línea sísmica. Esto es en este caso, cada 15 metros para el arreglo de 4.030 cu.in, y cada 8,4 metros para el de 5.400 cu.in. con 6 subarreglos. A una velocidad del buque entre 4 y 5 nudos, cada emisión se efectuará con intervalos de aproximadamente unos 6 segundos y 4 segundos, respectivamente.

Consistentemente con la metodología general de considerar condiciones conservativas, se tuvo en cuenta para el cálculo la situación correspondiente al mayor arreglo, adoptando una velocidad media de 4,2 nudos (aproximadamente 2,1 m/s), con una emisión cada 4 segundos.

Cálculo de SEL en dB y dBha recibido por el receptor para cada una de las 29 bandas:

Para cada una de las emisiones del arreglo, y en función de la distancia relativa correspondiente a ese instante considerando cada uno de los Escenarios de interrelación evaluados, se calculan los valores de SEL para el punto central de cada banda, interpolando en las series de valores precalculados de SEL(d) dB re 1 μPa^2 s y las 5 series de valores SEL(d) dBha re 1 μPa^2 s.

Cálculo del SEL total instantáneo:

A partir de los 29 valores de SEL previamente calculados, sumando las contribuciones de cada banda se obtiene el SEL total de cada emisión (en cada instante) para cada Escenario de interrelación planteado para cada especie.

Cálculo del SEL acumulado:

Los valores individuales de SEL total por emisión se acumulan durante el período de prospección que se haya considerado. El procedimiento consiste en sumar el SEL para cada evento individual (L_{Ei}) obteniendo el SELcum (L_{EC}) a través de la siguiente ecuación:

$$L_{EC} = 10\log_{10}\left(\sum_{i=1}^{N} 10^{\frac{L_{Ei}}{10}}\right)$$

En este tipo de estudios para la acumulación del SEL se considera la prospección de una línea sísmica, dado que no se justifica la acumulación por 24 horas, debido a la longitud de cada línea y el tiempo necesario para relevarla y pasar a la siguiente y a la movilidad de los animales potencialmente expuestos. En efecto en este caso, la longitud promedio es de 86 km, el tiempo promedio requerido para completar una línea de producción será de 11 horas y la duración aproximada del cambio de líneas es de unas 2,5 horas.

RE-2020-47390951-APN-DTD#JGM

Página 53 de 61

De acuerdo a los estudios de Línea de Base, no se registra la presencia de colonias estáticas de alguna especie, ubicadas en inmediaciones del área de relevamiento y que pudieran ser afectadas por el sonido durante varias líneas sísmicas dentro de las mismas 24 horas.

Dado que la fuente sísmica se va alejando de los receptores, llega un punto en el cual ya no se acumula más SEL en forma significativa. Por lo tanto, la acumulación se realiza durante la duración necesaria para que el valor del SELcum alcance un valor máximo y se estabilice.

4.7 ESCENARIOS DE ACUMULACIÓN DEL SEL MODELADOS Y RESULTADOS EN RELACIÓN CON LOS UMBRALES DE AFECTACIÓN POR ESPECIE SIN MEDIDAS DE MITIGACIÓN

En la Figura 46 se presenta la acumulación del SEL para todas las series con filtro auditivo y sin filtro, considerando un ejemplo particular de Escenario de Interrelación, y se puede apreciar como se alcanza el umbral de PTS en forma asintótica, con la mayor tasa de acumulación durante los primeros 3 o 4 km de recorrido del arreglo. Se indica además el tiempo necesario para recorrer la distancia indicada, que es de unos 40 minutos por cada 5 km de traslado del arreglo.

