

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL REGISTRO SÍSMICO OFFSHORE “3D” ÁREAS CAN 100, CAN 108 Y CAN 114, 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 | 37 |
| 3.4 | CONCLUSIONES SOBRE LOS UMBRALES CORRESPONDIENTES A LA INTENSIDAD SONORA (SPL) | 70 |
| 4 | MODELACIÓN DEL NIVEL DE EXPOSICIÓN ACÚSTICA (SEL) ACUMULADO | 71 |
| 4.1 | INTRODUCCIÓN | 71 |
| 4.2 | ESPECTRO DE ENERGÍA EXTENDIDO | 72 |
| 4.3 | PÉRDIDAS POR ABSORCIÓN | 76 |
| 4.4 | CÁLCULO DE LA PÉRDIDA DE TRANSMISIÓN DEL SONIDO TL | 77 |
| 4.5 | CÁLCULO DE SEL PROPAGADO EN DB Y DBH POR ESPECIE | 77 |

| | | |
|-----|--|-----|
| 4.6 | CÁLCULO DEL SEL ACUMULADO PARA DIFERENTES ESPECIES | 95 |
| 4.7 | ESCENARIOS DE ACUMULACIÓN DEL SEL MODELADOS Y RESULTADOS EN RELACIÓN CON LOS UMBRALES DE AFECTACIÓN POR ESPECIE SIN MEDIDAS DE MITIGACIÓN | 97 |
| 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) | 101 |
| 5 | CONCLUSIONES | 105 |
| 6 | BIBLIOGRAFÍA | 108 |



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:

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

Dónde

SL = el nivel del sonido en la fuente (dB re 1 μPa a 1 metro),

R = distancia (Rango) fuente-receptor,

SPL = Presión 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, $\text{SPL} = \text{SL} - 10 \log(R)$, 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.



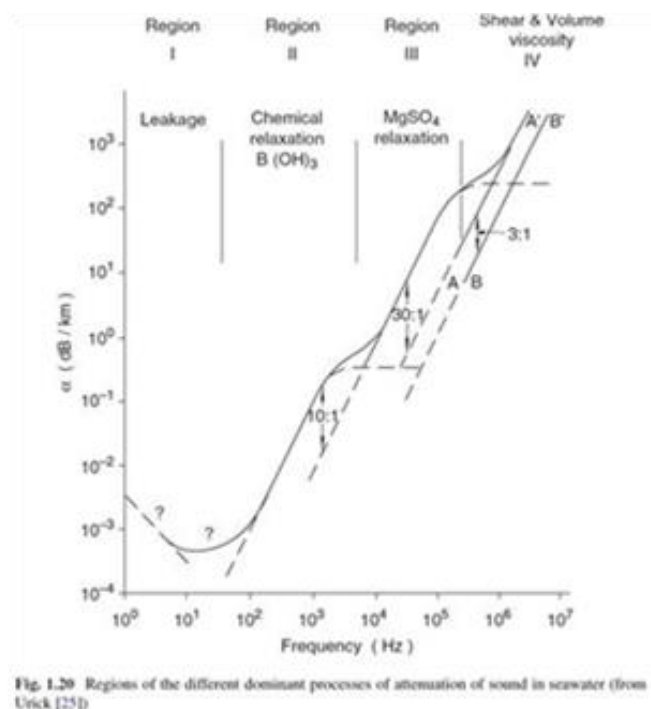


Figura 1. Regiones de los diferentes procesos dominantes de atenuación del sonido en el mar.

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:

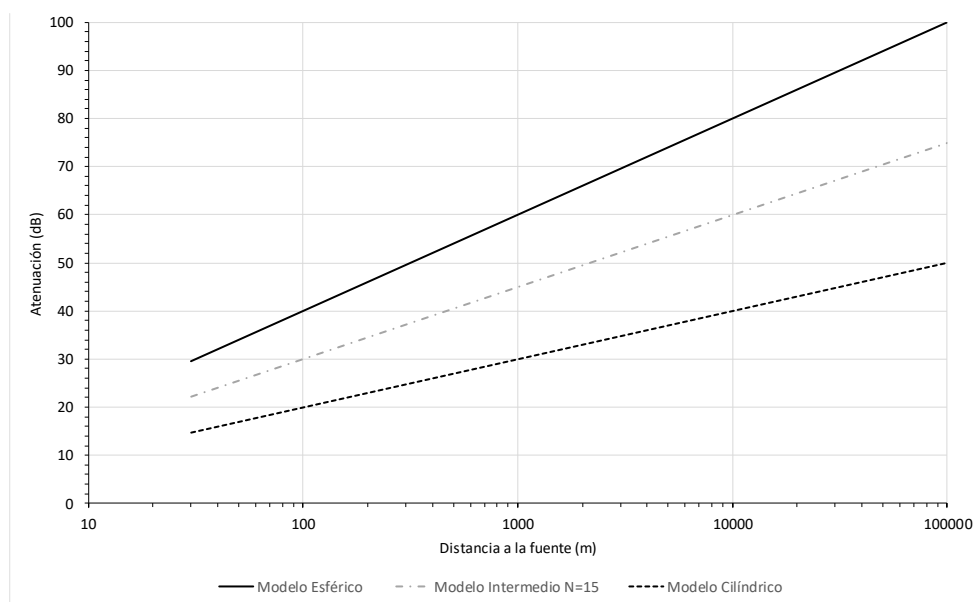


Figura 2. Pérdidas de la Transmisión Teóricas (TL) calculadas por modelos esférico $20\log(R)$, cilíndrico $10\log(R)$ e intermedio $15\log(R)$.



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 μ Pa 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 μ Pa a 1 metro:

Tabla 1. Decaimiento espacial del nivel sonoro.

| Nivel recibido dB p-p re 1 μ Pa | 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 μ Pa a 1 metro.

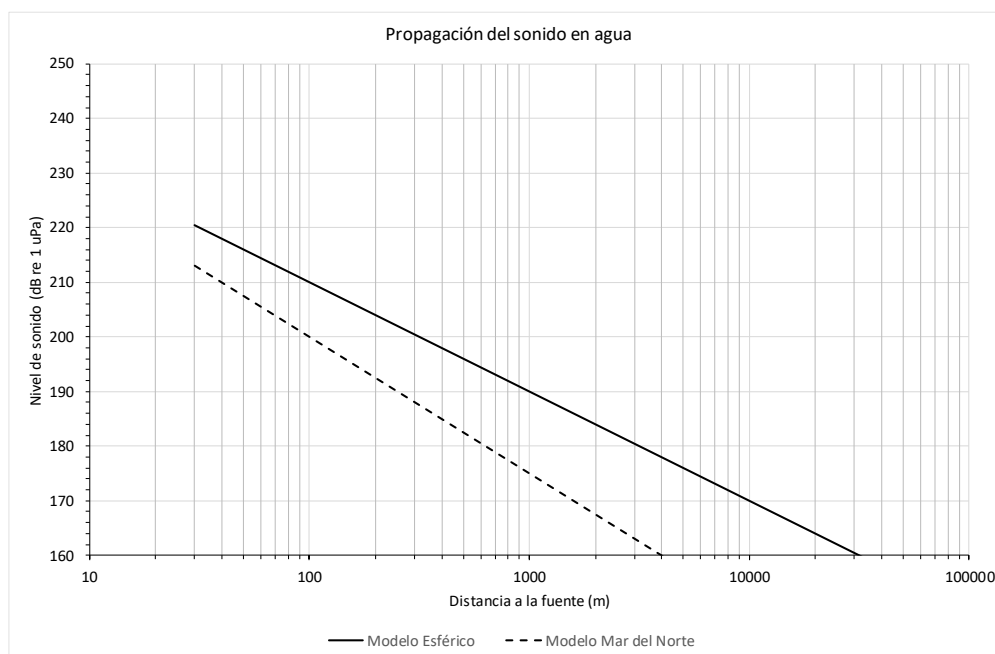


Figura 3. Propagación del sonido en agua calculada por modelos esférico $20\log(R)$, y verificación del Mar del Norte $25\log(R)$.

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.

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 μ Pa-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 15° con la horizontal. El valor de partida estimado para analizar la propagación de energía sonora es entonces igual a 251,3 dB re 1 μ Pa-m (p-p) o 235,3 dB re 1 μ Pa-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 siguiente tabla, y se 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 Focidos | 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 μ Pa, 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 atenuación 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 en dB 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, 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 $c(s)$ [$\xi(s)$; $\zeta(s)$] representa el versor tangente a lo largo del rayo. Las condiciones iniciales para $r(s)$, $z(s)$, $\xi(s)$ y $\zeta(s)$ son:

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



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, si bien este efecto tiene una incidencia relativamente baja en aguas 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 especifica 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), <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.



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 las áreas CAN 100 y CAN 108

Las áreas CAN 100 y CAN 108 se encuentran ubicadas en la zona de la confluencia Brasil-Malvinas, en la que converge la corriente fría de Malvinas con la cálida y más salina de Brasil.

De acuerdo a lo descripto en el Capítulo 5 “Línea de Base Ambiental” la temperatura y la salinidad del agua en esta zona exhiben una alta variabilidad espaciotemporal, ya que como consecuencia de la alta dinámica de la confluencia se producen numerosos meandros y eddies (remolinos) de gran escala, desprendimientos de las dos corrientes que generan intrusionas de una masa de agua cálida (corriente de Brasil) en una masa de agua fría (corriente de Malvinas) y viceversa. De esta manera, estas áreas, además de estar caracterizadas por la mezcla de estas dos corrientes marinas, pueden ser bañadas tanto por las aguas frías de Malvinas como por las cálidas de Brasil.

Por lo tanto, en cualquier época del año el buque de exploración sísmica puede estar desplazándose ya sea en la zona de mezcla o en aguas de Malvinas o de Brasil. Por este motivo, para estas áreas, además del análisis estacional y a modo de análisis de sensibilidad, se realizó la modelación de ruido para dos sets adicionales de perfiles de temperatura y salinidad, uno característico de la corriente de Malvinas y el otro de la corriente de Brasil, el primero más frío y menos salino, y el segundo más cálido y más salino.

El diagrama T-S (que caracteriza las distintas masas de agua presentes) para todos los perfiles descargados de World Ocean Database se presenta en la Figura 4 (ver Figura 5 para la identificación de la zona de confluencia y de las corrientes de Malvinas y de Brasil).

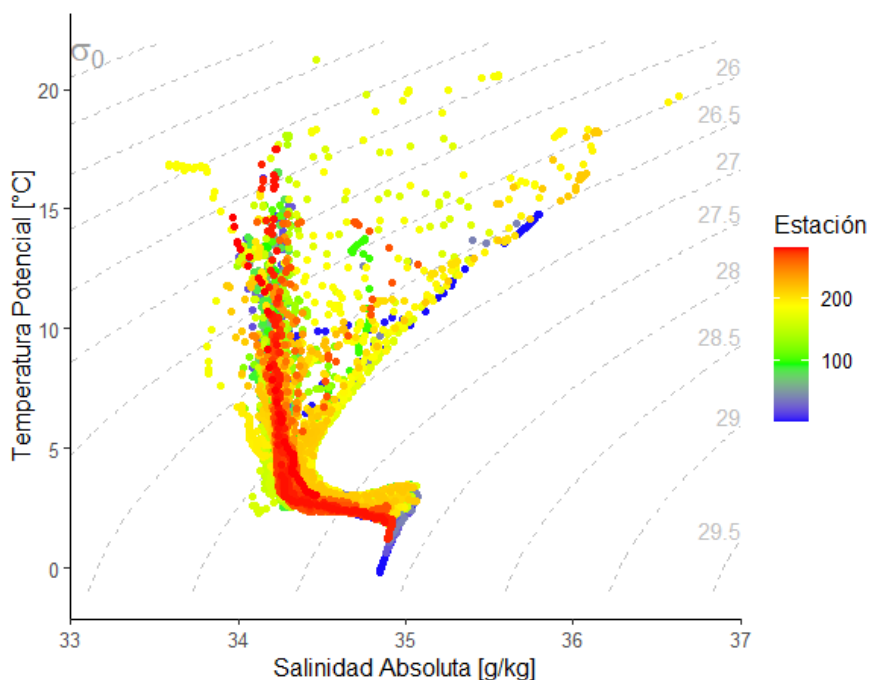


Figura 4. Diagrama T-S de todos los perfiles de temperatura y salinidad descargados de la base de datos mundial World Ocean Database 09 (<http://www.nodc.noaa.gov>) de la NOAA, registrados en el área de operación y de influencia directa de las áreas CAN 100 - CAN 108 y del área CAN 114.

A partir del análisis de la numerosa literatura disponible sobre esta zona de confluencia (por ejemplo Piola y Matano, 2017 (Figura 5) y Orúe-Echevarría et al., 2019 (Figura 6), se seleccionaron, de todos aquellos descargados de World Ocean Database, perfiles de temperatura y salinidad característicos de la corriente de Malvinas y de la corriente de Brasil.

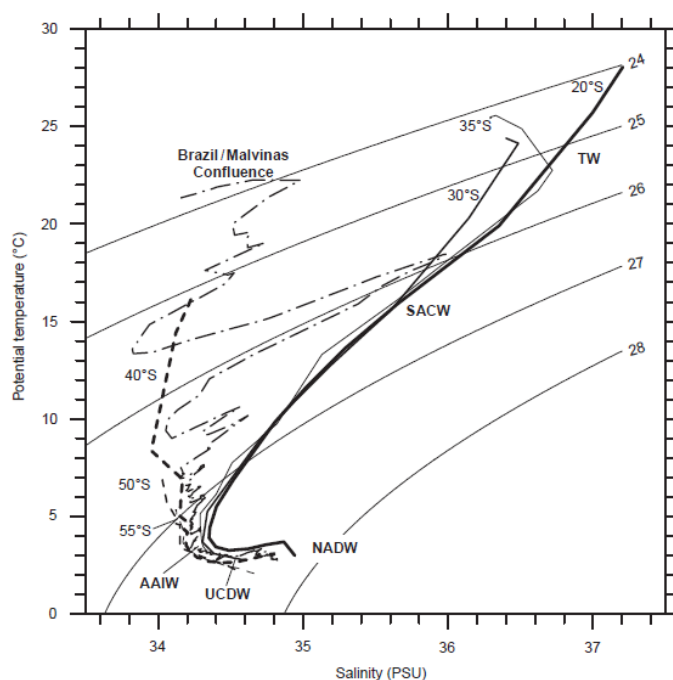


Figura 5. Diagrama T-S de estaciones oceanográficas realizadas a lo largo de la corriente de Brasil (desde 20°S en la cuenca de Brasil hasta 35°S, líneas continuas) y a lo largo de la corriente de Malvinas (desde 55°S en el norte del Pasaje de Drake hasta 40°S, líneas de rayas). Estas estaciones están localizadas entre las isobatas de 1000 m y 2000 m cerca de los núcleos de estas corrientes de contorno oeste. También se incluye una estación de la Confluencia Brasil / Malvinas luego de la separación del borde oeste (línea de rayas y puntos). Se incluyen las isolíneas de anomalía de densidad (σ_θ). TW: Tropical Water; SACW: South Atlantic Central Water; NADW: North Atlantic Deep Water; AAIW: Antarctic Intermediate Water; UCDW: Upper Circumpolar Deep Water. Fuente: Piola y Matano (2017).

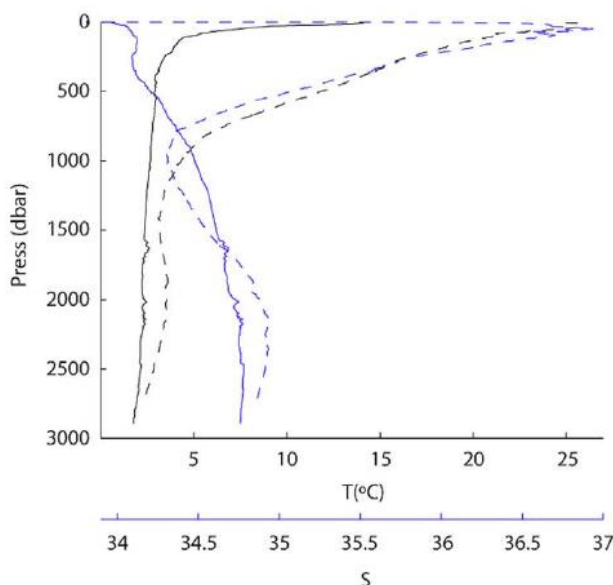


Figura 6. Perfiles verticales de temperatura y salinidad característicos de la corriente de Malvinas (línea continua) y de la corriente de Brasil (línea punteada). Fuente: Orúe-Echevarría et al. (2019).

Del análisis de estos perfiles de temperatura y salinidad de la corriente de Malvinas y de la corriente de Brasil y, con el objeto de realizar el análisis de sensibilidad con perfiles de

características de temperatura y salinidad muy diferentes, se decidió tomar como condiciones de la corriente de Malvinas aquellas correspondientes a la estación invernal, que presenta las menores temperaturas (Figura 7, 17 perfiles registrados) y como condiciones características de la corriente de Brasil aquellas de mayor temperatura (Figura 8, 2 perfiles registrados).

De esta manera, los perfiles de temperatura y salinidad correspondientes a la corriente de Malvinas (Figura 9) resultaron del promedio de dichos 17 perfiles registrados durante la estación invernal.

Para la corriente de Brasil, los perfiles de mayor temperatura con su correspondiente salinidad (Figura 10) resultaron del promedio de los 2 perfiles seleccionados registrados durante el invierno y el otoño.

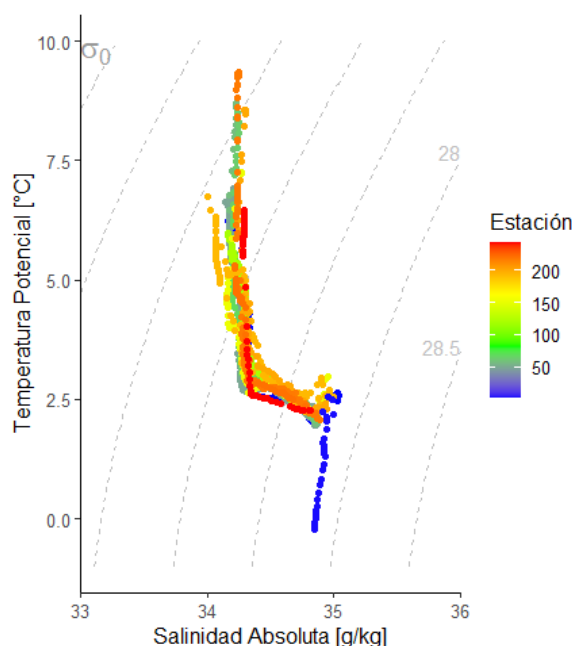


Figura 7. Diagrama T-S de los 17 perfiles de temperatura y salinidad seleccionados para representar la corriente de Malvinas durante la estación invernal.

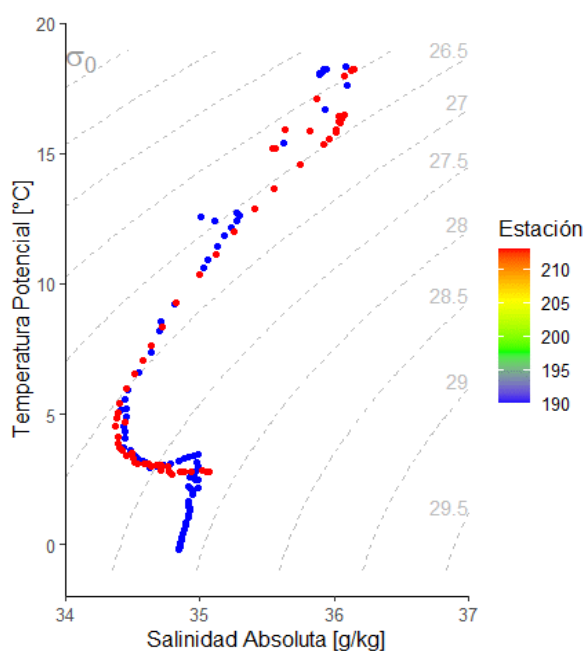


Figura 8. Diagrama T-S de los 2 perfiles de temperatura y salinidad seleccionados para representar la

corriente de Brasil, uno durante el invierno y otro durante el otoño.

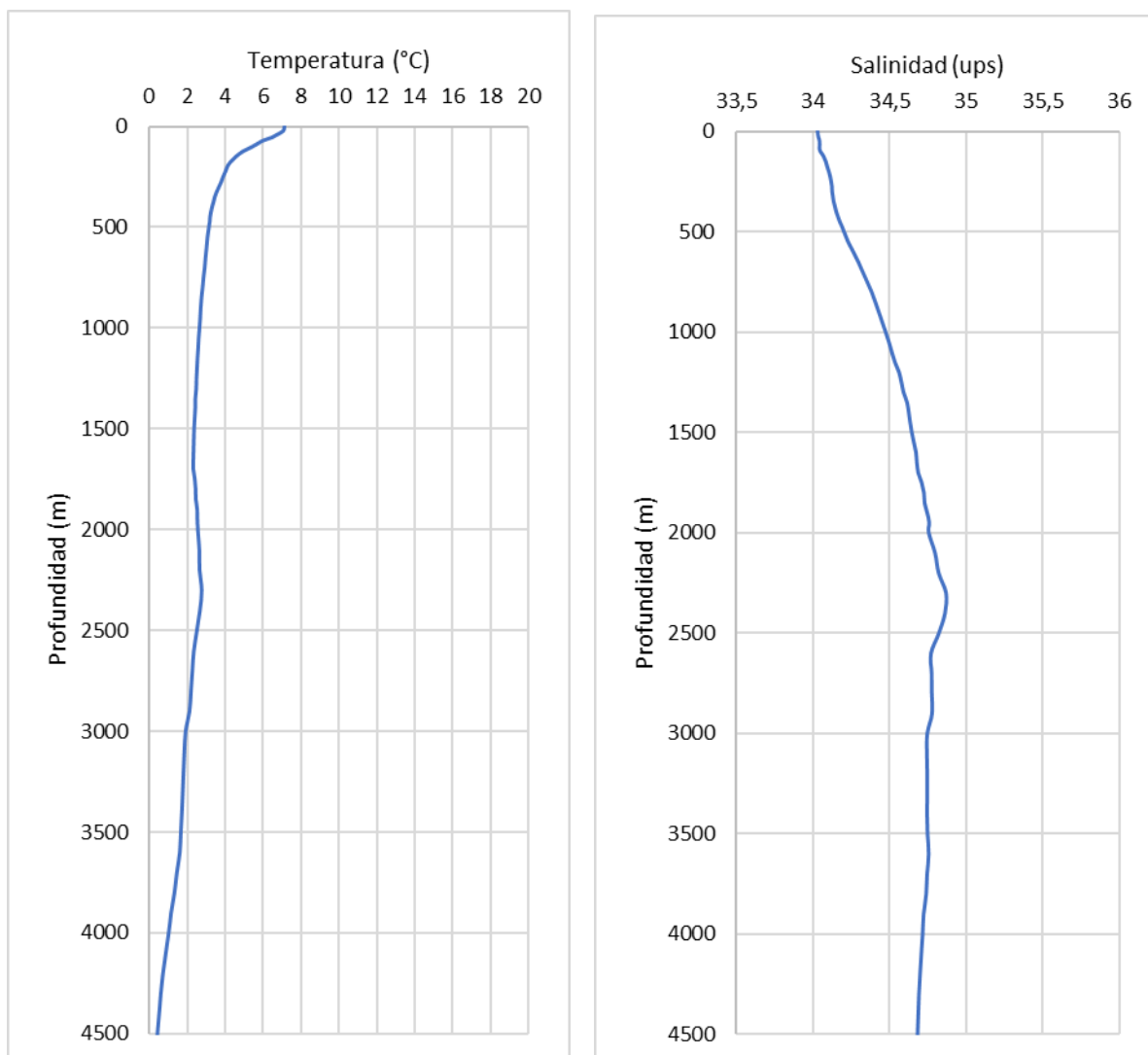


Figura 9. Perfiles de temperatura (Izquierda) y salinidad (derecha) correspondientes a la corriente de Malvinas. Áreas CAN 100 y CAN 108.



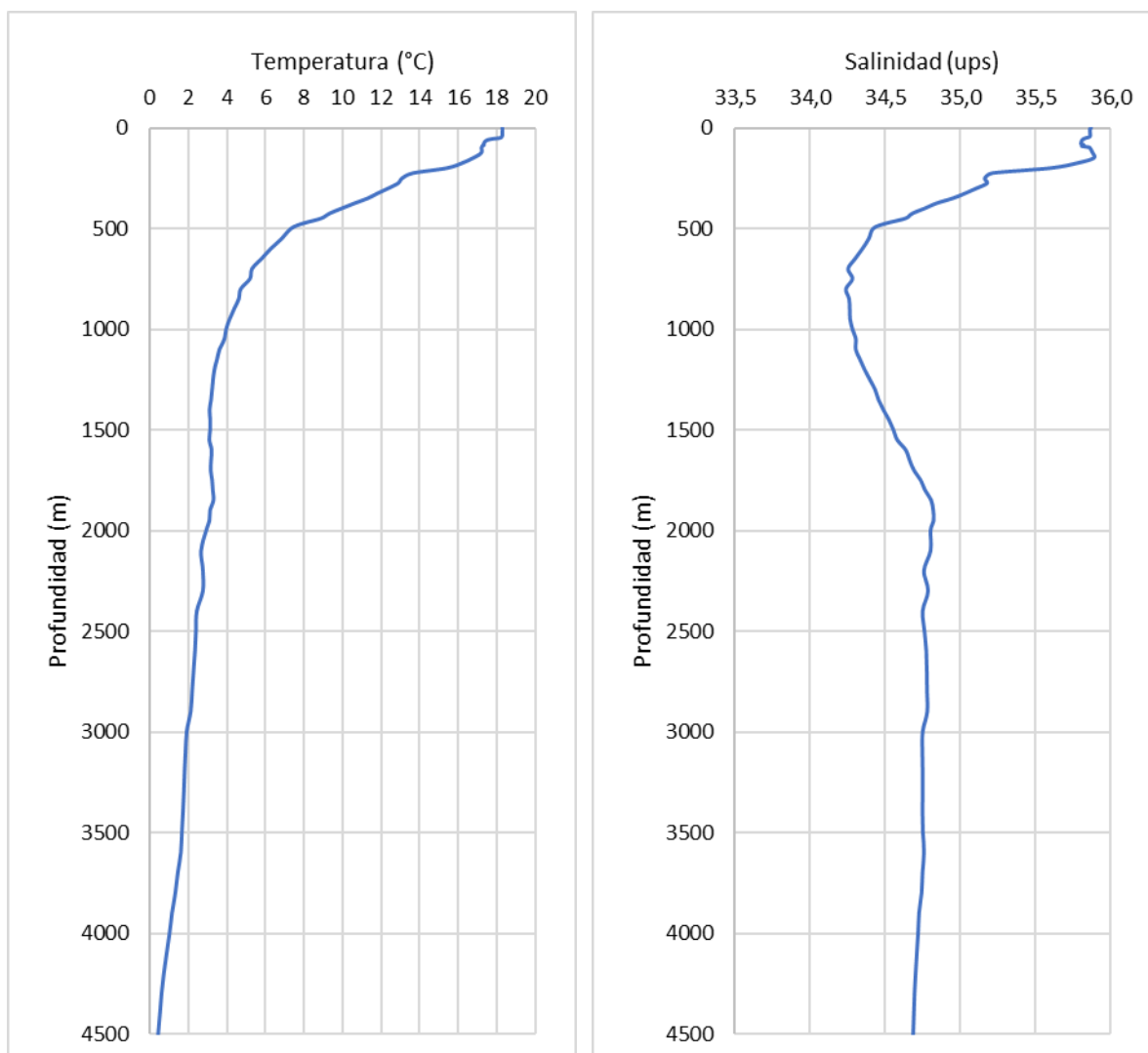


Figura 10. Perfiles de temperatura (Izquierda) y salinidad (derecha), correspondientes a la corriente de Brasil. Áreas CAN 100 y CAN 108.

Los perfiles de densidad y velocidad del sonido, calculados para aquellos de temperatura y salinidad adoptados para las corrientes de Malvinas (Figura 9) y de Brasil (Figura 10), se presentan en la Figura 11 y en la Figura 12 respectivamente.



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

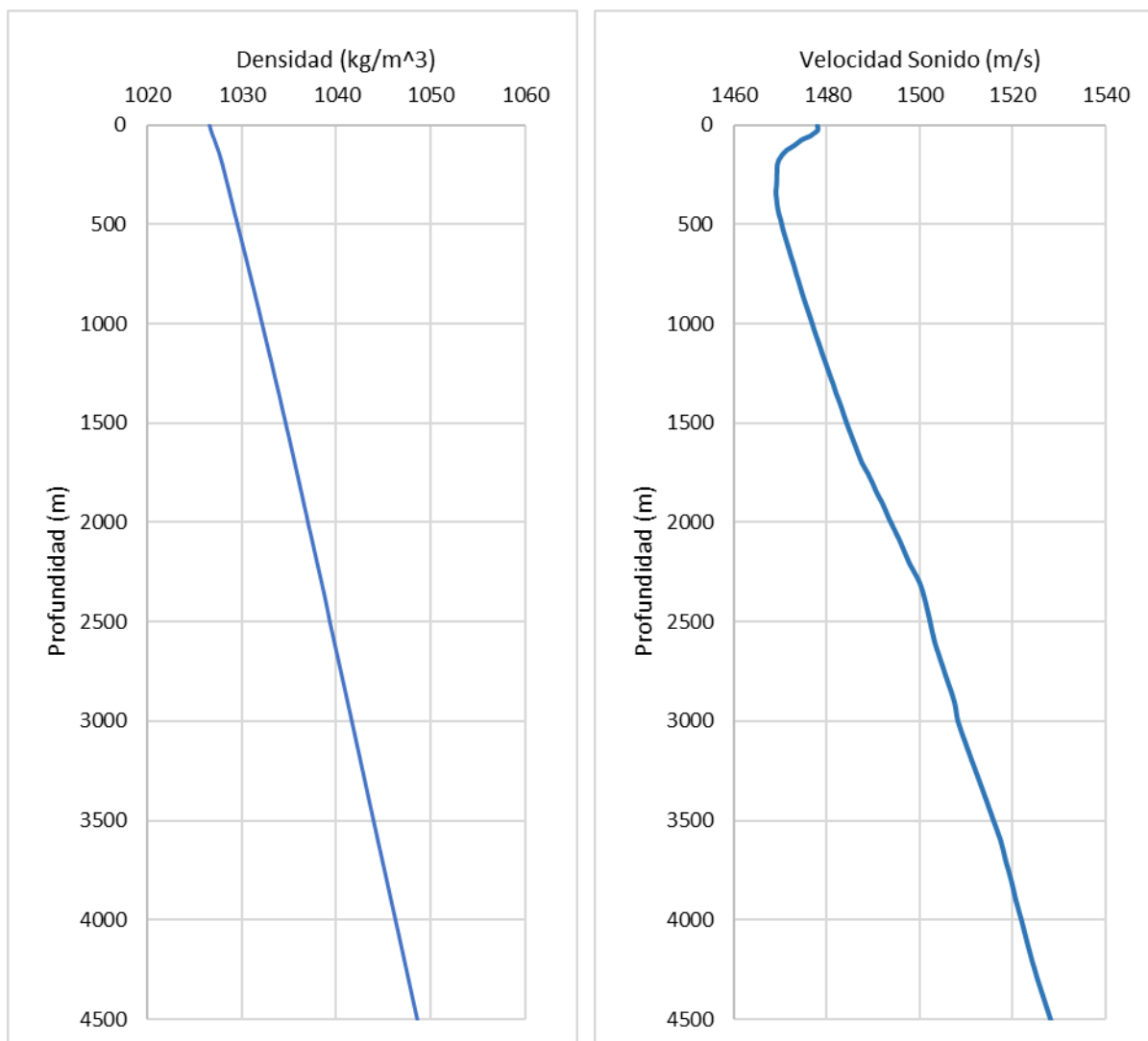


Figura 11. Perfiles de densidad (Izquierda) y velocidad del sonido (derecha), correspondientes a la corriente de Malvinas. Áreas CAN 100 y CAN 108.



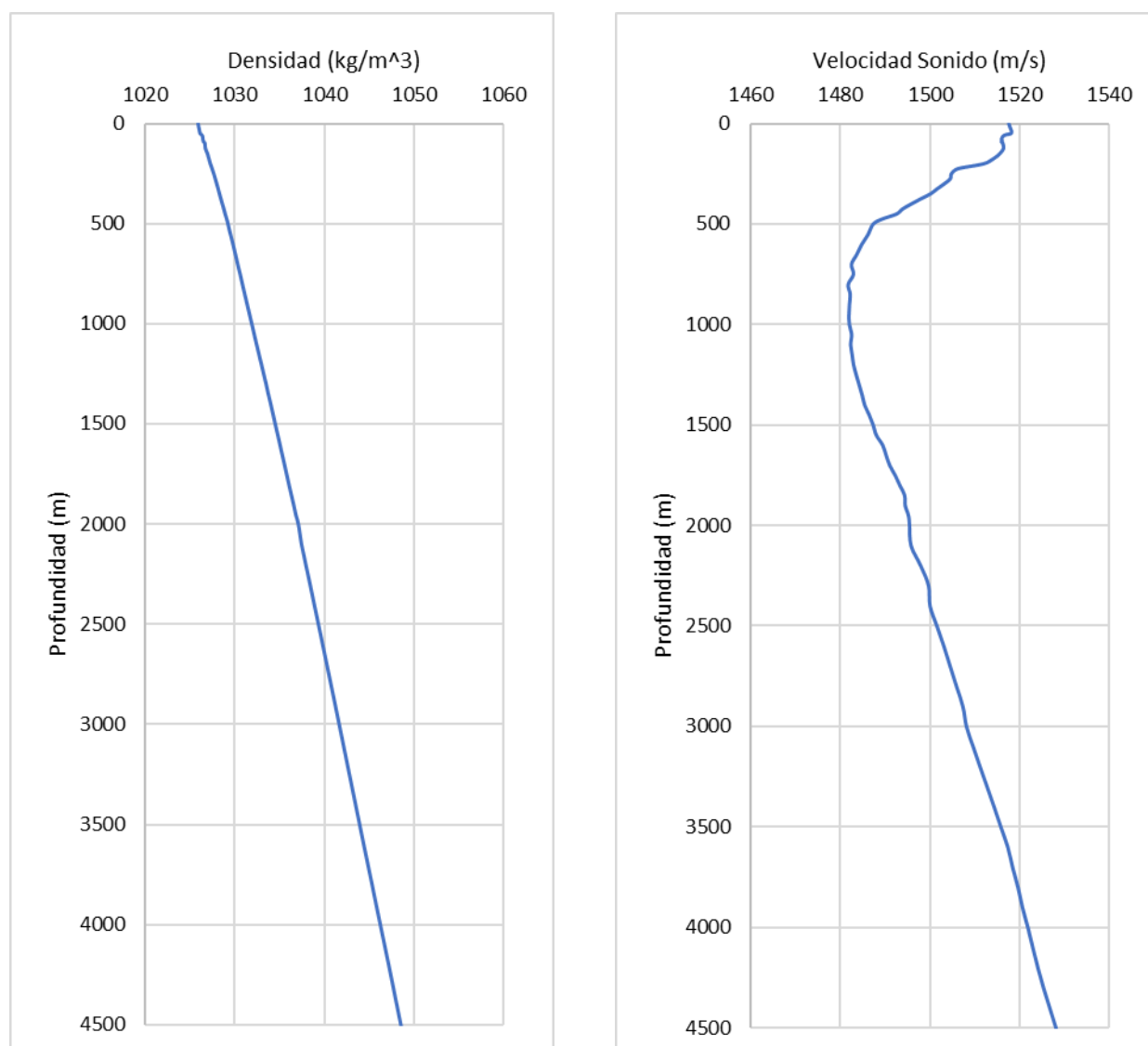


Figura 12. Perfiles de densidad (Izquierda) y velocidad del sonido (derecha), correspondientes a la corriente de Brasil. Áreas CAN 100 y CAN 108.

Para el análisis estacional, los perfiles de temperatura y salinidad disponibles para la zona correspondiente a las áreas CAN 100 y CAN 108, descargados de la World Ocean Database, fueron divididos por estación del año, obteniéndose perfiles característicos como el promedio de los mismos para cada una de las estaciones (42 perfiles para verano, 37 para otoño, 28 para invierno y 34 para primavera).

Se muestran los resultados de la temperatura y la salinidad para los meses de diciembre, enero y febrero (Figura 13), marzo, abril y mayo (Figura 14), junio, julio y agosto (Figura 15) y septiembre, octubre y noviembre (Figura 16).

A partir de estos perfiles y utilizando la formulación de TEOS-10 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 17 se muestran los perfiles de densidad y velocidad del sonido para los meses de diciembre, enero y febrero, en la Figura 18 para marzo, abril y mayo, en la Figura 19 para junio, julio y agosto y en la Figura 20 para septiembre, octubre y noviembre.

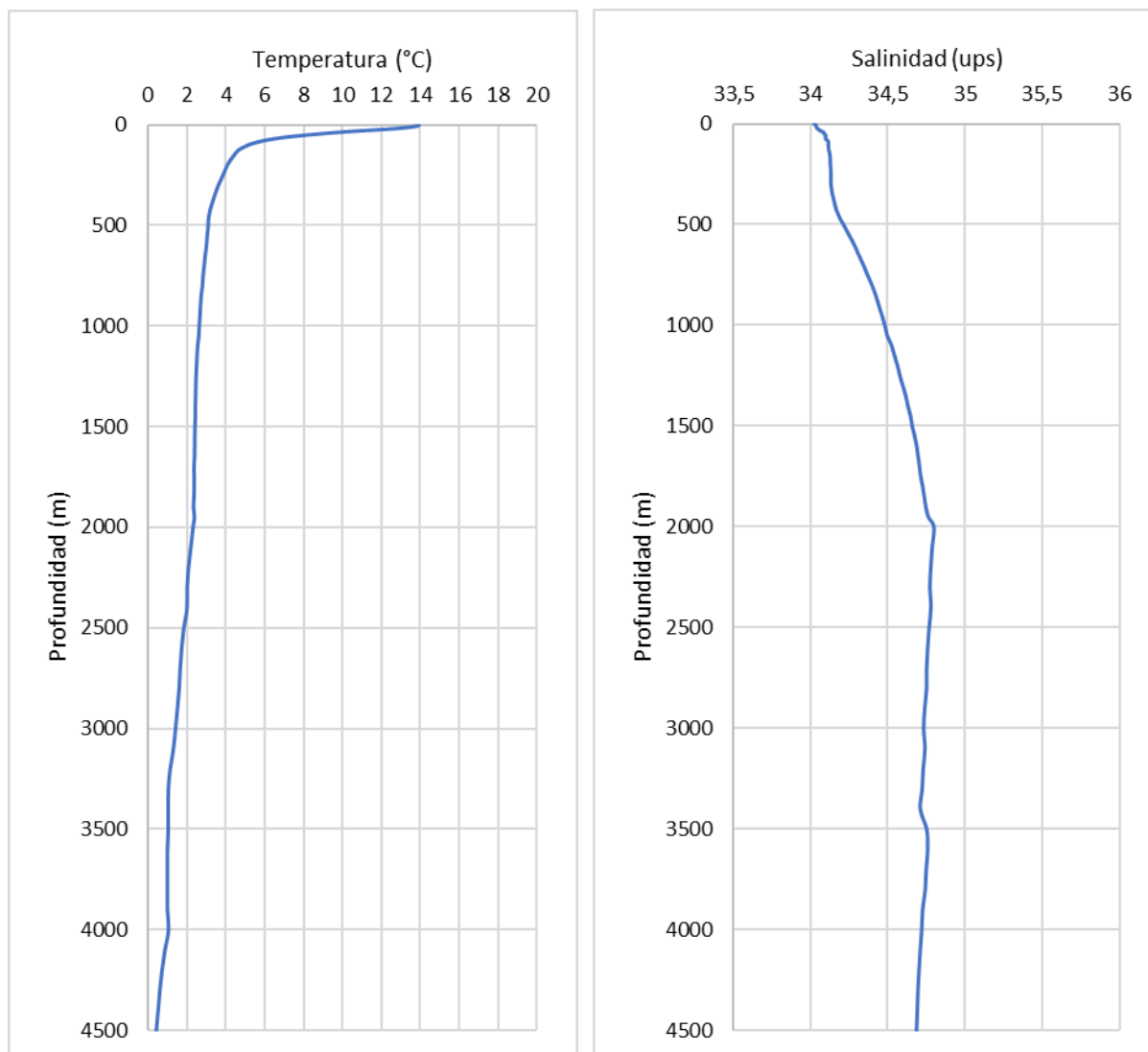


Figura 13. Perfiles de temperatura (izquierda) y salinidad (derecha), correspondientes a los meses de diciembre, enero y febrero. Áreas CAN 100 y CAN 108.



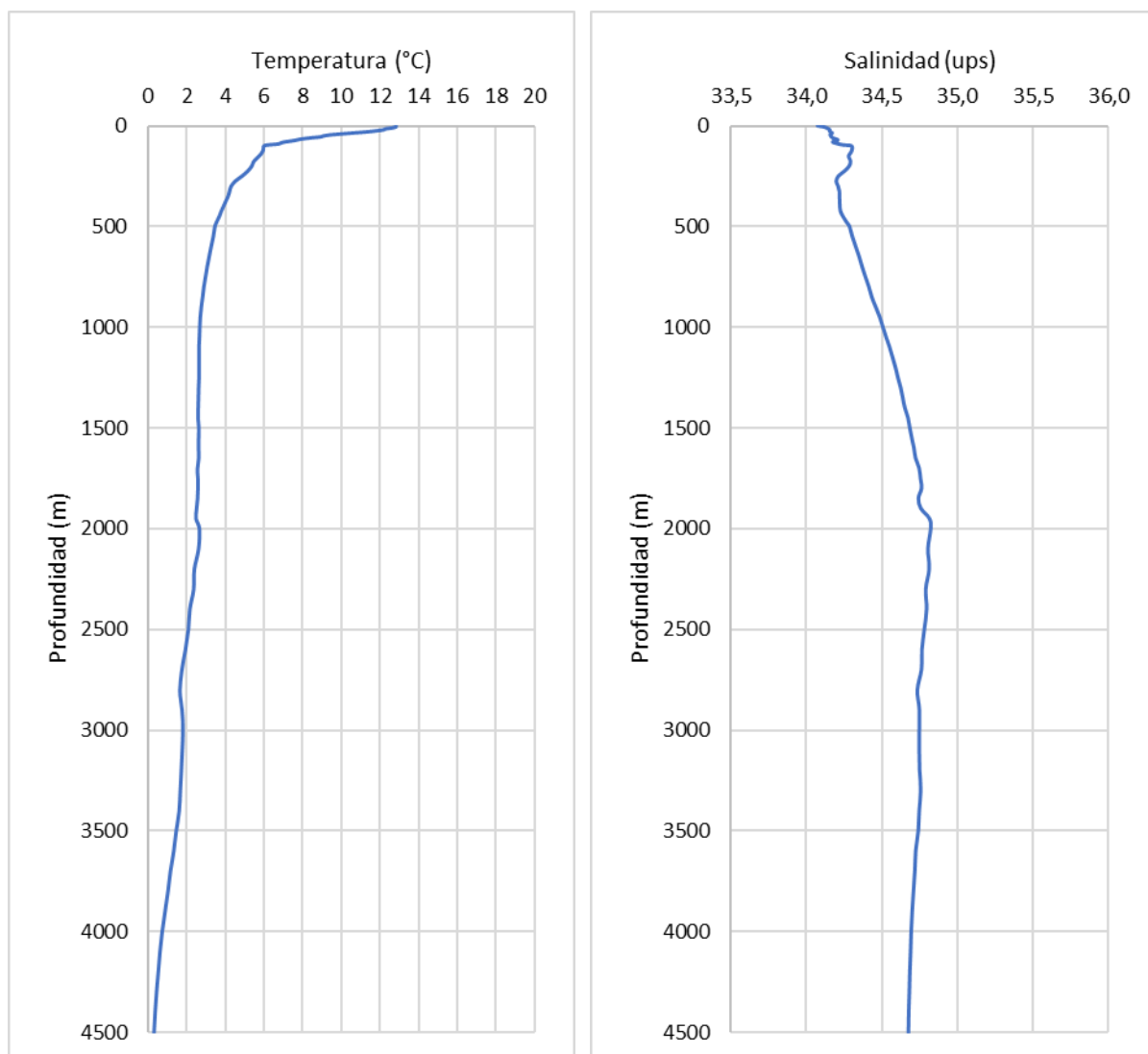


Figura 14. Perfiles de temperatura (Izquierda) y salinidad (derecha), correspondientes a los meses de marzo, abril y mayo. Áreas CAN 100 y CAN 108.