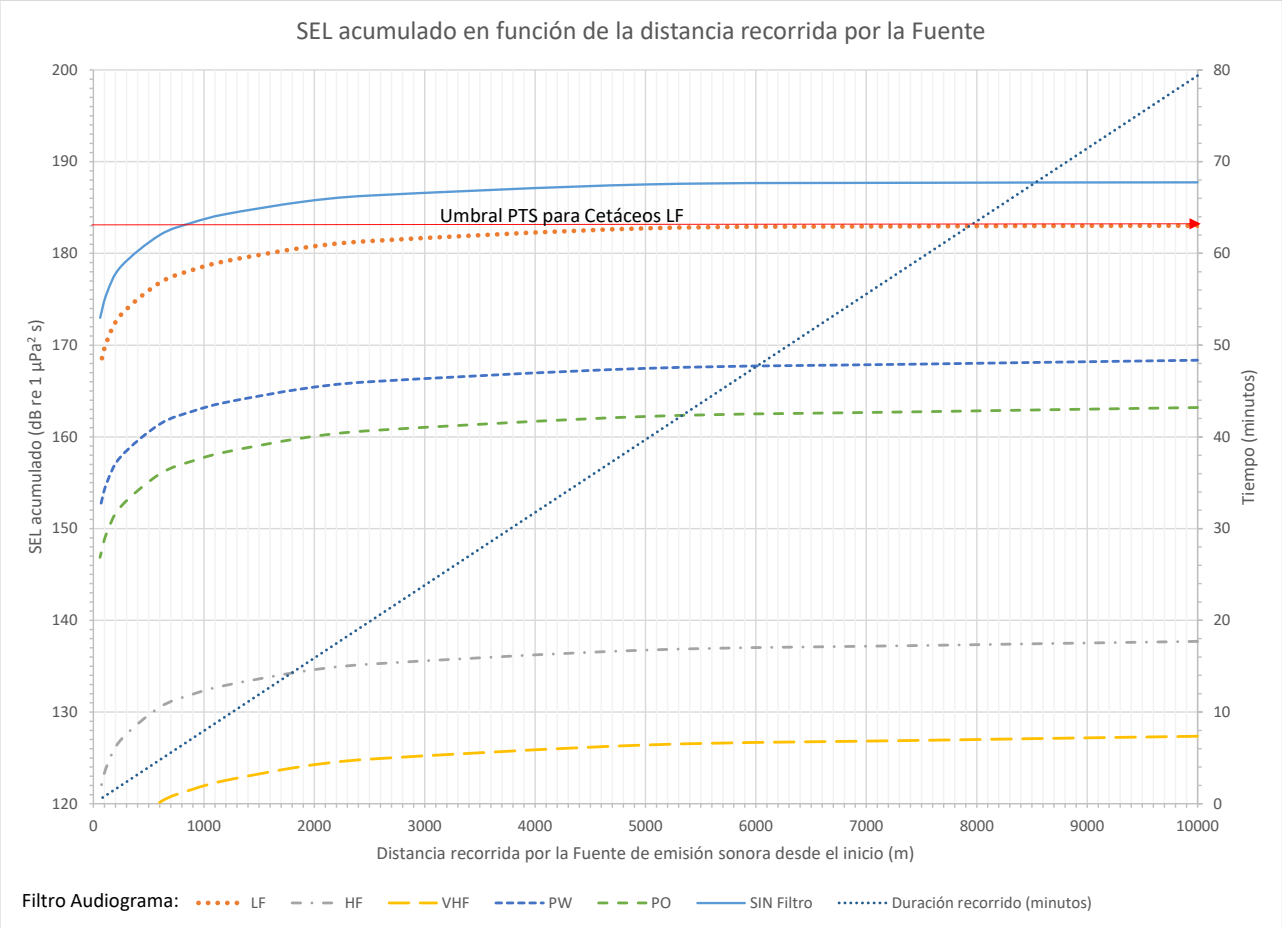


Figura 46. Ejemplo de acumulación de SEL en función de la distancia recorrida por el arreglo sísmico, para el Escenario (b) de Interrelación entre la trayectoria del arreglo (fuente) y del animal y una distancia inicial entre ambos de 4.100 m. Sin medida de mitigación.

En la Tabla 6 se puede apreciar que las distancias a la fuente correspondientes a umbrales de SPL más conservativas, corresponden al sector cuyo lecho marino está compuesto por Gravas.

RE-2020-47390951-APN-DTD#JGM

A continuación en la Tabla 10 se reproduce la información de dicha tabla y se incluyen los valores de SELcum umbrales de PTS y TTS especificados para cada especie en la bibliografía más actualizada citada en el Capítulo 7 de evaluación de impactos, así como las distancias para las cuales los mismos se superarían, en caso de no aplicar medidas de mitigación. El signo negativo en las distancias indica que la distancia inicial se encuentra en el sentido de avance del arreglo (eje x negativo en la Figura 45).

Los valores indicados como < 10 m, implican que dentro de ese rango no se superan los umbrales, considerándose que el cálculo del SELcum no es preciso a tan cortas distancias del arreglo, en la práctica significa que aun cuando el receptor se encuentre en las adyacencias del arreglo, no sería afectado por PTS o TTS (según corresponda) en cualquiera de los escenarios de Escape.

Tabla 10. Síntesis de Distancias a la fuente para alcanzar la Pérdida de Transmisión correspondiente a los diversos umbrales y grupos auditivos evaluados

				Sin medida de mitigación			
			Comportamiento del receptor >	Escape 180º	Escape 90º	Escape 135º	Escape 60º
Grupo Auditivo	**SPLpeak** dB re 1 µPa	**Distancia** Criterio SPL **(m)**	**SELcum** dB re 1 µPa²s	**Distancia** Criterio SEL **(m)**	**Distancia** Criterio SEL **(m)**	**Distancia** Criterio SEL **(m)**	**Distancia** Criterio SEL **(m)**
PTS - LF	219	45	183	2.900	4.100	3.800	-6.200
PTS - HF	230	10	185	< 10	< 10	< 10	< 10
PTS - VHF	202	900	155	< 10	< 10	< 10	< 10
PTS - PW	218	55	185	< 10	< 10	< 10	< 10
PTS - PO	232	3	203	< 10	< 10	< 10	< 10
Peces SIN vejiga natatoria *	213	120	219	< 10	< 10	<10	<10
Peces CON vejiga natatoria *	207	380	201 **	45	90	80	-95
TTS – LF	213	120	168	11.900	13.200	12.800	-16.300
TTS – HF	224	18	170	< 10	< 10	< 10	< 10
TTS – VHF	196	1790	140	< 10	< 10	< 10	< 10
TTS – PW	212	180	170	2.000	2.900	2.600	-4.100
TTS – PO	226	12	188	< 10	< 10	< 10	< 10
TTS: Peces SIN v. n.	-	-	186	3.800	5.000	4.700	-7.300
TTS: Peces CON v. n.	-	-	186	3.800	5.000	4.700	-7.300
Limite convencional afectación	190	3040	-	-	-	-	-

Notas: Escape a 90º (perpendicular) y 180º (opuesta) respecto a la dirección de avance del arreglo con 2 m/s de velocidad.
Escape a 60º en la dirección de avance del arreglo con 4 m/s de velocidad durante 30 minutos, luego a 2 m/s.
Escape a 135º alejándose del arreglo, a velocidad reducida 1 m/s
(*): Nivel de mortalidad o mortalidad potencial
(**): Nivel para peces con vejiga natatoria no conectada al oído (solo detección de movimiento de partículas)

RE-2020-47390951-APN-DTD#JGM

4.8 ESCENARIOS DE ACUMULACIÓN DEL SEL MODELADOS Y CONCLUSIONES EN RELACIÓN CON LOS UMBRALES DE AFECTACIÓN PARA CETÁCEOS DE FRECUENCIAS BAJAS (LF) CON MEDIDAS DE MITIGACIÓN (ARRANQUE SUAVE)

Una de las medidas de mitigación típicamente consideradas en relevamientos sísmicos, es el denominado “arranque suave”, que consiste en ir emitiendo el sonido de a una fuente por vez, a los efectos que el cetáceo tenga tiempo suficiente de alejarse del arreglo.

Para ese análisis, se consideraron las condiciones que corresponden al arreglo de 5.400 cu.in. con 36 fuentes de emisión, realizando un arranque progresivo de las mismas en un período de 30 minutos.

Debido a la naturaleza logarítmica del sonido y al complejo patrón de interferencia entre las fuentes individuales, la superposición del sonido al comenzar la emisión de cada fuente no genera una rampa de crecimiento lineal.