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

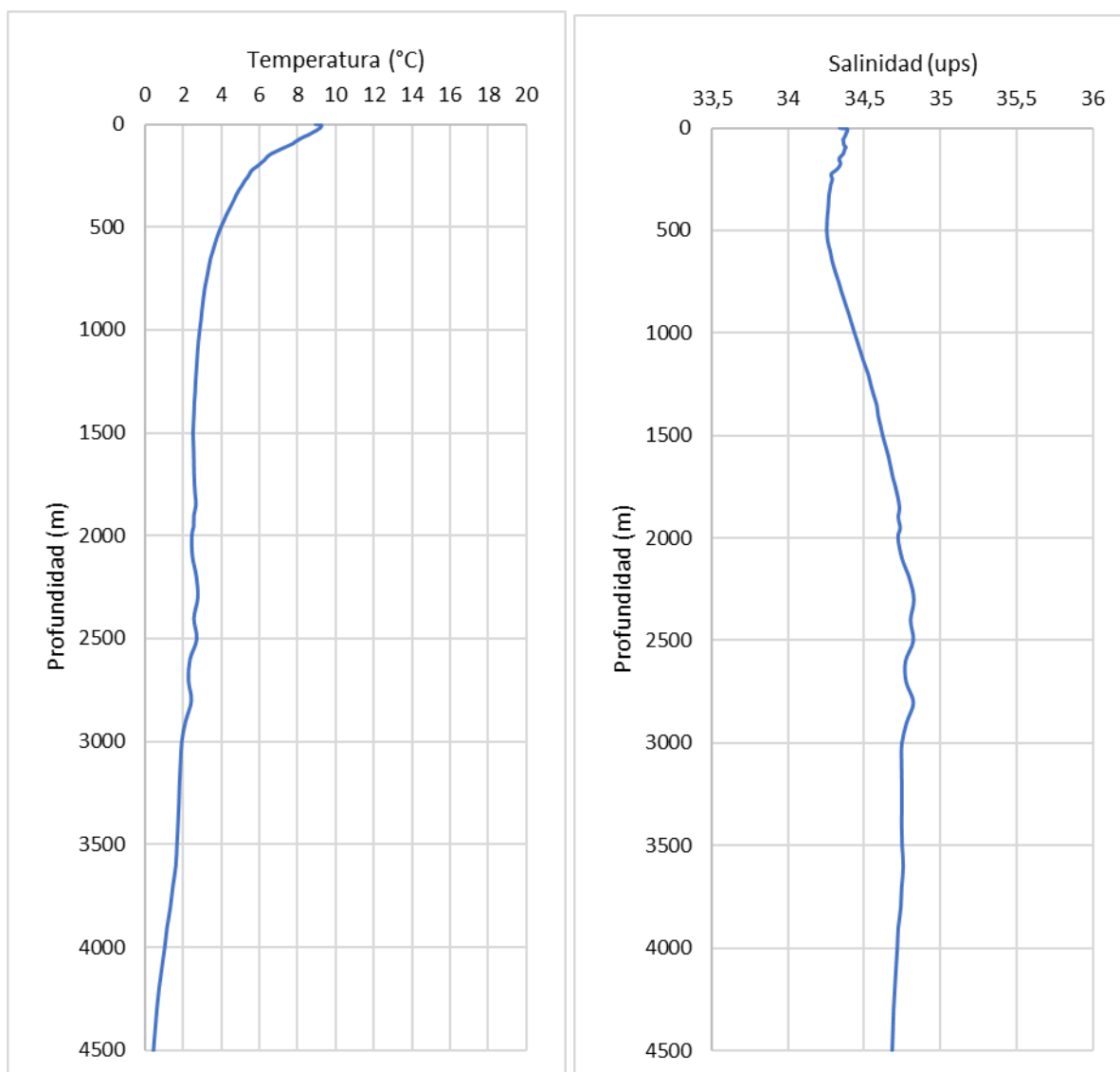


Figura 15. Perfiles de temperatura (Izquierda) y salinidad (derecha), correspondientes a junio, julio y agosto. Áreas CAN 100 y CAN 108.



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

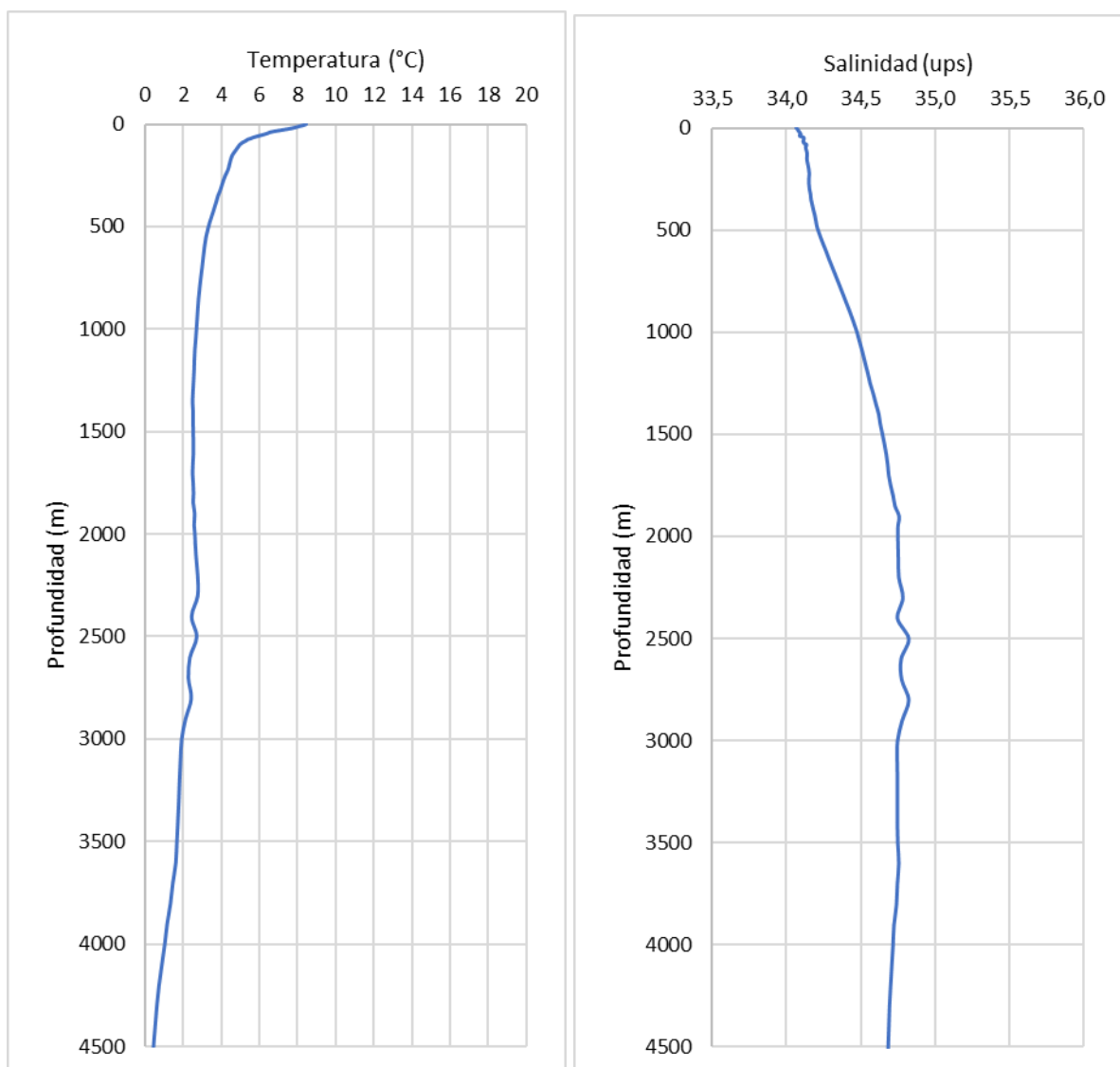


Figura 16. Perfiles de temperatura (Izquierda) y salinidad (derecha), correspondientes a septiembre, octubre y noviembre. Áreas CAN 100 y CAN 108.



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

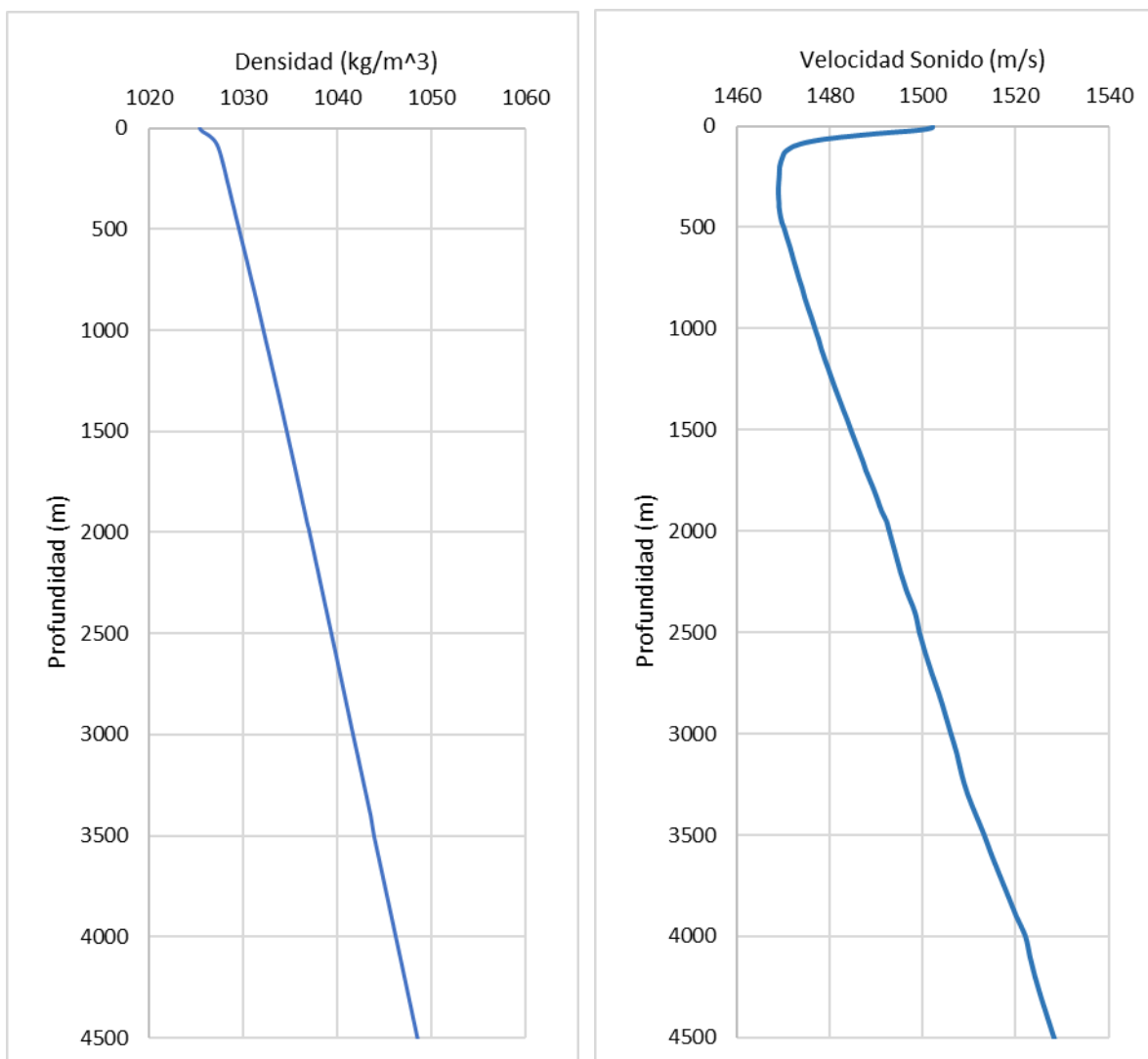


Figura 17. Perfiles de densidad (Izquierda) y velocidad del sonido (derecha), correspondientes a los meses de diciembre, enero y febrero. Áreas CAN 100 y CAN 108.



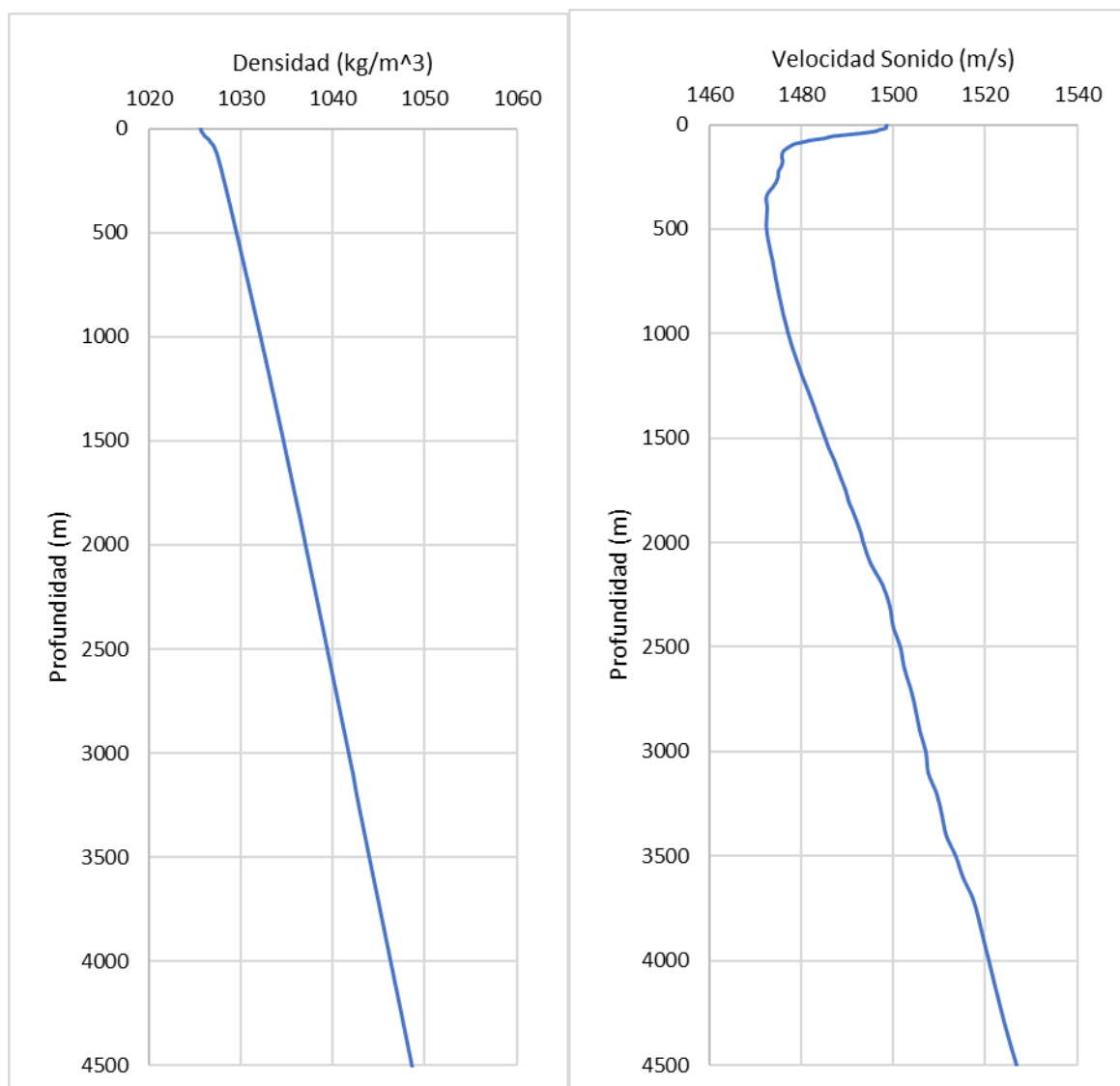


Figura 18. Perfiles de densidad (Izquierda) y velocidad del sonido (derecha), correspondientes a los meses de marzo, abril y mayo. Áreas CAN 100 y CAN 108.



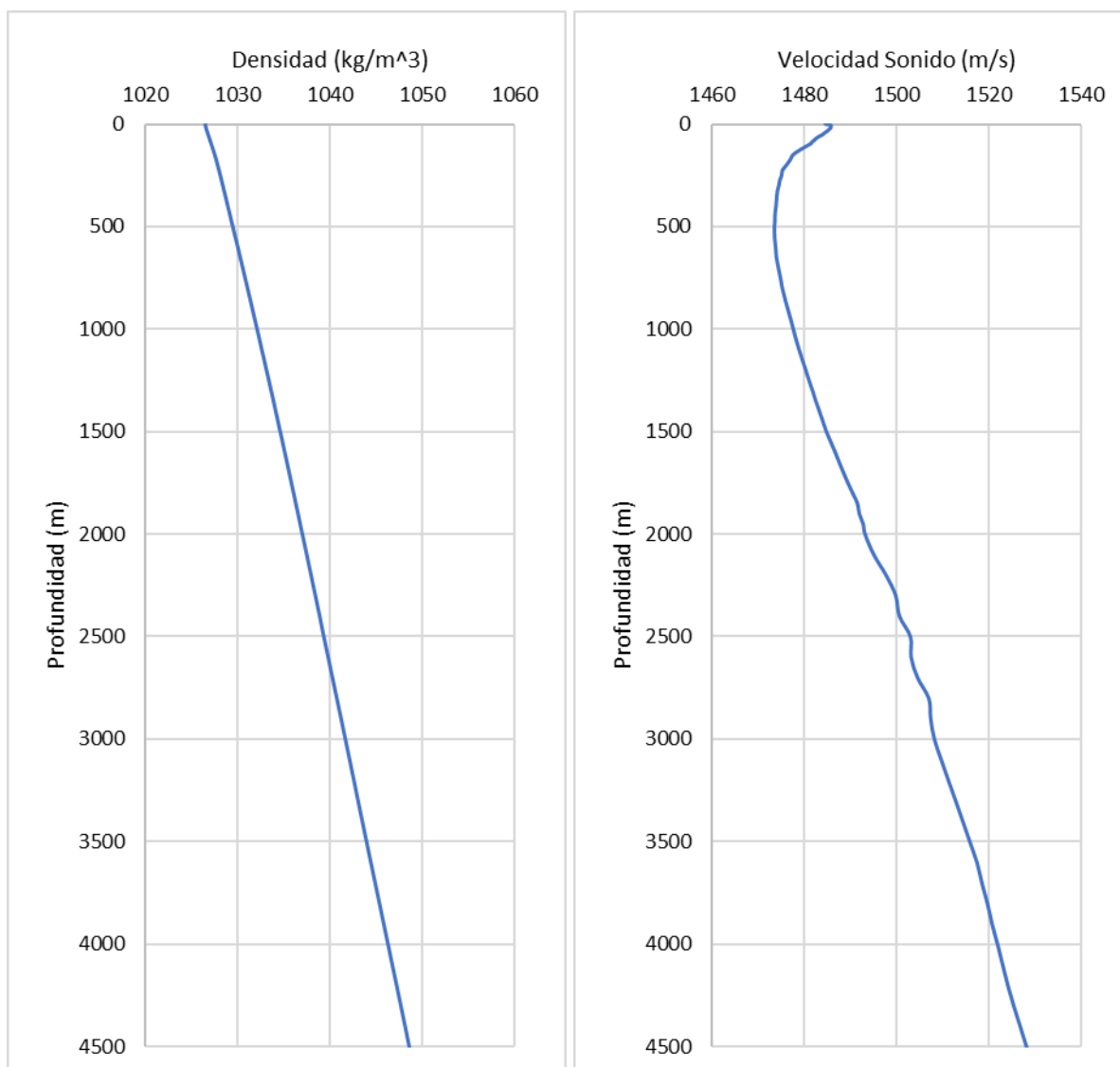


Figura 19. Perfiles de densidad (Izquierda) y velocidad del sonido (derecha), correspondientes a los meses de junio, julio y agosto. Áreas CAN 100 y CAN 108.