Las recomendaciones habituales (IAOG, IAGC, 2017) consideran lo siguiente:

- La primera etapa implica la activación del elemento de volumen más pequeño en la matriz.
- Las etapas posteriores implican duplicar el número de elementos activos al comienzo de cada etapa.
- Todas las etapas deberían tener una duración de tiempo aproximadamente igual.
- La duración total del arranque suave debe ser de al menos 20 minutos, no más de 40 minutos (o según lo especificado en los requisitos reglamentarios aplicables).
- Como generalmente habrá una etapa en la que no es posible duplicar el número de elementos (debido a que el número de elementos en la matriz completa no es, por ejemplo, 8, 16 o 32), es preferible hacer que esta etapa sea la última de la secuencia de inicio suave (en lugar de ajustar los incrementos de otras etapas o colocar un incremento más temprano al principio de la secuencia de inicio suave).

En el presente caso, aunque cada subarreglo tiene 6 elementos, se ha considerado la siguiente secuencia de duplicación: 1, 2, 4, 8, 16, 32, 36, con duraciones de 5 minutos cada uno. Si se empleara el arreglo de 4.030 cu.in, se debería realizar un procedimiento similar.

En la Figura 47 se presenta la acumulación del SEL para el mismo ejemplo de Escenario anterior, donde se puede apreciar que estando el receptor a la misma distancia (4,1 km) y escapa perpendicularmente de igual manera, no se alcanza el umbral de PTS, pues el SELcum con arranque suave es 5,3 dB menor que sin medida de mitigación.

RE-2020-47390951-APN-DTD#JGM

CRISTINA GOYENECHEA
Directora Área Ambiente
SERMAN & ASOCIADOS S.A.

Página 56 de 61

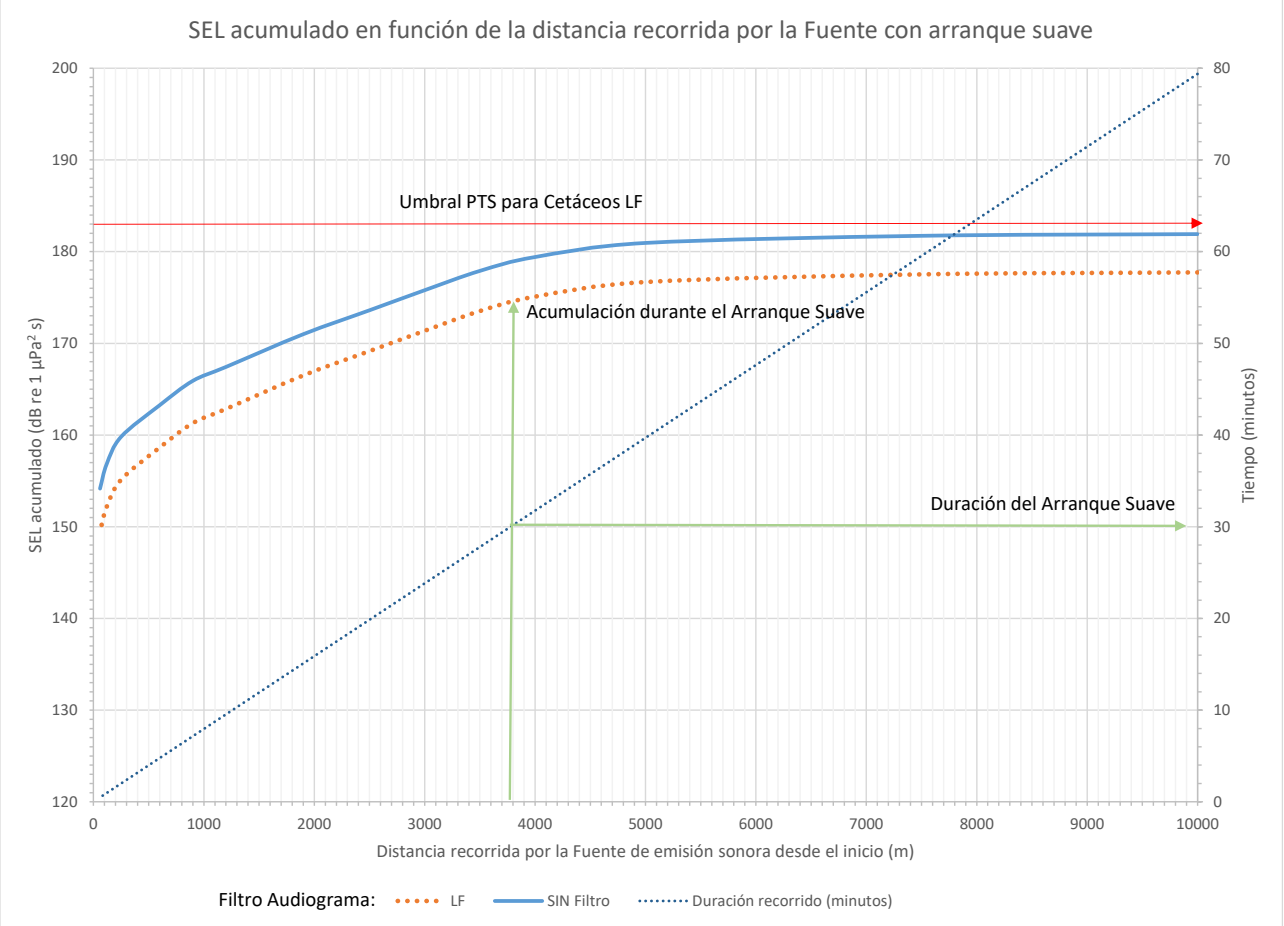


Figura 47. Ejemplo de acumulación de SEL en función de la distancia recorrida por el arreglo sísmico, para el Escenario (b) de Interrelación entre la trayectoria del arreglo (fuente) y del animal y una distancia inicial entre ambos de 4.100 m. Con medida de mitigación (arranque suave).

Este procedimiento de arranque suave aplicado a los cetáceos de rango auditivo LF, permite estimar las siguientes distancias para PTS y TTS.

Tabla 11. Síntesis de Distancias a la fuente para alcanzar la Pérdida de Transmisión correspondiente a los umbrales para el grupo auditivo LF, con arranque suave

				Con arranque suave			
Comportamiento del receptor >				Escape 180º	Escape 90º	Escape 135º	Escape 60º
Grupo Auditivo	**SPL peak** dB re 1 µPa	**Distancia** Criterio SPL **(m)**	**SELcum dB re 1µPa²s**	**Distancia** Criterio SEL **(m)**	**Distancia** Criterio SEL **(m)**	**Distancia** Criterio SEL **(m)**	**Distancia** Criterio SEL **(m)**
PTS - LF	219	45	183	< 10	350	300	-600
TTS – LF	213	120	168	7.100	9.900	9.100	-15.000

RE-2020-47390951-APN-DTD#JGM

5 CONCLUSIONES

Para las simulaciones efectuadas sin medidas de mitigación, se puede apreciar que para todas las especies salvo las de rango auditivo bajo (cetáceos - LF), las distancias entre el receptor y el arreglo para las cuales se superan los umbrales de PTS para SELcum son muy bajas (se indica menor a 10 metros pues es poco preciso y carece de utlidad práctica definir distancias menores al arreglo). En estos casos, la distancia a ser considerada es la correspondiente al SPL (0 – p), previamente calculada.

En el caso de las ballenas (LF), las distancias iniciales en las que se supera el umbral PTS en caso de no aplicarse medidas de mitigación se encontrarán entre unos 4 y 6 km del arreglo, según la posición relativa con respecto al sentido de avance del mismo.

En los casos de Cetáceos de frecuencias muy altas (VHF) y de Carnívoros Fócidos (PW), los umbrales a considerar para PTS son entonces los correspondientes al SPL: en zonas con lecho de grava 900 metros para VHF y 55 metros para PW, y en zonas con lecho de arena 560 metros para VHF y 50 metros para PW.

En cuanto a los umbrales de TTS, también resultan menores las distancias para SELcum que para SPL con excepción de las ballenas (LF) que deberían encontrarse a distancias elevadas del orden de unos 16 km, y los Carnívoros Fócidos (PW) para los cuales se estimaron distancias del orden de 4 km.

Para los Cetáceos de frecuencias muy altas (VHF) el umbral a considerar para TTS es también el correspondiente al SPL, resultando unos 1,8 km.