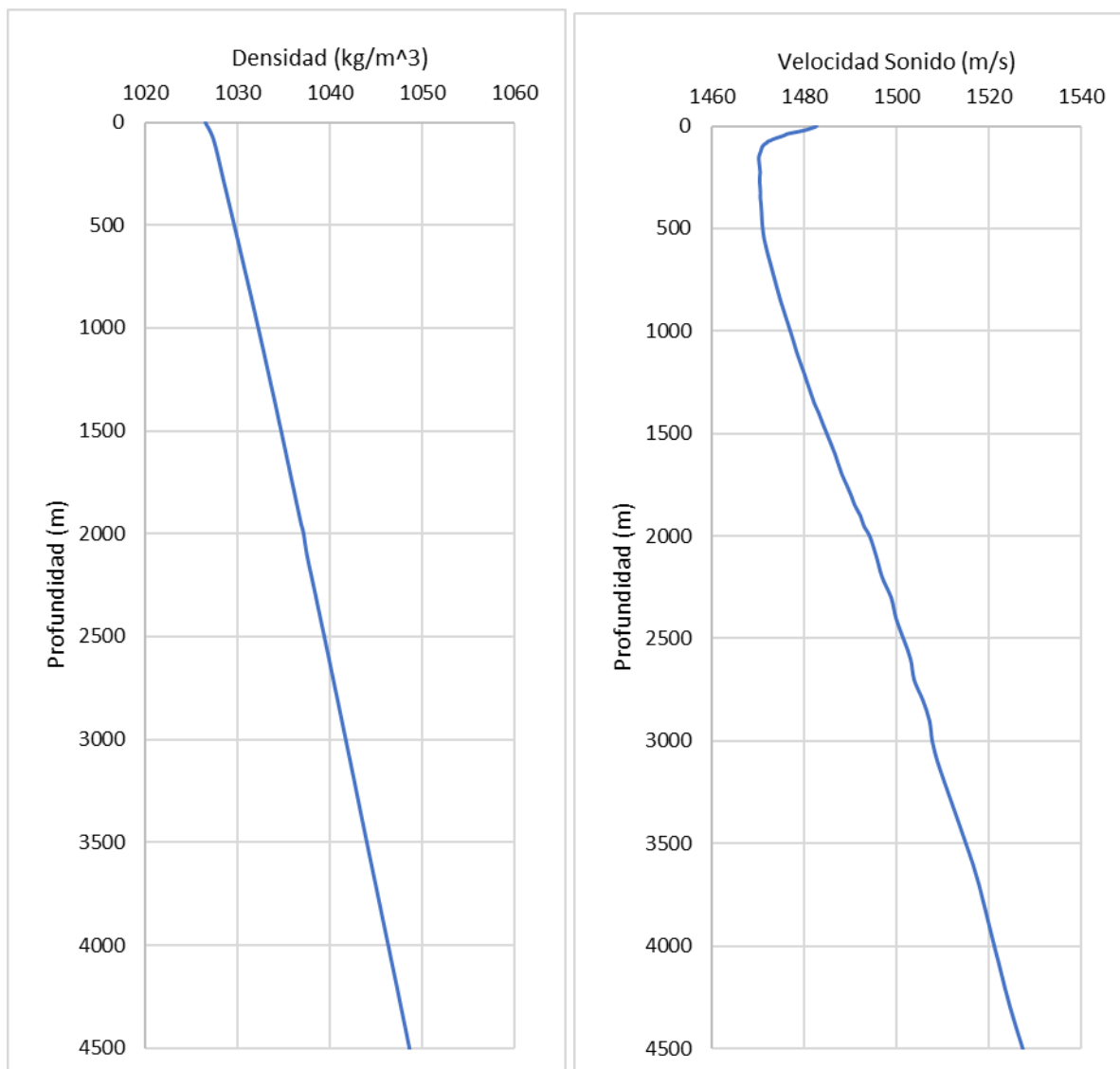


Figura 20. Perfiles de densidad (Izquierda) y velocidad del sonido (derecha), correspondientes a los meses de septiembre, octubre y noviembre. Áreas CAN 100 y CAN 108.

3.2.7.2 Parámetros oceanográficos del área CAN 114.

Con respecto al área CAN 114, la misma se encuentra al sur de la confluencia Brasil-Malvinas, típicamente en la región de la corriente de Malvinas.

De World Ocean Database se descargaron los perfiles de temperatura y salinidad disponibles para esta área, se los dividió por estación del año y se obtuvieron perfiles característicos.

Se muestran los resultados de la temperatura y la salinidad para los meses de diciembre, enero y febrero (Figura 21), marzo, abril y mayo (Figura 22), junio, julio y agosto (Figura 23) y septiembre, octubre y noviembre (Figura 24).

A partir de estos perfiles y utilizando la formulación de TEOS-10 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 25 se muestran los perfiles de densidad y velocidad del sonido para los meses de diciembre, enero y febrero, en la Figura 26 para marzo, abril y mayo, en la Figura 27 para junio, julio y agosto y en la Figura 28 para septiembre, octubre y noviembre.

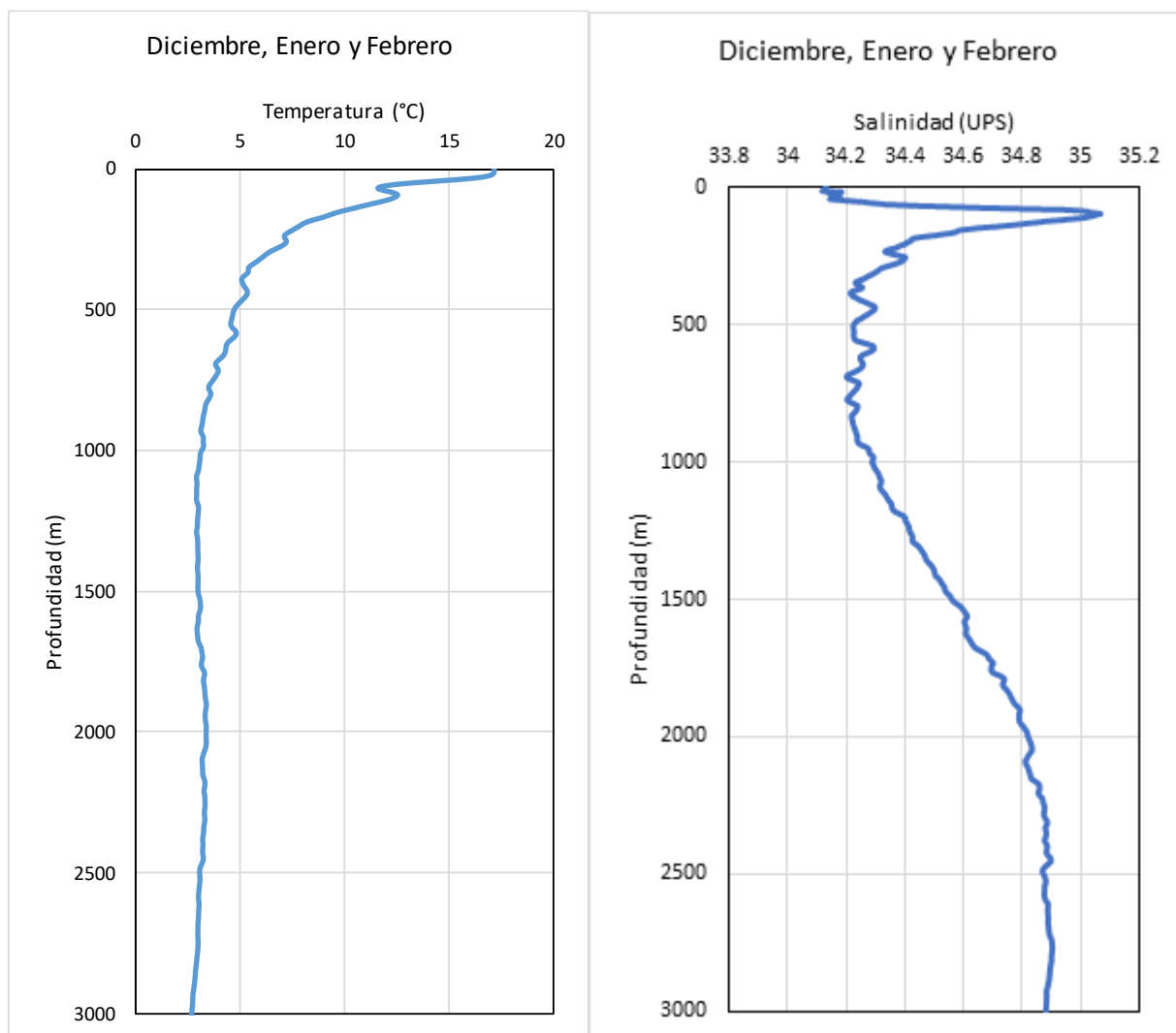


Figura 21. Perfiles de temperatura (Izquierda) y salinidad (derecha), correspondientes a los meses de diciembre, enero y febrero. Área CAN 114.



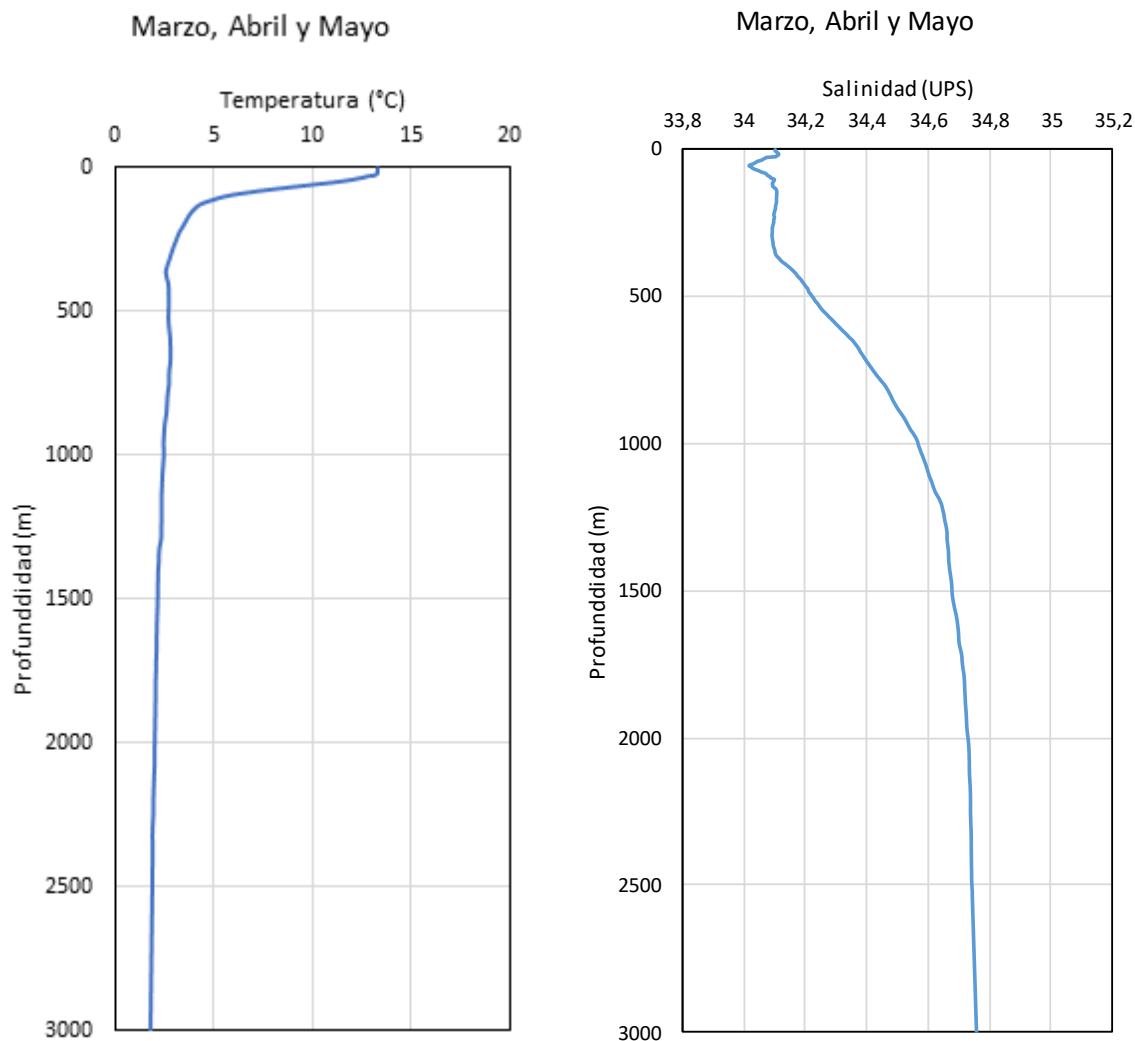


Figura 22. Perfiles de temperatura (Izquierda) y salinidad (derecha), correspondientes a los meses de marzo, abril y mayo. Área CAN 114.



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

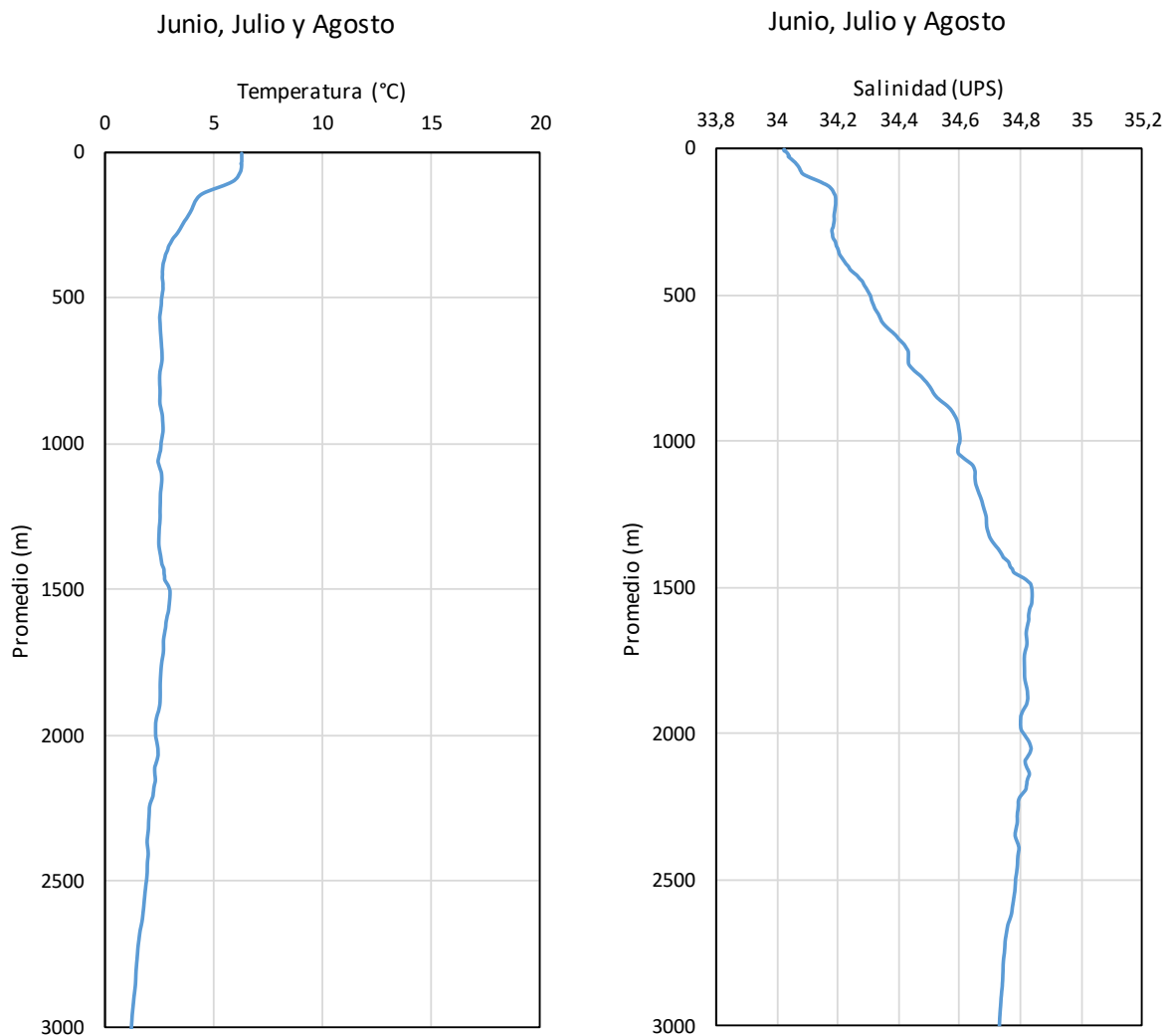


Figura 23. Perfiles de temperatura (Izquierda) y salinidad (derecha), correspondientes a junio, julio y agosto. Área CAN 114.



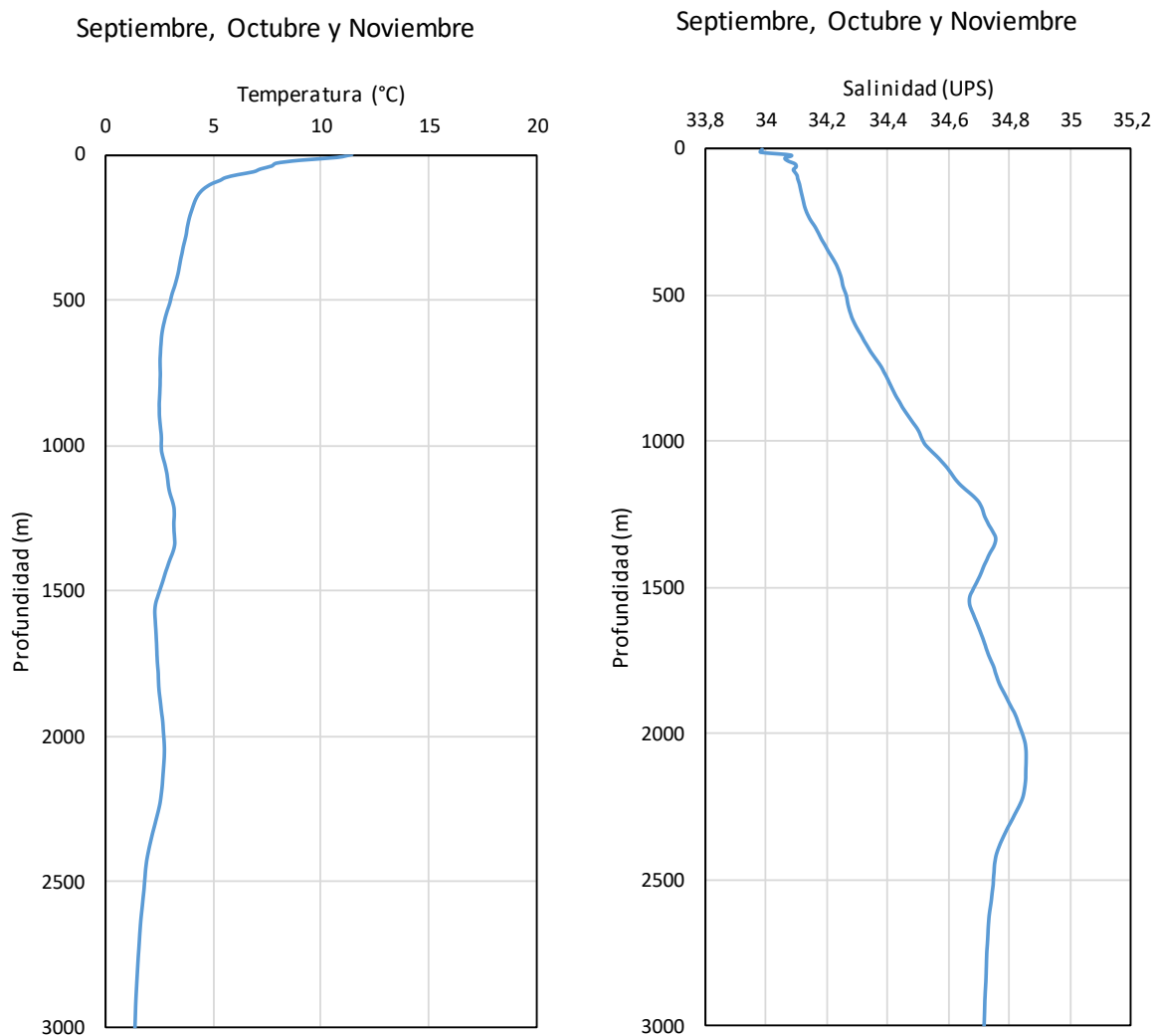


Figura 24. Perfiles de temperatura (Izquierda) y salinidad (derecha), correspondientes a septiembre, octubre y noviembre. Área CAN 114.



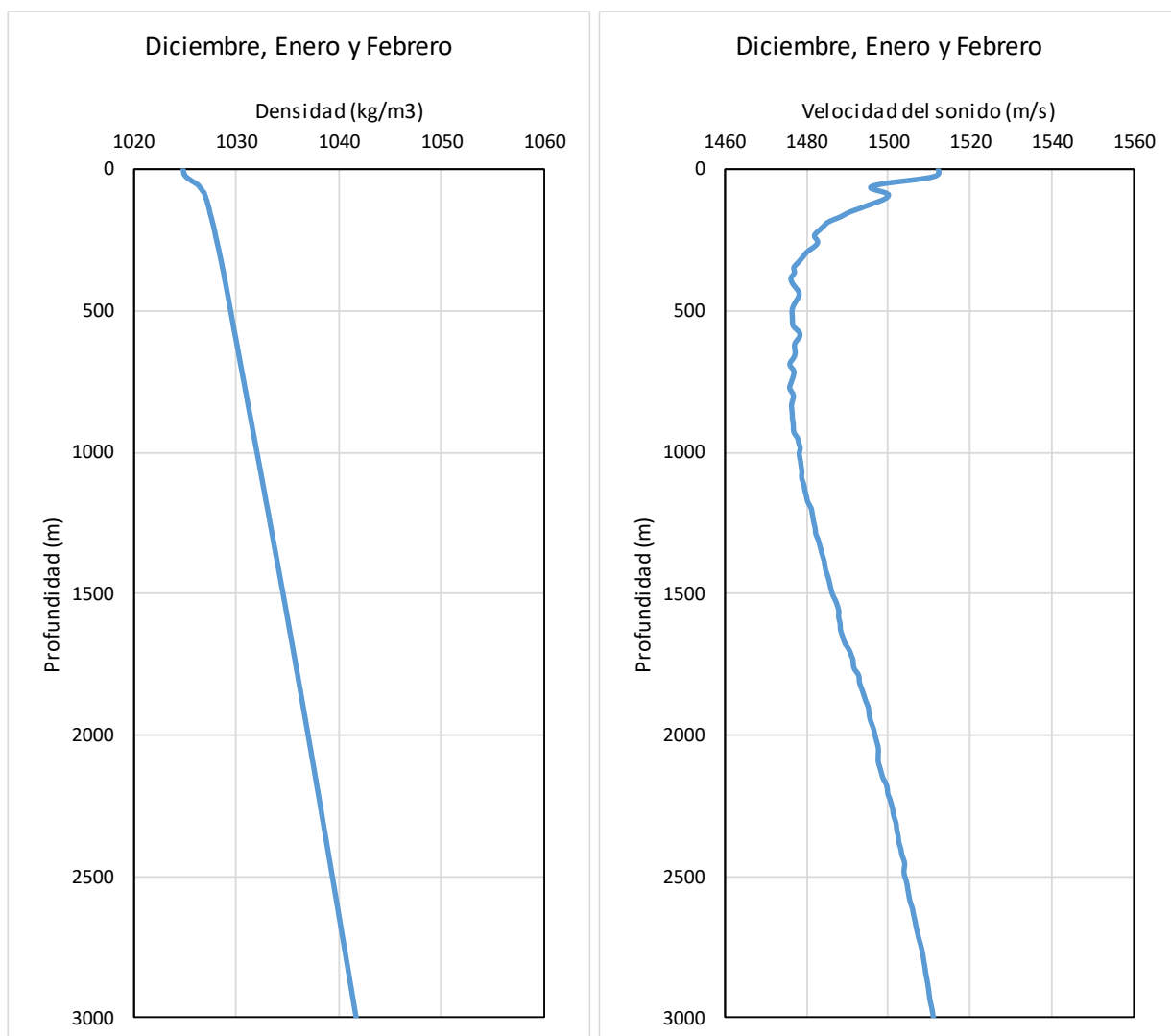


Figura 25. Perfiles de densidad (Izquierda) y velocidad del sonido (derecha), correspondientes a los meses de diciembre, enero y febrero. Área CAN 114.