En relación con los peces, para los cuales se considera el valor de SELcum sin filtrar, aquellos sin vejiga natatoria no superan el umbral de PTS por lo que se debe considerar el correspondiente a SPL. Los peces con vejiga natatoria pueden experimentar PTS si están a menos de 100 metros en el lado contrario al avance del arreglo, o bien si están en el lado de avance del arreglo asumiendo que puedan alcanzar una velocidad de 4 m/s por un corto período de tiempo. Esto no sería posible para los peces menores puesto que su velocidad típica es del orden de 2 a 3 longitudes del pez por segundo. Entonces se debe considerar la distancia correspondiente al criterio de SPL, que es mayor (380 m).

En cuanto a las condiciones de TTS para los peces, asumiendo similares condiciones de comportamiento evasivo, se registrarían a distancias de 4 a 7 km del arreglo conforme a los valores de SELcum calculados.

En el caso de los Cetáceos de Frecuencias Bajas (LF), considerando que se efectuarán las medidas de mitigación correspondientes (arranque suave), es posible apreciar que en caso que el receptor se halle por detrás de la ruta del arreglo, la distancia que cubre el umbral PTS está dada por el criterio de SELcum, siendo inferior a 400 metros. En cambio, si se encontrara por delante de la dirección de avance del arreglo, y escapara rápidamente en ángulo pero con la misma dirección de avance del arreglo (manteniendo una velocidad elevada durante media hora), debería encontrarse a más de aproximadamente 600 m para no alcanzar el umbral PTS. Un ejemplar de esta especie comenzaría a sentir efectos temporarios (TTS) por acumulación del SEL a unos 15 km del arreglo.

Estas distancias son sensiblemente mayores que las que normalmente se consideran en relevamientos sísmicos, lo cual por un lado se debe a las bajas profundidades del área de prospección, además de que los umbrales de SELcum más actualizados (en 2019) son mucho más conservativos que los empleados anteriormente en relevamientos de este tipo.

RE-2020-47390951-APN-DTD#JGM

Página 58 de 61

A modo de resumen, se sintetizan a continuación las distancias correspondientes a los umbrales de PTS estimados para las diferentes especies, bajo las siguientes consideraciones:

a) Se considera la distancia más conservativa resultante de los criterios de SPL y SELcum
b) Si el criterio corresponde a SPL, se discrimina el valor a adoptar según el lecho sea predominantemente de arena o de grava, en cambio.
c) Si el criterio corresponde a SELcum, se considera únicamente el valor calculado para lecho de gravas, dado que por las mayores distancias involucradas en general para el movimiento relativo del arreglo y del receptor durante la acumulación del SEL, No resulta apropiado definir zonas de relevamiento donde la propagación del sonido se realice exclusivamente dentro del área con lecho arenas. Además, se considera la distancia más desfavorable entre todos los Escenarios de Interrelación evaluados.
d) En el caso de los mamíferos de baja frecuencia auditiva (LF), se considera el resultado de SELcum obtenido mediante la medida de mitigación correspondiente al arranque suave.

Tabla 12. Resumen de Distancias a la fuente para alcanzar la Pérdida de Transmisión correspondiente a los umbrales PTS según los criterios SPL y SELcum

Grupo Auditivo	Criterios		Distancia (m)		
	SPLpeak dB re 1 □Pa	**SELcum** dB re 1 μPa²s	**Criterio SPL (fondo gravas) (m)**	**Criterio SPL (fondo arenas) (m)**	**Criterio SELcum (arenas y gravas) (m)**
PTS - LF	219	183	-	-	600
PTS - HF	230	185	10	9	-
PTS - VHF	202	155	900	560	-
PTS - PW	218	185	55	50	-
PTS - PO	232	203	3	3	-
Peces SIN vejiga natatoria *	213	219	120	115	-
Peces CON vejiga natatoria *	207	201 **	380	240	-

(*): Nivel de mortalidad o mortalidad potencial
(**): Nivel para peces con vejiga natatoria no conectada al oído (solo detección de movimiento de partículas)

RE-2020-47390951-APN-DTD#JGM

CRISTINA GOYENECHEA
Directora Área Ambiente
SERMAN & ASOCIADOS S.A.

Página 59 de 61

6 BIBLIOGRAFÍA

ATLAS DE SENSIBILIDAD AMBIENTAL DE LA COSTA Y EL MAR ARGENTINO (2008) EN BOLTOVSKOY, D. (ED.). [EN LÍNEA] BUENOS AIRES, DISPONIBLE EN: HTTP://ATLAS.AMBIENTE.GOV.AR/.