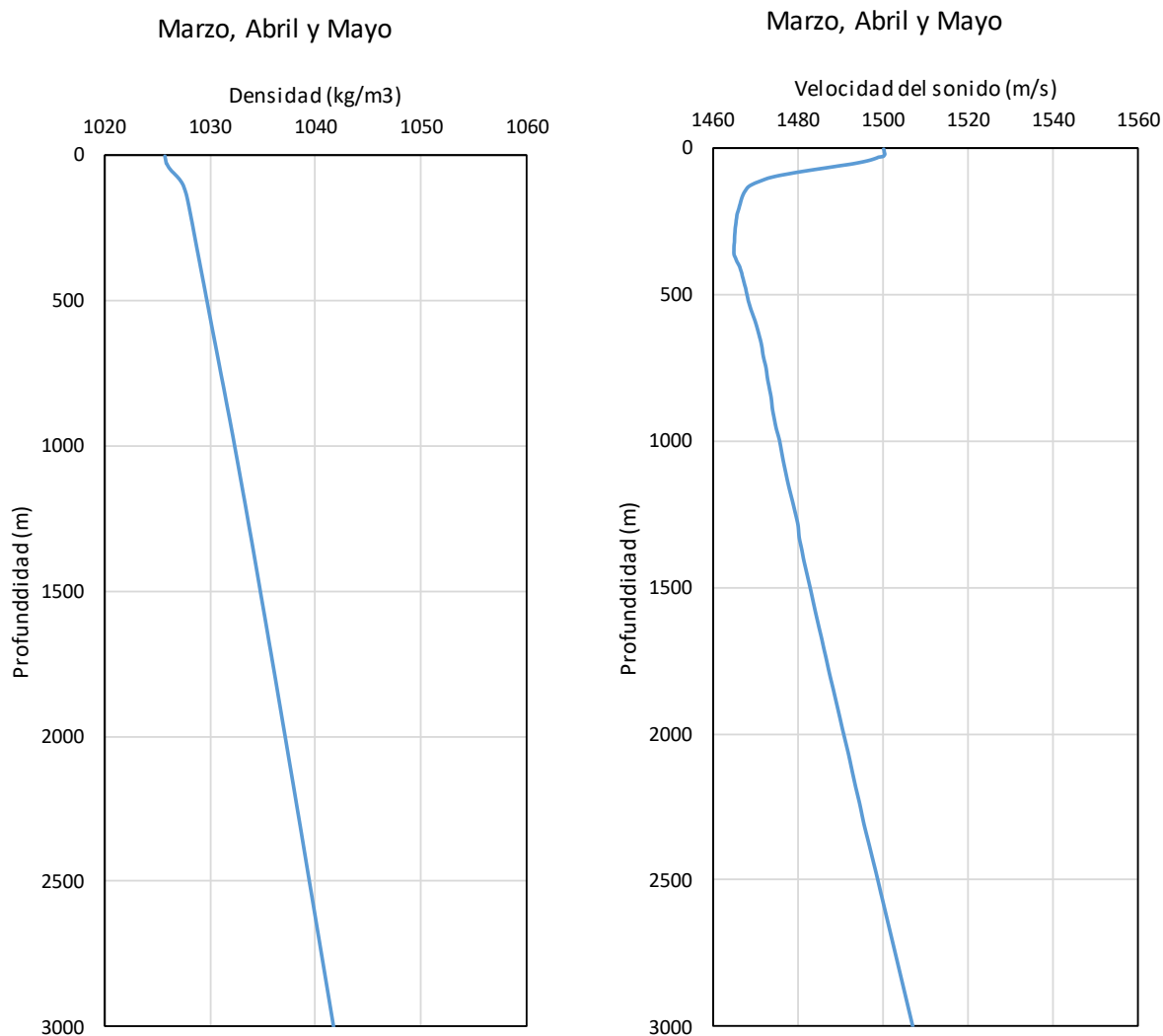


Figura 26. Perfiles de densidad (Izquierda) y velocidad del sonido (derecha), correspondientes a los meses de marzo, abril y mayo. Área CAN 114.



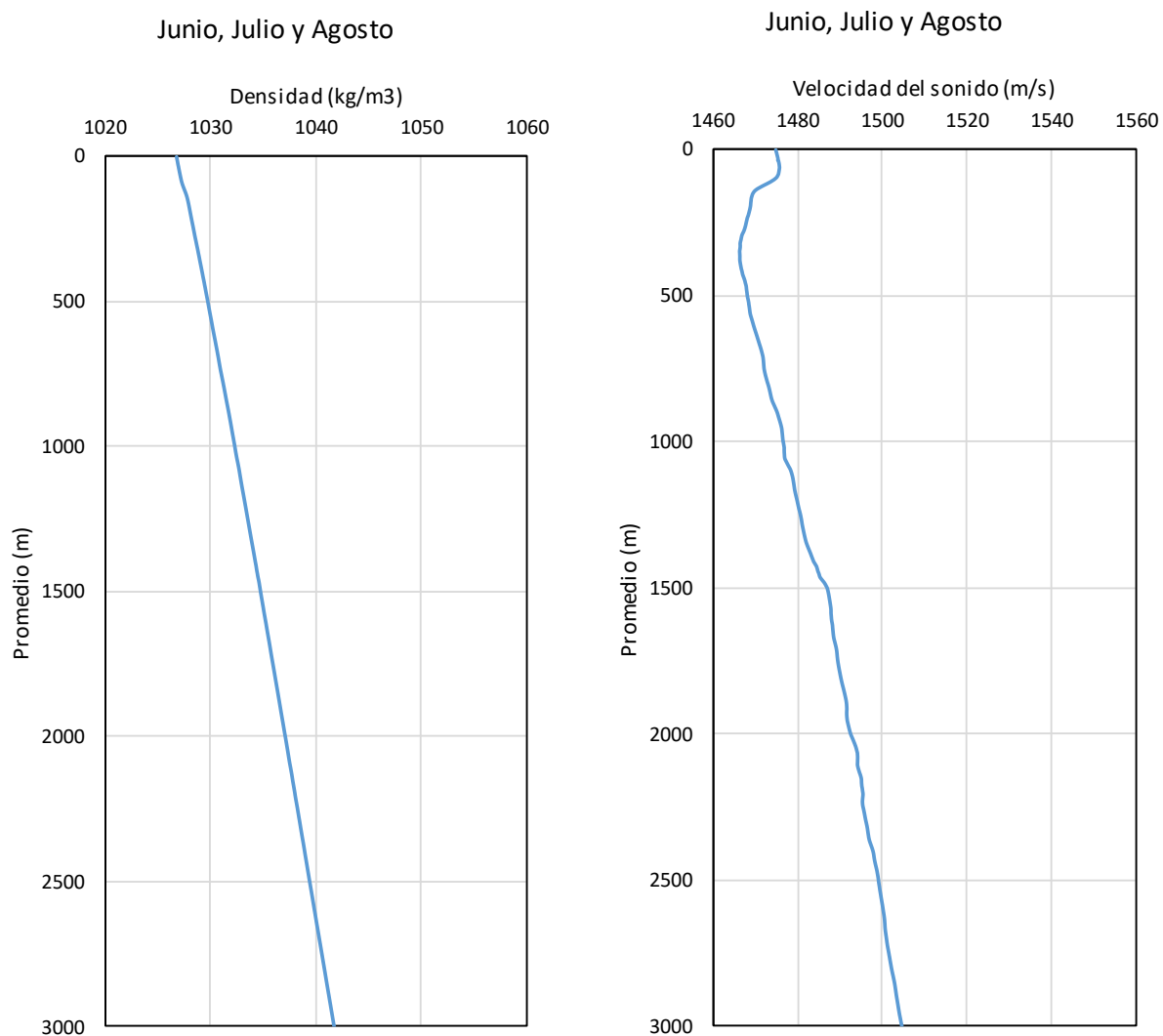


Figura 27. Perfiles de densidad (Izquierda) y velocidad del sonido (derecha), correspondientes a los meses de junio, julio y agosto. Área CAN 114.



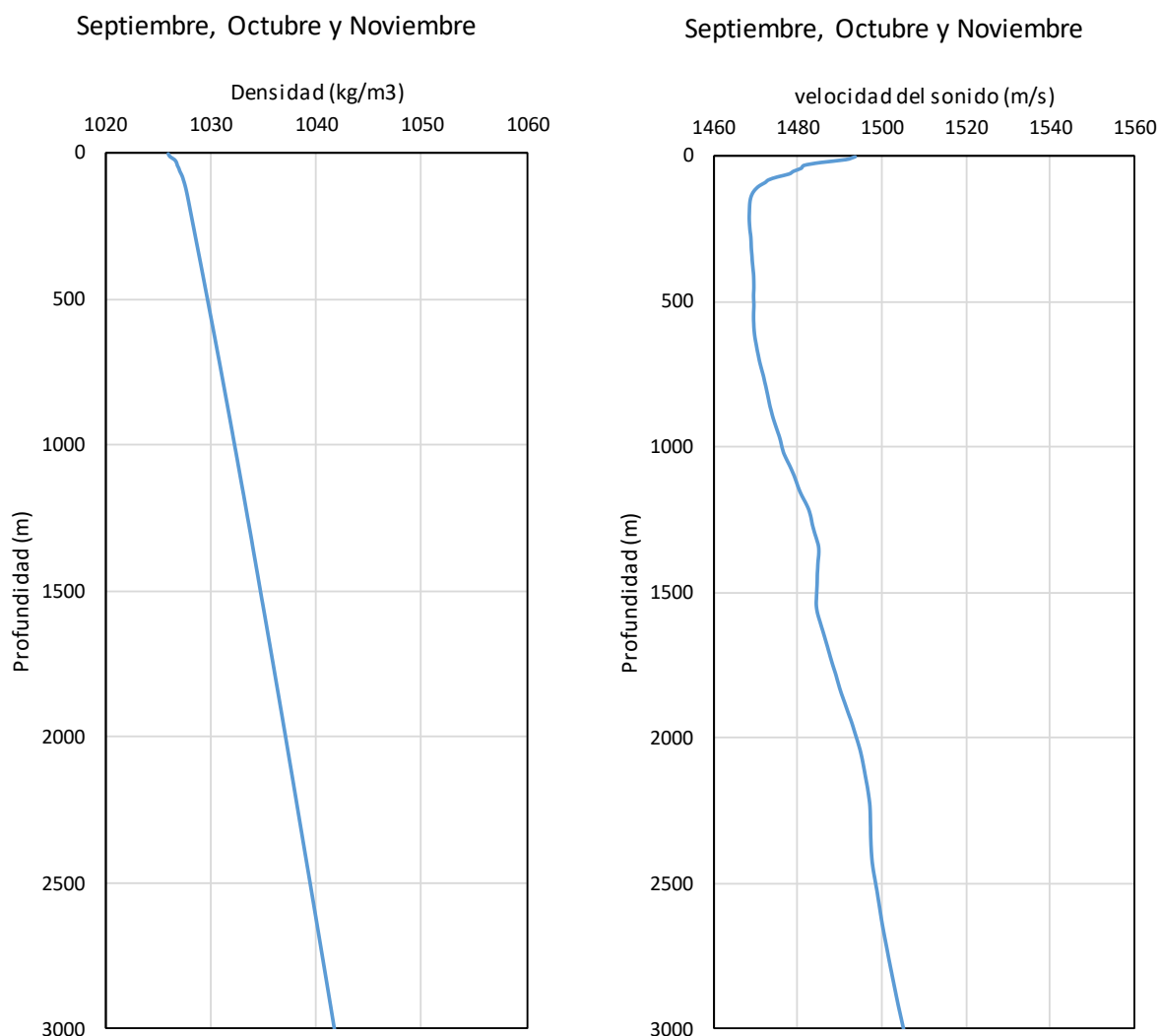


Figura 28. Perfiles de densidad (Izquierda) y velocidad del sonido (derecha), correspondientes a los meses de septiembre, octubre y noviembre. Área CAN 114.

3.2.7.3 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. 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 ($\lambda=C/f$, llamando C a la velocidad de propagación y f a la frecuencia).

3.2.7.4 Sedimentos Marinos

Los datos de sedimentos del fondo marino se obtuvieron del Atlas de Sensibilidad Ambiental de la Costa y el Mar Argentino (2008), así como de testigos de fondo extraídos en la zona de interés, información que fuera presentada en el Capítulo 5 “Línea de Base Ambiental” del presente estudio.



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.

La Figura 29 **Figura 29** presenta, tanto para las áreas CAN 100 - CAN 108 como para el área CAN 114, las texturas sedimentarias superficiales del lecho marino, junto con la ubicación de testigos de fondo extraídos en la zona en la cual el Atlas mencionado no brinda información.

La descripción del material encontrado en los testigos se presenta en la



Tabla 5.

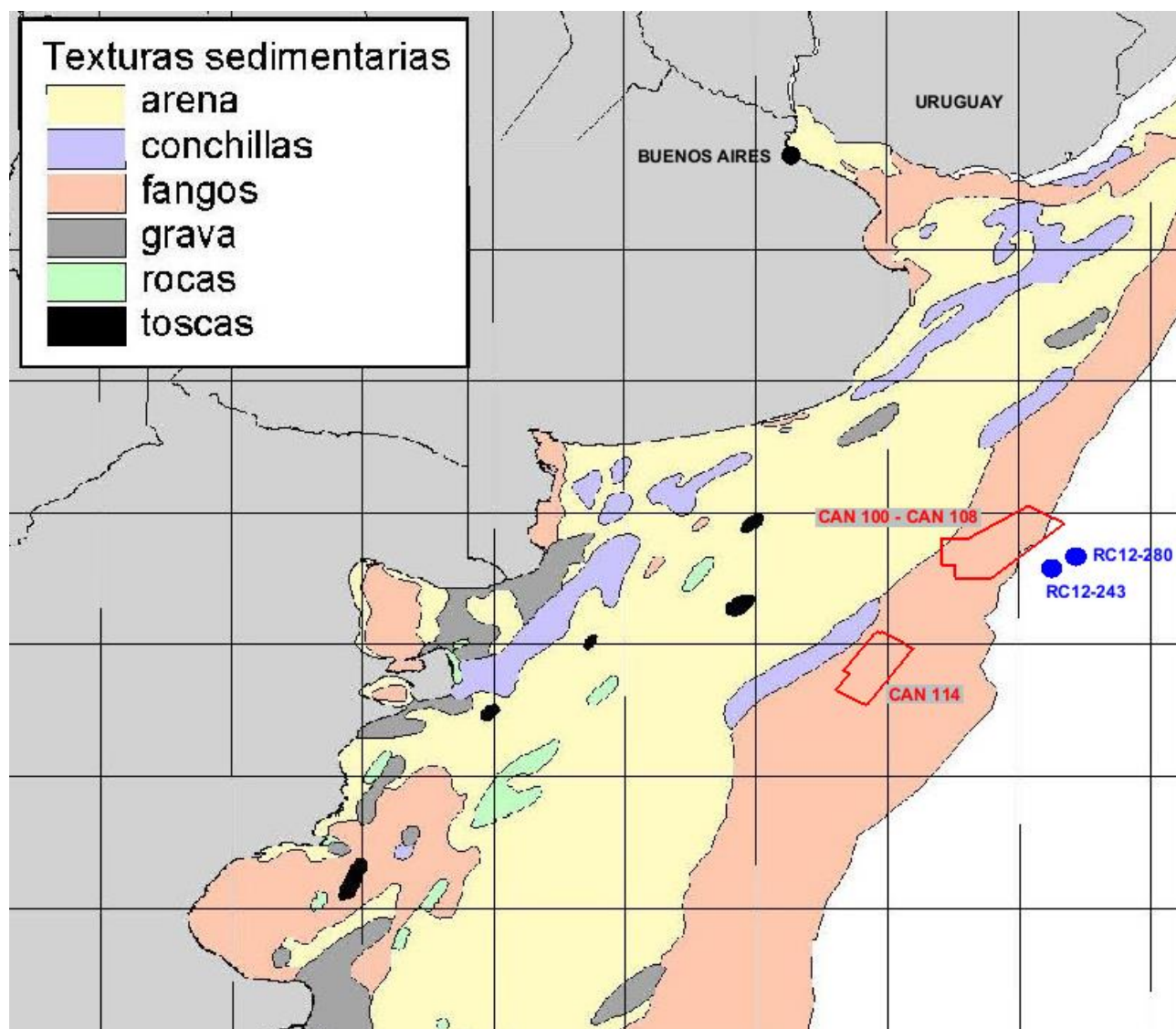


Figura 29. Cobertura sedimentaria superficial del lecho del margen continental argentino. En color rojo se indica el área de operación y de influencia directa de las áreas de las áreas CAN 100 - CAN 108 y CAN 114 y en color azul la ubicación de testigos de fondo. Fuente: Atlas de sensibilidad ambiental de la costa y el mar argentino (2008) y GeoMapApp (www.geomapapp.org).



Tabla 5. Descripción del material encontrado en los testigos. Fuente: GeoMapApp (www.geomapapp.org).

| RC12-280 (Prof. del lecho 4750 m) | RC12-243 (Prof. del lecho 4700 m) |
|-----------------------------------|---|
| 0-330 cm: arcilla arenosa | 0-127 cm: arcilla arenosa, con láminas de arena (94-95 cm, 107-108 cm y 115-116 cm) |
| 330-332 cm: arena | 127-131 cm: arena |
| 332-433 cm: arcilla arenosa | 131-567 cm: arcilla arenosa, con láminas de arena (147-148 cm, 173-177 cm, 180-182 cm, 183-187 cm, 426-429 cm y 467-469 cm) |

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 6, se muestran estos parámetros, donde p : porosidad (%), ρ_b/ρ_w : densidad del sedimento sobre densidad del agua ($\rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3$), C_p/C_w : Velocidad compresional sobre velocidad del sonido media en agua ($C_w = 1500 \text{ m/s}$), 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.

Tabla 6. 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 las áreas de exploración el material predominante es fango, el cual es una acumulación de limos y fangos marinos.

Según Hamilton (1979) para este tipo de materiales se puede emplear la siguiente ecuación para estimar la velocidad de corte:

$$C_s = 116 + 4,65 z$$

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 $z = 15$ metros para el cálculo de C_s 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.

En el sector Oeste del área operativa del relevamiento de CAN 100 y CAN 108 se hallan también arenas, por lo que se analizará también la influencia de este material en la propagación del sonido en esa dirección.

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 en CAN 114 y CAN 100 - CAN 108, la corriente predominante en CAN 100 - CAN 108, el tipo de suelos en CAN 100 - CAN 108 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 7 se presenta el análisis de sensibilidad con respecto a la frecuencia, a la Estación del año y al tipo de suelo predominante en las áreas CAN 100 y CAN 108, considerando la profundidad menor del entorno del área operativa (900 m) y una verificación para la profundidad más alta (4.100 m).

En la Tabla 8 se presenta el análisis de sensibilidad con respecto a la corriente predominante en las áreas CAN 100 y CAN 108 y al tipo de suelo en las áreas CAN 100 y CAN 108, considerando la profundidad menor del entorno del área operativa (900 m) y una verificación para la profundidad más alta (4.100 m).

En la Tabla 9 se presenta el análisis de sensibilidad con respecto a la frecuencia y a la Estación del año en el área CAN 114, considerando la profundidad más baja del área operativa (1.300 m) y una verificación para la mayor profundidad presente en la mayor parte del borde Este de esta área, que es del orden de 3.000 m.

Cada tabla incluye la nomenclatura de la simulación, 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 muy altas (VHF), 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 alcanza al metro.

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 para CAN 100 y CAN 108 (ver Figura 33) como para CAN 114 (ver Figura 43).

Tabla 7. Síntesis de simulaciones de sensibilidad a la Estación del año y al tipo de material del lecho realizadas para CAN 100 y CAN 108, 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

Tipo de Suelo Fango

| Nomenclatura | Profundidad Adoptada (m) | Estación del Año | Frecuencia (Hz) | Distancia TTS VHF (m) | Distancia TTS VHF (m) |
|-------------------|--------------------------|------------------|-----------------|-----------------------|-----------------------|
| Modelo: | | | | Bellhop | RAMS |
| 100/108-Pmin-V-05 | 900 | Verano | 5 | 50 | 130 |
| 100/108-Pmin-V-50 | 900 | Verano | 50 | 400 | 410 |
| 100/108-Pmin-V-80 | 900 | Verano | 80 | 500 | 540 |
| 100/108-Pmin-O-80 | 900 | Otoño | 80 | 500 | 520 |
| 100/108-Pmin-I-80 | 900 | Invierno | 80 | 490 | 500 |
| 100/108-Pmin-P-80 | 900 | Primavera | 80 | 500 | 510 |
| 100/108-Pmax-V-80 | 4.100 | Verano | 80 | 470 | 480 |
| 100/108-Pmax-O-80 | 4.100 | Otoño | 80 | 470 | 470 |
| 100/108-Pmax-I-80 | 4.100 | Invierno | 80 | 470 | 460 |
| 100/108-Pmax-P-80 | 4.100 | Primavera | 80 | 470 | 460 |

Tipo de Suelo Arenas

| Nomenclatura | Profundidad Adoptada (m) | Estación del Año | Frecuencia (Hz) | Distancia TTS VHF (m) | Distancia TTS VHF (m) |
|---------------------|--------------------------|------------------|-----------------|-----------------------|-----------------------|
| Modelo: | | | | Bellhop | RAMS |
| 100/108-A-Pmin-V-50 | 900 | Verano | 5 | 50 | 130 |
| 100/108-A-Pmin-V-50 | 900 | Verano | 50 | 410 | 510 |
| 100/108-A-Pmin-V-80 | 900 | Verano | 80 | 560 | 610 |
| 100/108-A-Pmin-O-80 | 900 | Otoño | 80 | 560 | 610 |
| 100/108-A-Pmin-I-80 | 900 | Invierno | 80 | 550 | 560 |
| 100/108-A-Pmin-P-80 | 900 | Primavera | 80 | 560 | 570 |
| 100/108-A-Pmax-V-80 | 4.100 | Verano | 80 | 470 | 470 |



Tabla 8. Síntesis de simulaciones de sensibilidad a las Corrientes Marinas y al tipo de material del lecho realizadas para CAN 100 y CAN 108, 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

Tipo de Suelo Fango

| Nomenclatura | Profundidad Adoptada (m) | Condición de convergencia de corrientes | Frecuencia (Hz) | Distancia TTS VHF (m) | Distancia TTS VHF (m) |
|--------------------|--------------------------|---|-----------------|-----------------------|-----------------------|
| Modelo: | | | | Bellhop | RAMS |
| 100/108-Pmin-CB-80 | 900 | Corriente Brasil | 80 | 500 | 510 |
| 100/108-Pmin-CM-80 | 900 | Corriente Malvinas | 80 | 500 | 510 |
| 100/108-Pmax-CB-80 | 4.100 | Corriente Brasil | 80 | 470 | 460 |
| 100/108-Pmax-CM-80 | 4.100 | Corriente Malvinas | 80 | 470 | 460 |

Tipo de Suelo Arenas

| Nomenclatura | Profundidad Adoptada (m) | Condición de convergencia de corrientes | Frecuencia (Hz) | Distancia TTS VHF (m) | Distancia TTS VHF (m) |
|----------------------|--------------------------|---|-----------------|-----------------------|-----------------------|
| Modelo: | | | | Bellhop | RAMS |
| 100/108-A-Pmin-CB-80 | 900 | Corriente Brasil | 80 | 550 | 570 |
| 100/108-A-Pmin-CM-80 | 900 | Corriente Malvinas | 80 | 550 | 570 |
| 100/108-A-Pmax-CB-80 | 4.100 | Corriente Brasil | 80 | 470 | 460 |
| 100/108-A-Pmax-CM-80 | 4.100 | Corriente Malvinas | 80 | 470 | 460 |

Tabla 9. Síntesis de simulaciones de sensibilidad a la Estación del año realizadas para CAN 114 (suelos tipo fango), 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

| Nomenclatura | Profundidad Adoptada (m) | Estación del Año | Frecuencia (Hz) | Distancia TTS VHF (m) | Distancia TTS VHF (m) |
|---------------|--------------------------|------------------|-----------------|-----------------------|-----------------------|
| Modelo | | | | Bellhop | RAMS |
| 114-Pmin-V-05 | 1.300 | Verano | 5 | 50 | 100 |
| 114-Pmin-V-50 | 1.300 | Verano | 50 | 370 | 390 |
| 114-Pmin-V-80 | 1.300 | Verano | 80 | 500 | 510 |
| 114-Pmin-O-80 | 1.300 | Otoño | 80 | 490 | 500 |
| 114-Pmin-I-80 | 1.300 | Invierno | 80 | 480 | 490 |
| 114-Pmin-P-80 | 1.300 | Primavera | 80 | 490 | 500 |
| 114-Pmax-V-80 | 3.000 | Verano | 80 | 470 | 470 |

La evaluación de la influencia de las diferentes condiciones de velocidad del sonido, correspondientes a las corrientes de Malvinas y de Brasil para CAN 108 (ver Figura 42), indica que si bien dentro de un rango espacial de 10 metros y considerando el valor umbral TTS para VHF todos los resultados son similares, resulta ligeramente más conservativo el escenario de corriente de Malvinas en el rango de distancias de interés. En la misma figura se puede apreciar también que para la mayor profundidad en el rango de distancias de interés se produce una menor atenuación.



La evaluación de la influencia de las diferentes condiciones de velocidad del sonido, correspondientes a las diferentes estaciones del año para CAN 114 (ver Figura 44), indica que, si bien hay escasa diferencia en todas las estaciones, resulta ligeramente más conservativo el escenario de primavera para los dos modelos empleados. La influencia de la profundidad en la atenuación del sonido también es reducida.

En relación con el tipo de suelo, teniendo en cuenta que si bien la mayor parte de las áreas CAN 100 y CAN 108 presentan fangos en el lecho marino, existen arenas en zonas poco profundas hacia el Oeste, y también se han detectado lentes de arena al Este en los testigos disponibles de la zona más profunda, se ha considerado la condición más conservativa para toda la zona a relevar, que es la correspondiente a lecho de arena. Se consideraron además los resultados que presentan menor pérdida de transmisión, es decir, mayores distancias para alcanzar una dada atenuación en dB, los cuales corresponden al modelo RAMS. Cabe mencionar que de todas formas, las diferencias en las distancias a las cuales se alcanza el umbral TTS para cetaceos de frecuencias muy altas son de solo unas decenas de metros entre ambos modelos.

La Pérdida de Transmisión envolvente mínima en las áreas CAN 100 y CAN 108 para suelos tipo fango y arena correspondiente a todas las modelaciones para las profundidades extremas y para ambos tipos de suelo se presenta en la Figura 30 y en la Figura 31, comparada con las pérdidas geométricas por dispersión esférica, intermedia y cilíndrica. Se puede apreciar que el resultado se encuentra comprendido entre las condiciones de dispersión esférica e intermedia.

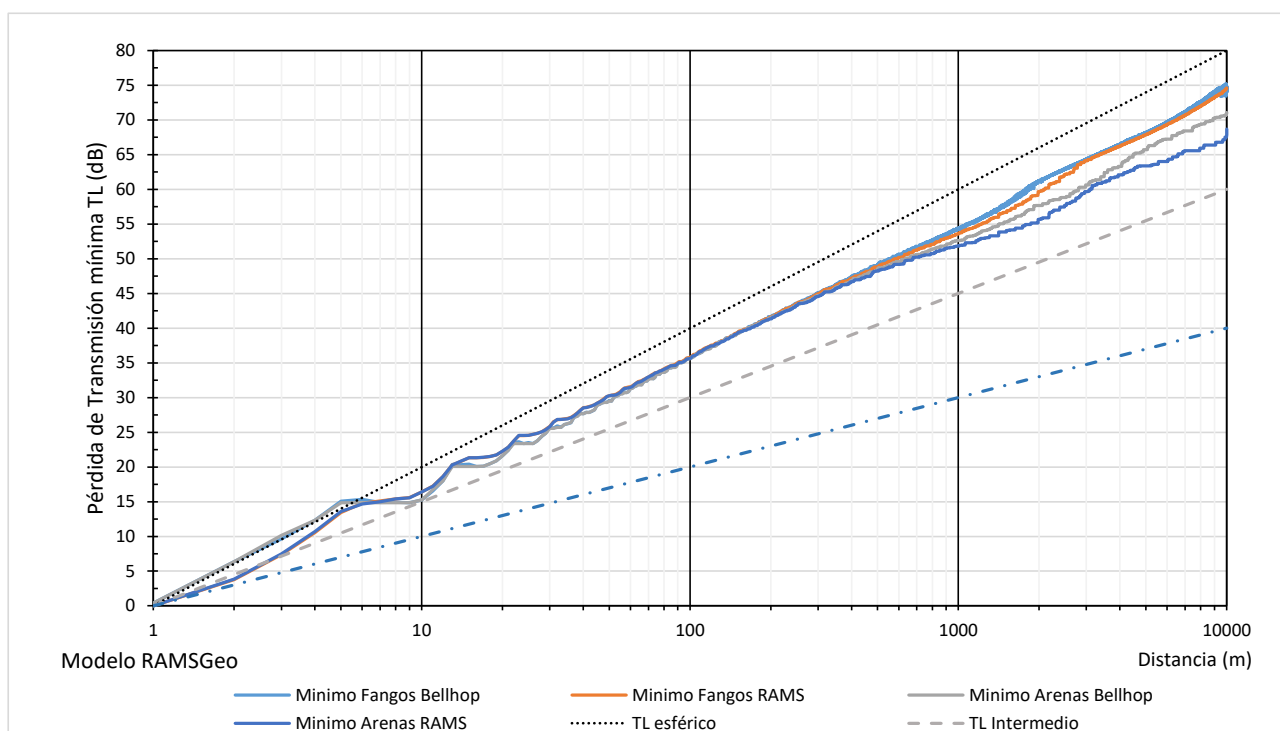


Figura 30. Pérdida de la Transmisión Teórica (TL) del sonido en función de la distancia al punto de emisión (comparación de valores mínimos). Áreas CAN 100 y CAN 108



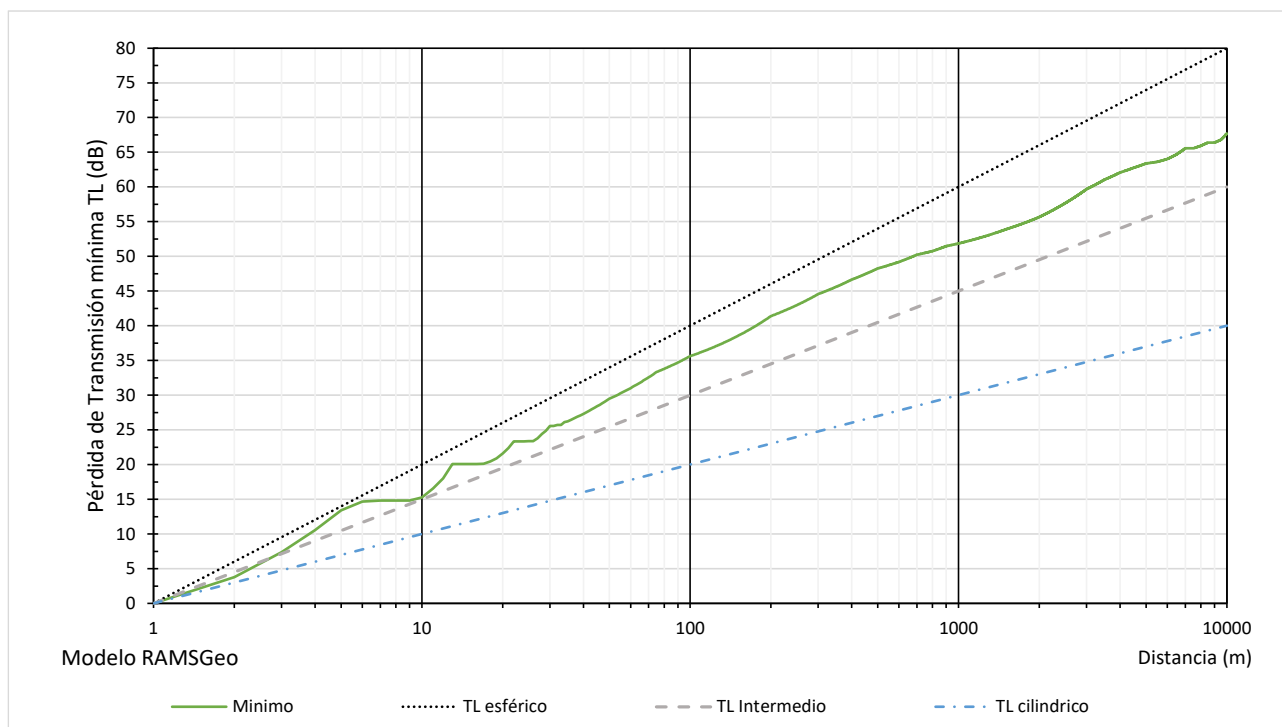


Figura 31. Pérdida de la Transmisión Teórica (TL) del sonido en función de la distancia al punto de emisión (Envoltorio de valores mínimos suavizada). Áreas CAN 100 y CAN 108

La Pérdida de Transmisión envoltorio mínima en el área CAN 114 para suelos tipo fango se presenta en la Figura 32 (suavizando leves oscilaciones), comparada con las pérdidas geométricas por dispersión esférica, intermedia y cilíndrica.

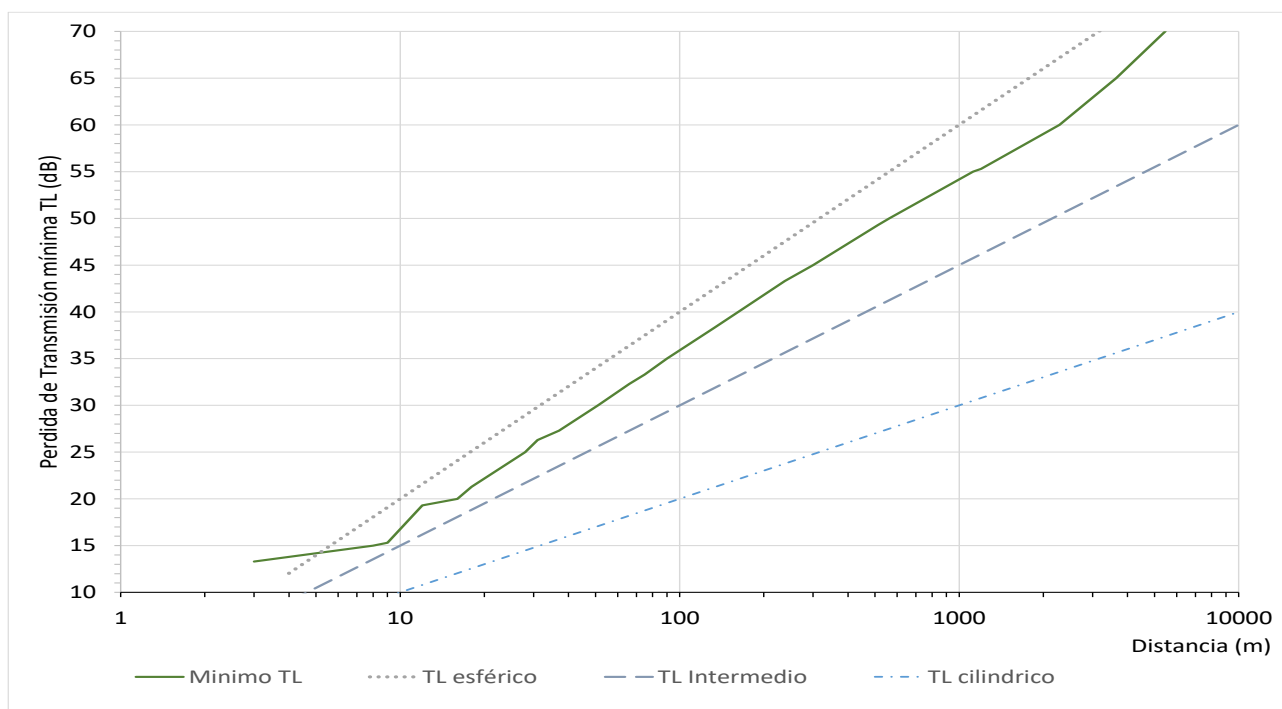


Figura 32. Pérdida de la Transmisión Teórica (TL) del sonido en función de la distancia al punto de emisión (Envoltorio de valores mínimos suavizada). Área CAN 114



Los resultados obtenidos para CAN 100 y CAN 108 se presentan en la Tabla 10 clasificados por Grupo Auditivo y en la Tabla 11 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 610 metros de la fuente, seguida de la pérdida auditiva permanente (PTS) de los mismos mamíferos, cuyo umbral se alcanza a unos 260 metros.

En el caso de las ballenas, que son cetáceos de frecuencia auditiva baja (LF), el umbral de TTS se alcanza a casi 70 metros de distancia de la fuente, y el de PTS se alcanza a 35 metros.

El umbral correspondiente al Límite convencional de afectación se alcanza a 1.900 metros de la fuente.

Los resultados obtenidos para CAN 114 se presentan en la Tabla 12 clasificados por Grupo Auditivo y en la Tabla 13 se ordenan por distancia a la fuente de emisión. Estos resultados son similares a los de las áreas anteriores, aunque las distancias a las que se alcanzan los umbrales son ligeramente menores.

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 510 metros de la fuente, seguida de la pérdida auditiva permanente (PTS) de los mismos mamíferos, cuyo umbral se alcanza a unos 240 metros.

En el caso de las ballenas, de frecuencia auditiva baja (LF), el umbral de TTS se alcanza a los 66 metros de distancia de la fuente, y el de PTS se alcanza a unos 31 metros.

El umbral correspondiente al Límite convencional de afectación se alcanza a 1.200 metros de la fuente.



Tabla 10. Síntesis de Distancias a la fuente para alcanzar la Pérdida de Transmisión correspondiente a los diversos umbrales y grupos auditivos evaluados. Áreas CAN 100 y CAN 108

| Grupo Auditivo | SPL pK (0-p) (dB re 1 μ Pa) | TL necesario (dB) | Distancia (m) |
|-----------------------------------|------------------------------------|----------------------|------------------|
| PTS - LF | 219 | 26,3 | 35 |
| PTS - HF | 230 | 15,3 | 10 |
| PTS - VHF | 202 | 43,3 | 260 |
| PTS - PW | 218 | 27,3 | 39 |
| PTS - PO | 232 | 13,3 | 4 |
| Peces SIN vejiga natatoria | 213 | 32,3 | 68 |
| Peces CON vejiga natatoria | 207 | 38,3 | 150 |
| TTS - LF | 213 | 32,3 | 68 |
| TTS - HF | 224 | 21,3 | 19 |
| TTS - VHF | 196 | 49,3 | 610 |
| TTS - PW | 212 | 33,3 | 74 |
| TTS - PO | 226 | 19,3 | 12 |
| Limite convencional de afectación | 190 | 55,3 | 1.900 |

Tabla 11. Síntesis de Distancias a la fuente ordenadas para alcanzar la Pérdida de Transmisión correspondiente a los diversos umbrales y grupos auditivos evaluados. Áreas CAN 100 y CAN 108

| Grupo Auditivo | SPL pK (0-p) (dB re 1 μ Pa) | TL necesario (dB) | Distancia (m) |
|-----------------------------------|------------------------------------|----------------------|------------------|
| PTS - PO | 232 | 13,3 | 4 |
| PTS - HF | 230 | 15,3 | 10 |
| TTS - PO | 226 | 19,3 | 12 |
| TTS - HF | 224 | 21,3 | 19 |
| PTS - LF | 219 | 26,3 | 35 |
| PTS - PW | 218 | 27,3 | 39 |
| Peces SIN vejiga natatoria | 213 | 32,3 | 68 |
| TTS - LF | 213 | 32,3 | 68 |
| TTS - PW | 212 | 33,3 | 74 |
| Peces CON vejiga natatoria | 207 | 38,3 | 150 |
| PTS - VHF | 202 | 43,3 | 260 |
| TTS - VHF | 196 | 49,3 | 610 |
| Limite convencional de afectación | 190 | 55,3 | 1.900 |



Tabla 12. Síntesis de Distancias a la fuente para alcanzar la Pérdida de Transmisión correspondiente a los diversos umbrales y grupos auditivos evaluados. Área CAN 114

| Grupo Auditivo | SPL pK (0-p) (dB re 1 μ Pa) | TL necesario (dB) | Distancia (m) |
|-----------------------------------|------------------------------------|----------------------|------------------|
| PTS - LF | 219 | 26,3 | 31 |
| PTS - HF | 230 | 15,3 | 9 |
| PTS - VHF | 202 | 43,3 | 240 |
| PTS - PW | 218 | 27,3 | 37 |
| PTS - PO | 232 | 13,3 | 3 |
| Peces SIN vejiga natatoria | 213 | 32,3 | 66 |
| Peces CON vejiga natatoria | 207 | 38,3 | 130 |
| TTS - LF | 213 | 32,3 | 66 |
| TTS - HF | 224 | 21,3 | 18 |
| TTS - VHF | 196 | 49,3 | 510 |
| TTS - PW | 212 | 33,3 | 75 |
| TTS - PO | 226 | 19,3 | 12 |
| Limite convencional de afectación | 190 | 55,3 | 1.200 |

Tabla 13. Síntesis de Distancias a la fuente ordenadas para alcanzar la Pérdida de Transmisión correspondiente a los diversos umbrales y grupos auditivos evaluados. Área CAN 114

| Grupo Auditivo | SPL pK (0-p) (dB re 1 μ Pa) | TL necesario (dB) | Distancia (m) |
|-----------------------------------|------------------------------------|----------------------|------------------|
| PTS - PO | 232 | 13,3 | 3 |
| PTS - HF | 230 | 15,3 | 9 |
| TTS - PO | 226 | 19,3 | 12 |
| TTS - HF | 224 | 21,3 | 18 |
| PTS - LF | 219 | 26,3 | 31 |
| PTS - PW | 218 | 27,3 | 37 |
| Peces SIN vejiga natatoria | 213 | 32,3 | 66 |
| TTS - LF | 213 | 32,3 | 66 |
| TTS - PW | 212 | 33,3 | 75 |
| Peces CON vejiga natatoria | 207 | 38,3 | 130 |
| PTS - VHF | 202 | 43,3 | 240 |
| TTS - VHF | 196 | 49,3 | 510 |
| Limite convencional de afectación | 190 | 55,3 | 1.200 |