CALDWELL, J. AND W. DRAGOSET (2000). A BRIEF OVERVIEW OF SEISMIC AIR-GUN ARRAYS. THE LEADING EDGE 2000.

GORDON JONATHAN C.D., DOUGLAS GILLESPIE, JOHN POTTER, ALEXANDROS FRANTZIS, MARK P. SIMMONDS AND RENE SWIFT, “THE EFFECTS OF SEISMIC SURVEYS ON MARINE MAMMALS”, 2003.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF OIL&GAS PRODUCERS (IAOG). INTERNATIONAL ASSOCIATION OF GEOPHYSICAL CONTRACTORS (IAGC). 2017. RECOMMENDED MONITORING AND MITIGATION MEASURES FOR CETACEANS DURING MARINE SEISMIC SURVEY GEOPHYSICAL OPERATIONS. REPORT 579. HTTPS://WWW.IAGC.ORG/UPLOADS/4/5/0/7/45074397/579.PDF

IOC, SCOR Y IAPSO (2010). THE INTERNATIONAL THERMODYNAMIC EQUATION OF SEAWATER – 2010: CALCULATION AND USE OF THERMODYNAMIC PROPERTIES. INTERGOVERNMENTAL OCEANOGRAPHIC COMMISSION, MANUALS AND GUIDES NO. 56, UNESCO (ENGLISH), 196 PP. HTTP://WWW.TEOS-10.ORG/PUBS/TEOS-10_MANUAL.PDF

JENSEN F., KUPERMAN W., PORTER M., AND SCHMIDT H. (2011). COMPUTATIONAL OCEAN ACOUSTICS. AIP SERIES IN MODERN ACOUSTICS AND SIGNAL PROCESSING, NEW YORK.

LAWSON, J.W., MALME C.I., RICHARDSON W.J. (2001). ASSESMENT OF NOISE ISSUES RELEVANT TO MARINE MAMMALS NEAR THE BP CLAIR DEVELOPMENT. REP. BY LGL LTD., ENRVIRON. RES. ASSOC. KING CITY, ONT. CANADA, AND ENG. AND SCI. SERVICES, HINGHAM, MA, U.S.A., FOR AURORA ENVIRONMENTAL LTD., STROMNESS ORKNEY. LGL REP. TA2565-1.

LEROY C. (2008) A NEW EQUATION FOR THE ACCURATE CALCULATION OF SOUND SPEED IN ALL OCEANS. THE JOURNAL OF THE ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA 124, 2774

MCCAULEY R., FEWTRELL J., DUNCAN A., JENNER C., JENNER M., PENROSE J., PRINCE R., ADHITYA A., MURDOCH J., MCCABE K. (2000). MARINE SEISMIC SURVEYS: ANALYSIS AND PROPAGATION OF AIR-GUN SIGNALS; AND EFFECTS OF AIR-GUN EXPOSURE ON HUMPBACK WHALES, SEA TURTLES, FISHES AND SQUID. CENTRE FOR MARINE SCIENCE AND TECHNOLOGY, PROJECT CMST 163, REPORT R99-15, CURTIN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY. WESTERN AUSTRALIA

MCDOUGALL, T. J. Y P. M. BARKER (MAYO 2011 - ÚLTIMA ACTUALIZACIÓN JULIO 2017 - VERSIÓN 3.06.3). GETTING STARTED WITH TEOS-10 AND THE GIBBS SEAWATER (GSW) OCEANOGRAPHIC TOOL - V3.06.3). HTTP://WWW.TEOS-10.ORG/PUBS/GETTING_STARTED.PDF

MCDOUGALL, T. J. (S/F). THE INTERNATIONAL THERMODYNAMIC EQUATION OF SEAWATER – 2010, INTRODUCTORY LECTURE SLIDES. UNIVERSITY OF NEW SOUTH WALES, OCEAN PHYSICS, SCHOOL OF MATHEMATICS AND STATISTICS. DISPONIBLE EN WWW.TEOS-10.ORG

NATIONAL MARINE FISHERIES SERVICE. 2016. TECHNICAL GUIDANCE FOR ASSESSING THE EFFECTS OF ANTHROPOGENIC SOUND ON MARINE MAMMAL HEARING: UNDERWATER ACOUSTIC THRESHOLDS FOR ONSET OF PERMANENT AND TEMPORARY THRESHOLD SHIFTS. U.S. DEPT. OF COMMER., NOAA. NOAA TECHNICAL MEMORANDUM

RE-2020-47390951-APN-DTD#JGM

CRISTINA GOYENECHEA
Directora Área Ambiente
SERMAN & ASOCIADOS S.A.