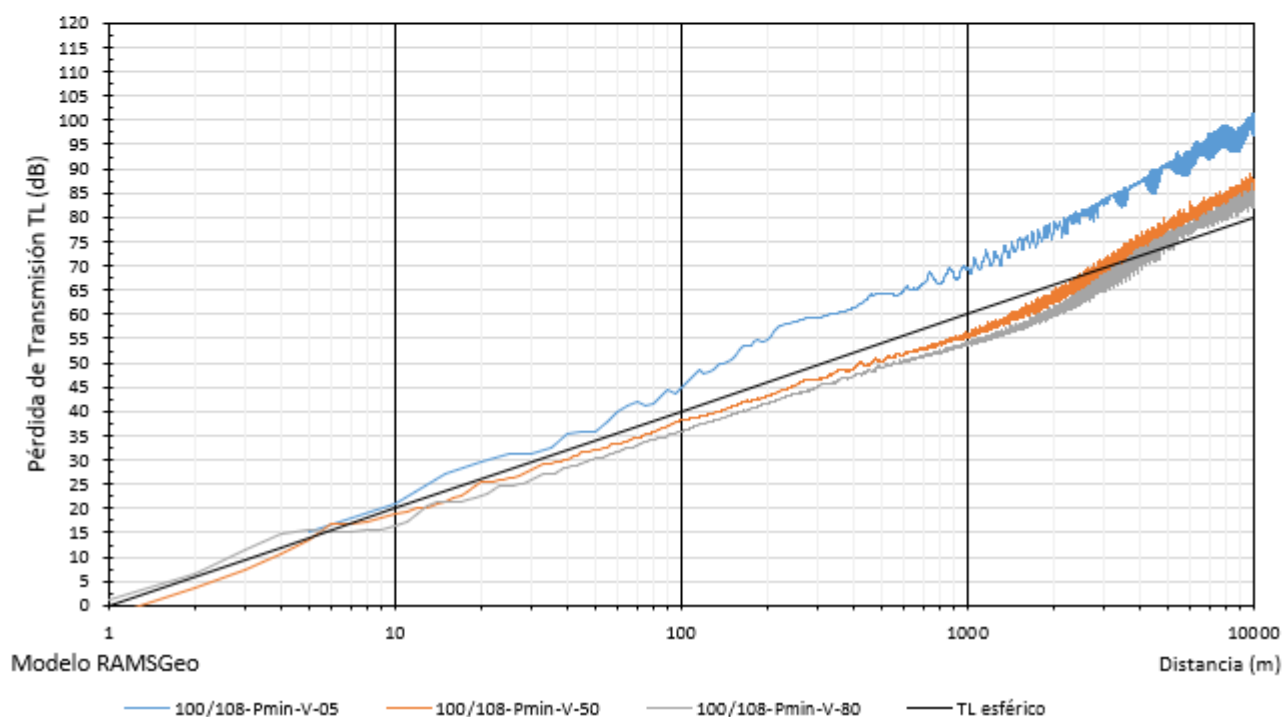
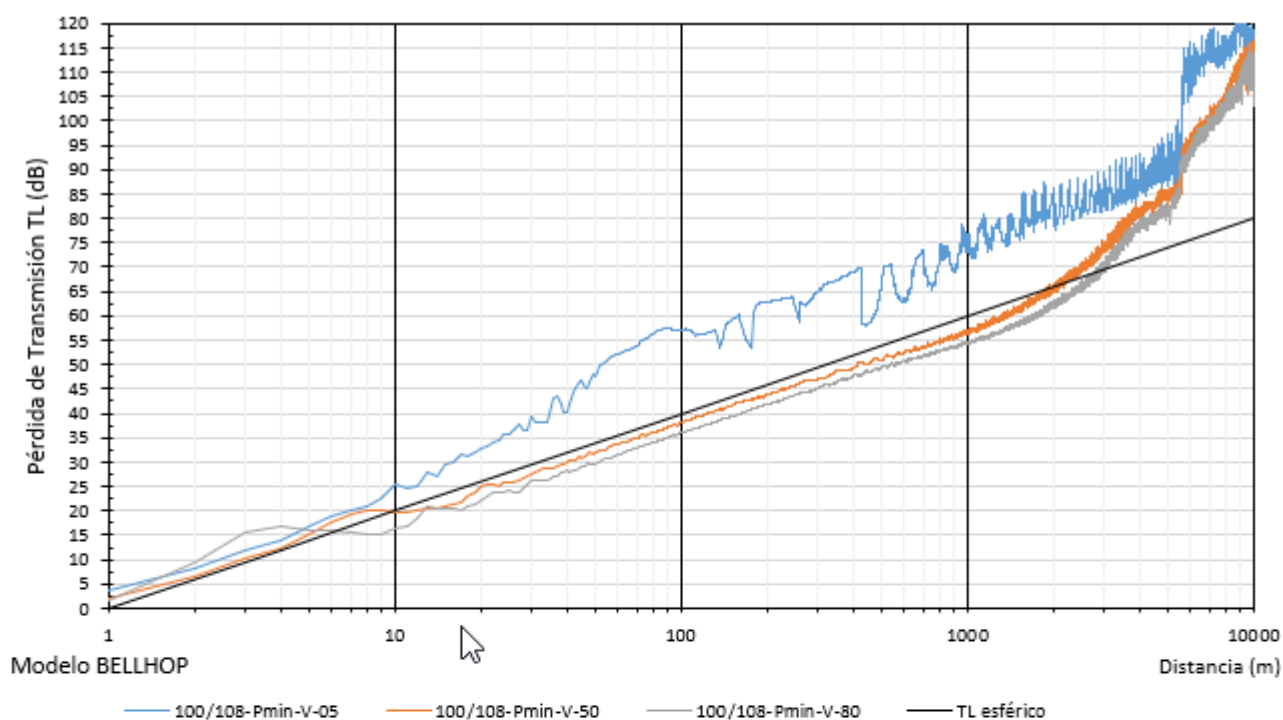


Figura 33. Pérdida de la Transmisión Teórica (TL) mínima del sonido en función de la distancia al punto de emisión. CAN 100 y CAN 108. Suelo tipo Fangos. Verano. Sensibilidad a la frecuencia.



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

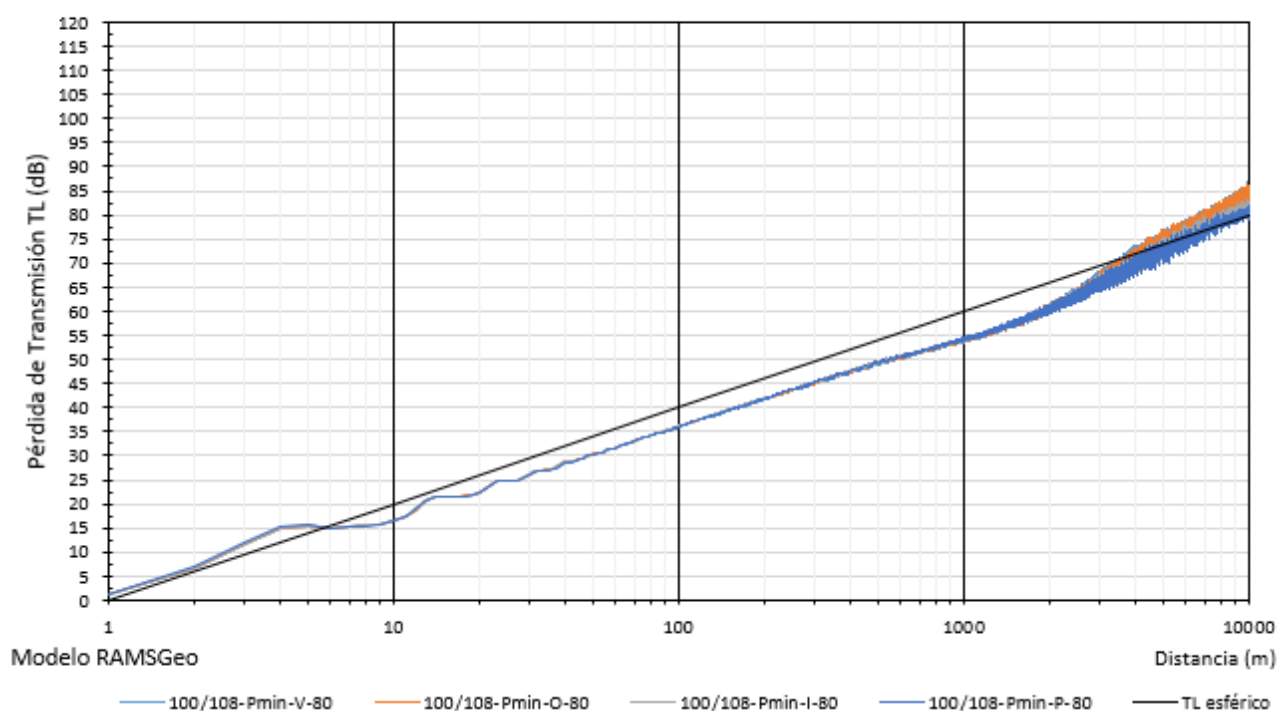
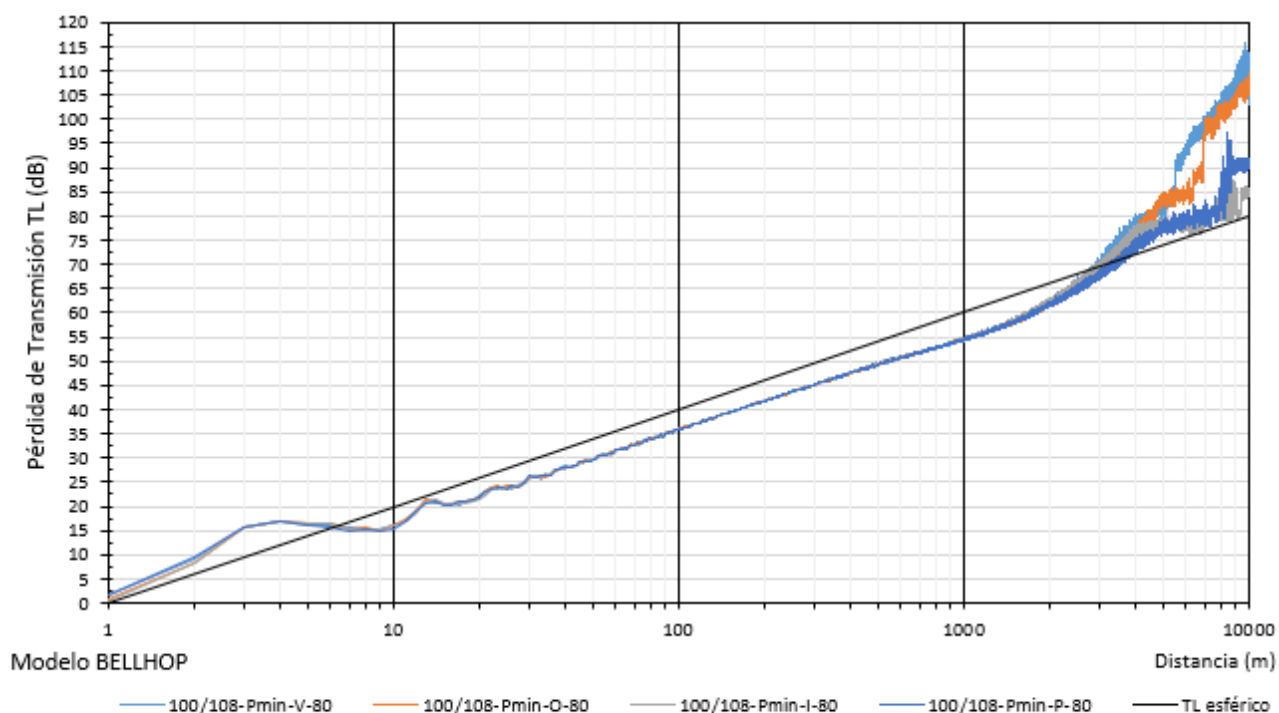


Figura 34. Pérdida de la Transmisión Teórica (TL) del sonido mínima en función de la distancia al punto de emisión. CAN 100 y CAN 108. Suelo tipo Fangos. Profundidad mínima. Sensibilidad a la velocidad del sonido según la Estación del año



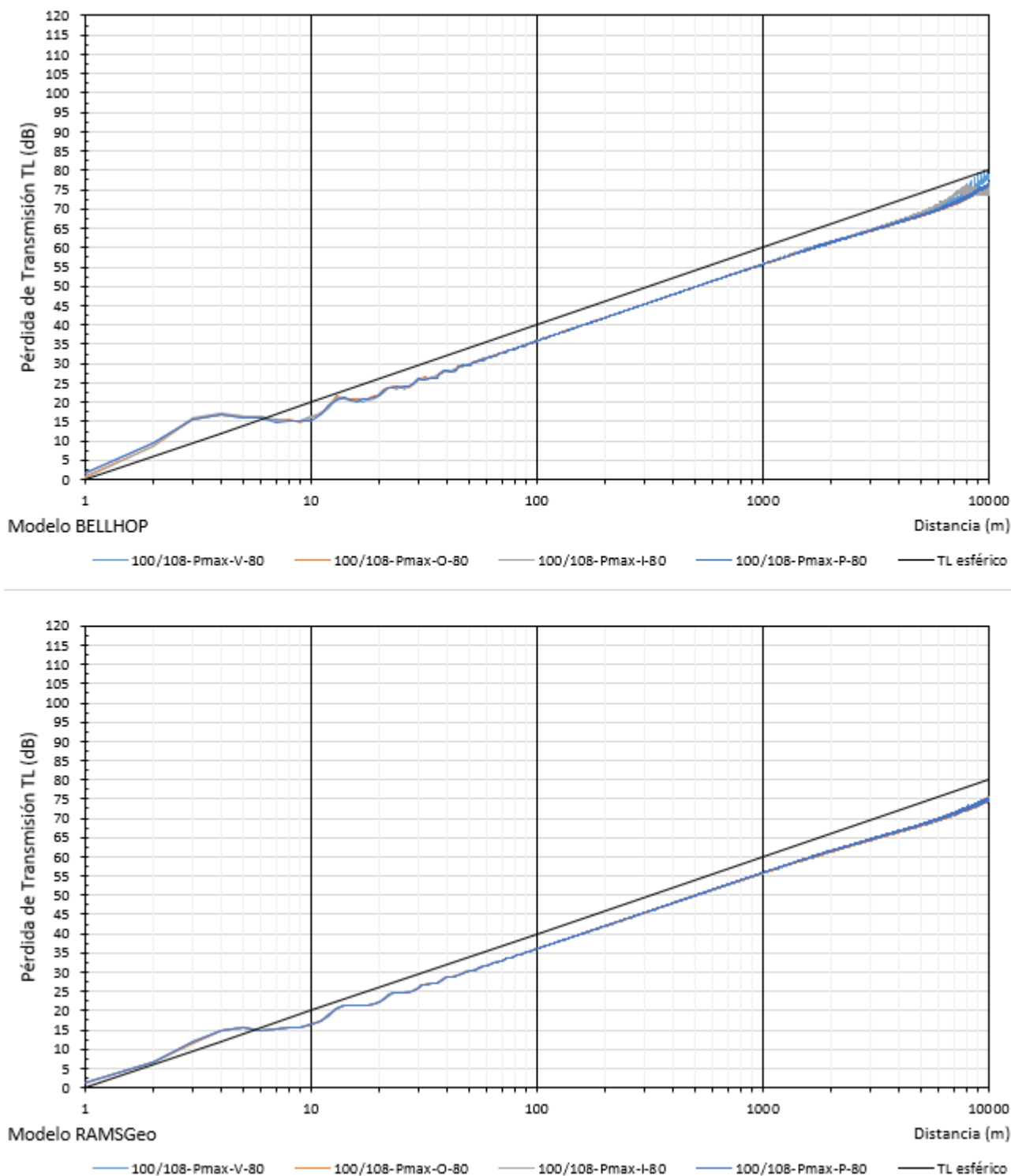


Figura 35. Pérdida de la Transmisión Teórica (TL) del sonido mínima en función de la distancia al punto de emisión. CAN 100 y CAN 108. Suelo tipo Fangos. Profundidad máxima. Sensibilidad a la velocidad del sonido según la Estación del año



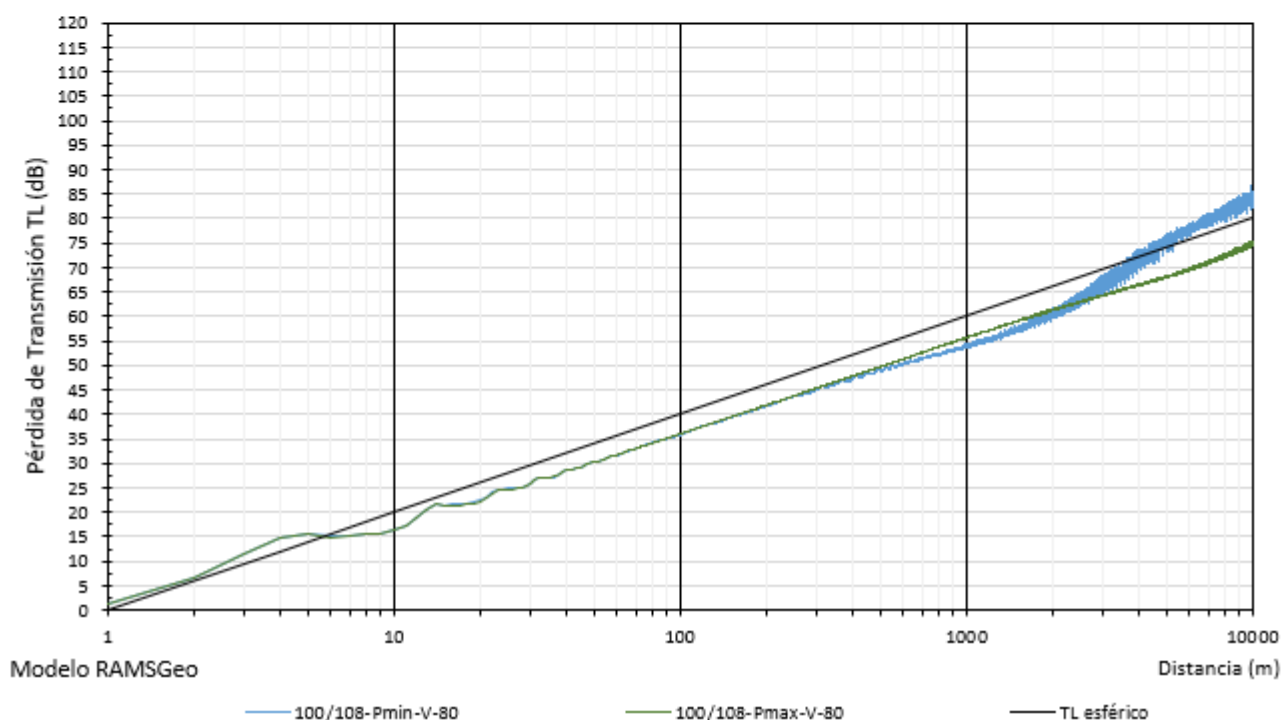
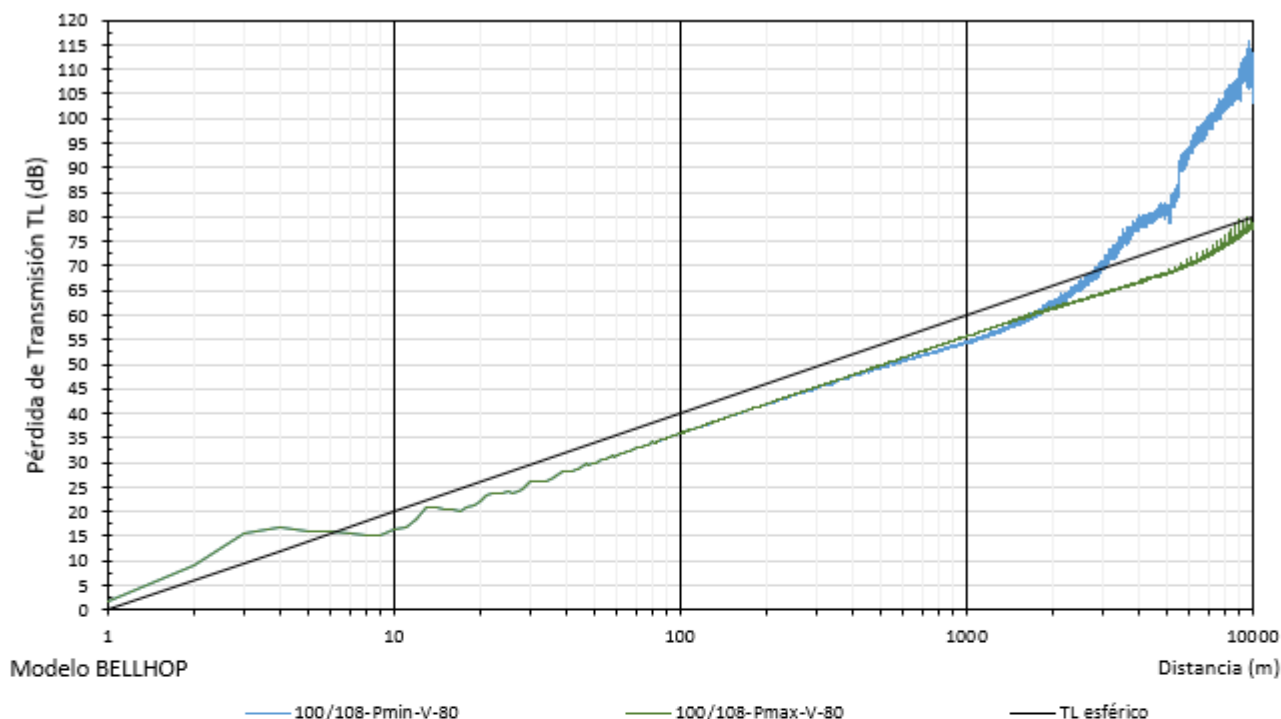


Figura 36. Pérdida de la Transmisión Teórica (TL) del sonido mínima en función de la distancia al punto de emisión. CAN 100 y CAN 108. Suelo tipo Fangos. Verano. Sensibilidad a la profundidad.

Complementariamente, se realizó un análisis de sensibilidad para verificar la influencia de la profundidad del arreglo emisor del sonido, entre 6 y 7 metros, que se presenta en la figura siguiente. La diferencia es mínima, siendo ligeramente más conservativa (es decir, con menor TL) la correspondiente a una profundidad de 7 metros, que es la adoptada en todas las simulaciones.