Página 60 de 61

NMFS-OPR-55, 178 P.

NEDWELL J R, NEEDHAM K, TURNPENNY A W H, THOMPSON D (1999) “MEASUREMENT OF SOUND DURING A 3D SEISMIC SURVEY IN BLOCKS 14/14A OF THE NORTH SEA”. SUBACOUSTECH REPORT REFERENCE: 356R0108, FEBRUARY 1999.

PAWLOWICZ, R. (OCTUBRE 2010, ÚLTIMA ACTUALIZACIÓN ABRIL 2013 - V8). WHAT EVERY OCEANOGRAPHER NEEDS TO KNOW ABOUT TEOS-10 (THE TEOS-10 PRIMER) - V8. HTTP://WWW.TEOS-10.ORG/PUBS/TEOS-10_PRIMER.PDF

PIOLA, A. Y R. P. MATANO (2017). BRAZIL AND FALKLANDS (MALVINAS) CURRENTS. EN: OCEAN CURRENTS: ATLANTIC WESTERN BOUNDARY - BRAZIL CURRENT / FALKLAND (MALVINAS) CURRENT, PP 340-349.

PORTER M.B. AND BUCKER H.P. (1987) GAUSSIAN BEAM TRACING FOR COMPUTING OCEAN ACOUSTIC FIELDS. J. ACOUST. SOC. AMERICA, 82(4):1349-1359.

SOUTHALL, B. L., BOWLES, A. E., ELLISON, W. T., FINNERAN, J. J., GENTRY, R. L., GREENE, JR., C. R., KASTAK, D., ET AL. 2007. MARINE MAMMAL NOISE EXPOSURE CRITERIA: INITIAL SCIENTIFIC RECOMMENDATIONS. AQUATIC MAMMALS, 33: 411–521.

URICK, RERT J., (1983) PRINCIPLES OF UNDERWATER SOUND, MCGRAW-HILL BOOK COMPANY. 3RD EDITION

VIOLANTE R., COSTA I., CAVALLOTTO J., PATERLINI C., MARCOLINI S. Y BOZZANO G. (2014). RASGOS MORFOSEDIMENTARIOS, PROCESOS Y EVOLUCIÓN DE LA PLATAFORMA CONTINENTAL ARGENTINA DESDE EL ÚLTIMO MÁXIMO GLACIAL. SERVICIO DE HIDROGRAFÍA NAVAL, DEPARTAMENTO OCEANOGRAFÍA, DIVISIÓN GEOLOGÍA Y GEOFÍSICA MARINA. REVISTA DE LA ASOCIACIÓN GEOLÓGICA ARGENTINA 71 (2): 292 - 310.

RE-2020-47390951-APN-DTD#JGM

CRISTINA GOYENECHEA
Directora Área Ambiente
SERMAN & ASOCIADOS S.A.

Página 61 de 61

República Argentina - Poder Ejecutivo Nacional
2020 - Año del General Manuel Belgrano

Hoja Adicional de Firmas
Documentación personal

Número: RE-2020-47390951-APN-DTD#JGM

CIUDAD DE BUENOS AIRES
Jueves 23 de Julio de 2020

Referencia: Documentación Complementaria

El documento fue importado por el sistema GEDO con un total de 61 pagina/s.

Digitally signed by GESTION DOCUMENTAL ELECTRONICA - GDE
Date: 2020.07.23 12:41:28 -03:00

Santiago HEARNE - 20380290570
en representación de
EQUINOR ARGENTINA AS SUCURSAL ARGENTINA - 33716594209

Digitally signed by GESTION DOCUMENTAL ELECTRONICA - GDE
Date: 2020.07.23 12:41:29 -03:00