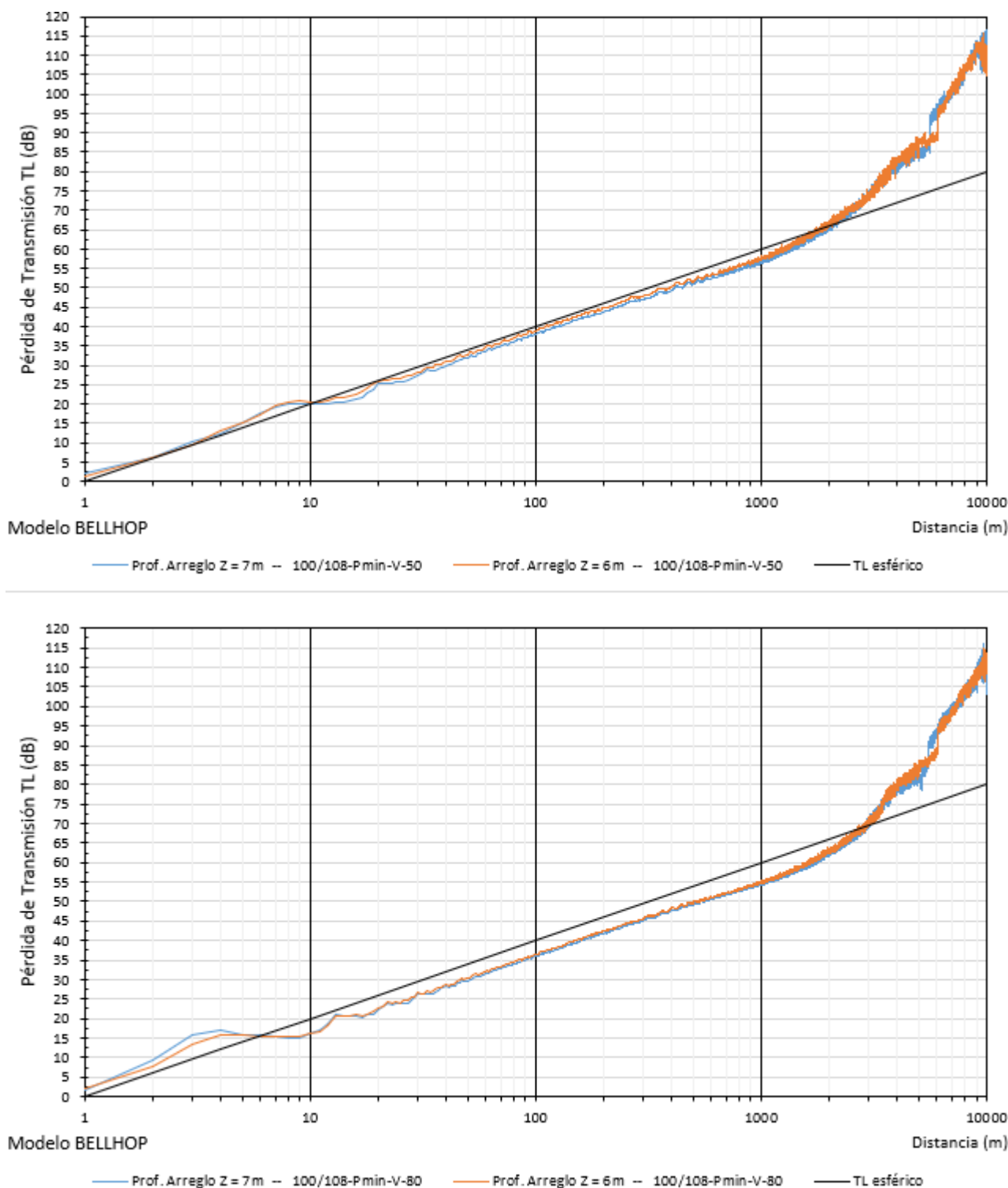


Figura 37. Pérdida de la Transmisión Teórica (TL) del sonido mínima en función de la distancia al punto de emisión. CAN 100 y CAN 108. Suelo tipo Fangos. Verano. Sensibilidad a la profundidad de emisión del arreglo.



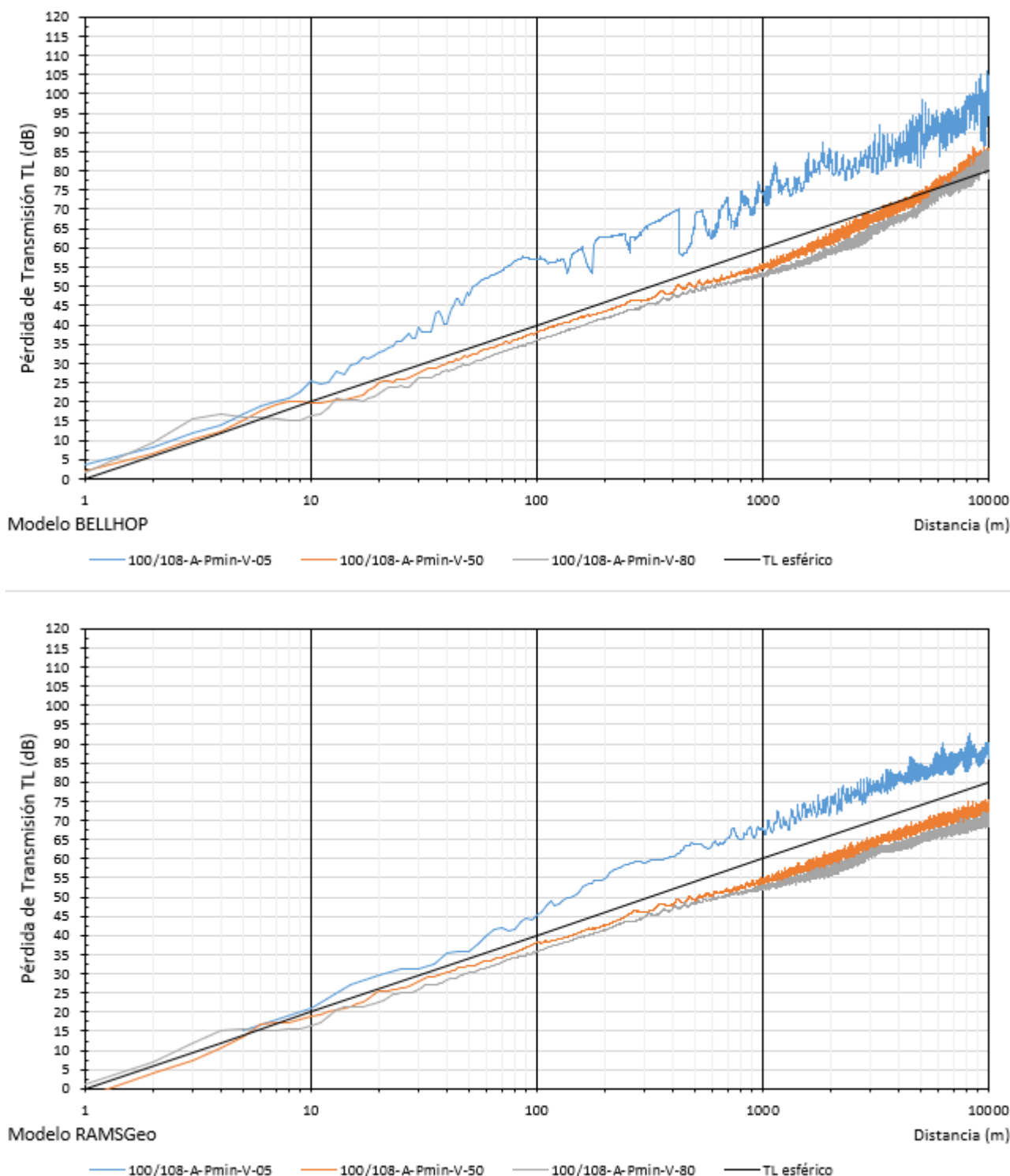


Figura 38. Pérdida de la Transmisión Teórica (TL) mínima del sonido en función de la distancia al punto de emisión. CAN 100 y CAN 108. Suelo tipo Arenas. Verano. Sensibilidad a la frecuencia.



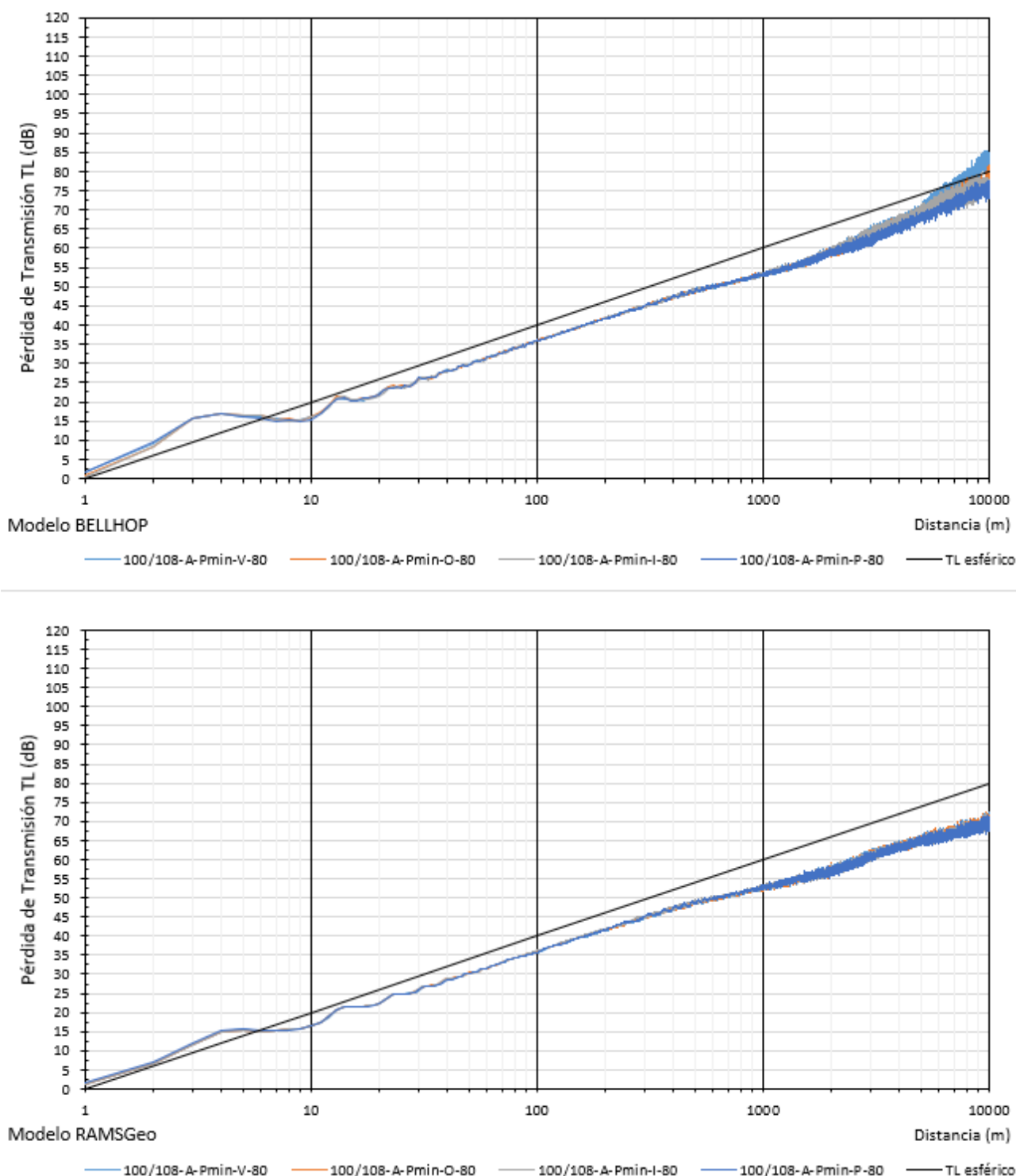


Figura 39. Pérdida de la Transmisión Teórica (TL) del sonido mínima en función de la distancia al punto de emisión. CAN 100 y CAN 108. Suelo tipo Arenas. Profundidad mínima. Sensibilidad a la velocidad del sonido según la Estación del año



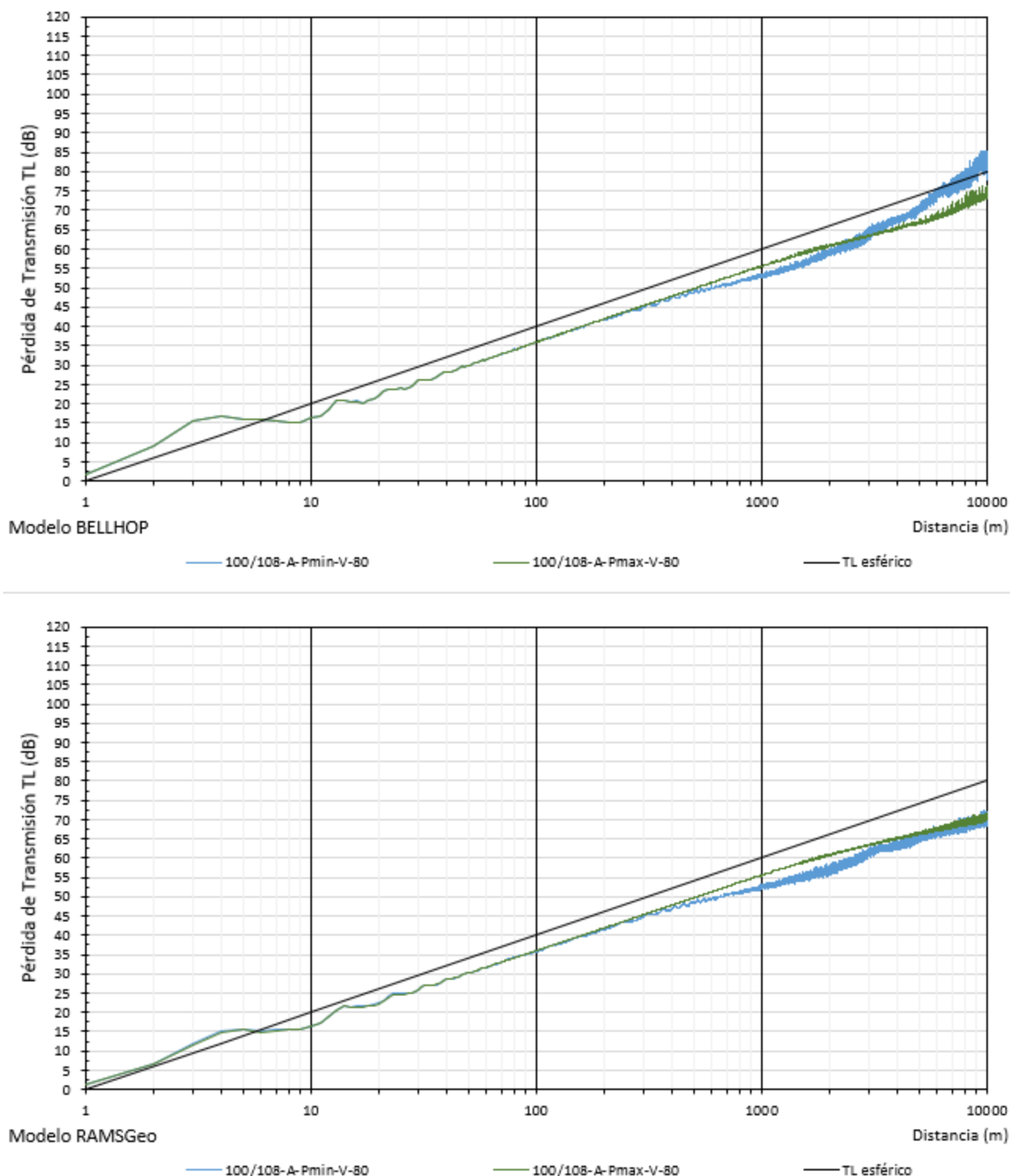


Figura 40. Pérdida de la Transmisión Teórica (TL) del sonido mínima en función de la distancia al punto de emisión. CAN 100 y CAN 108. Suelo tipo Arenas. Verano. Sensibilidad a la profundidad.



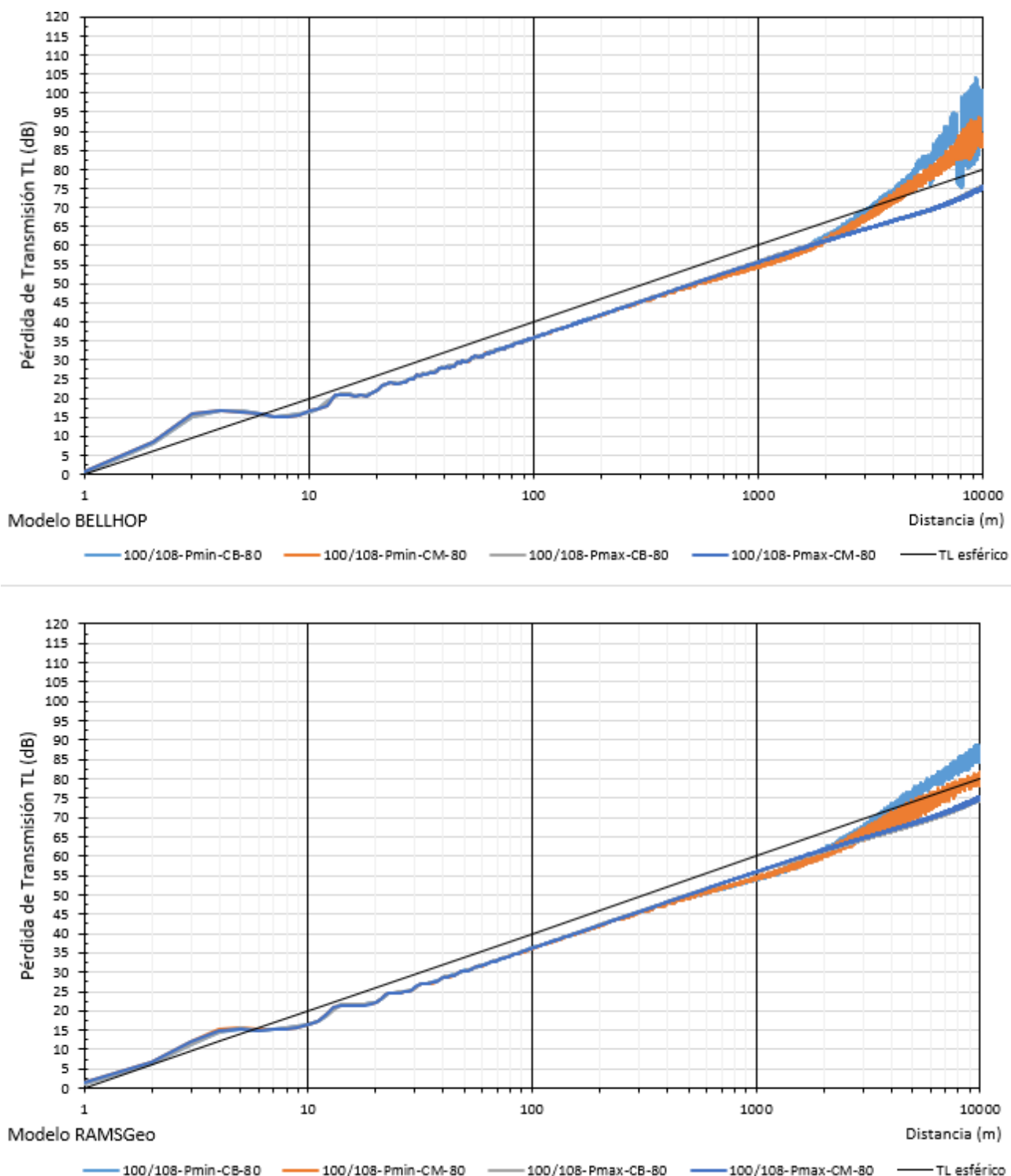


Figura 41. Pérdida de la Transmisión Teórica (TL) mínima del sonido en función de la distancia al punto de emisión. CAN 100 y CAN 108. Suelo tipo Fangos. Sensibilidad a la velocidad del sonido según la corriente predominante (Brasil – CB) o Malvinas (CM) y a la profundidad.



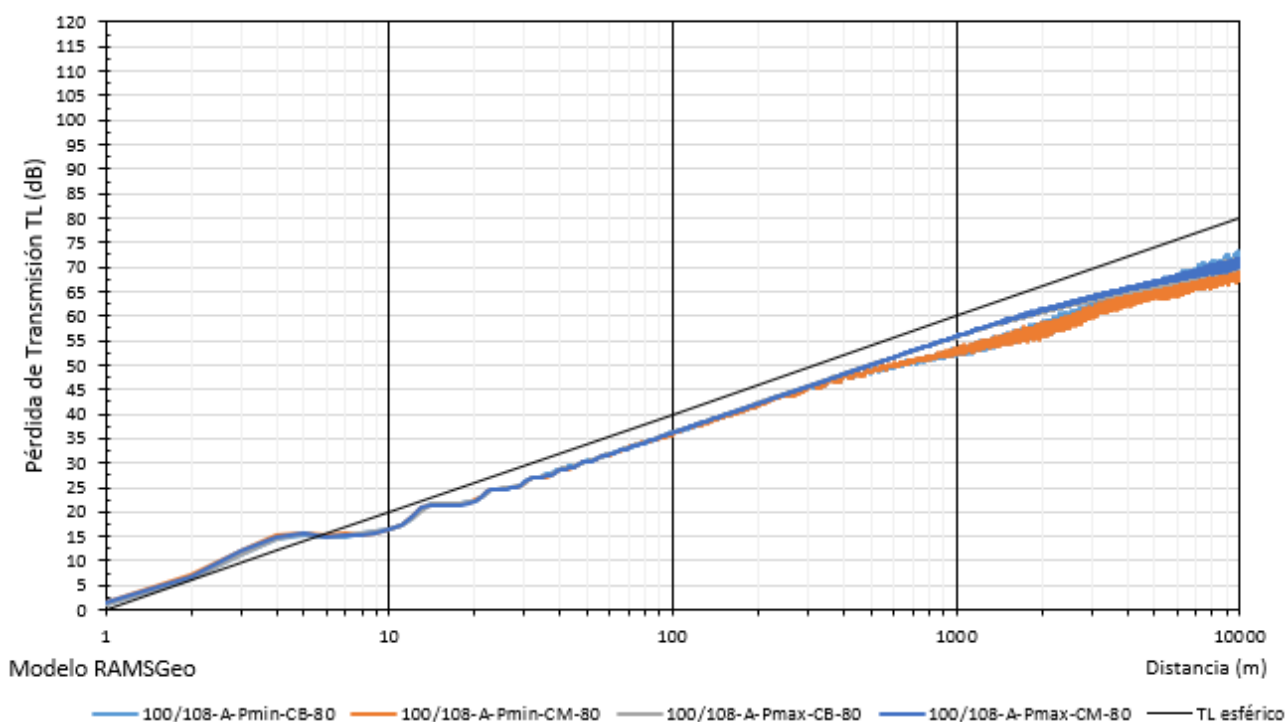
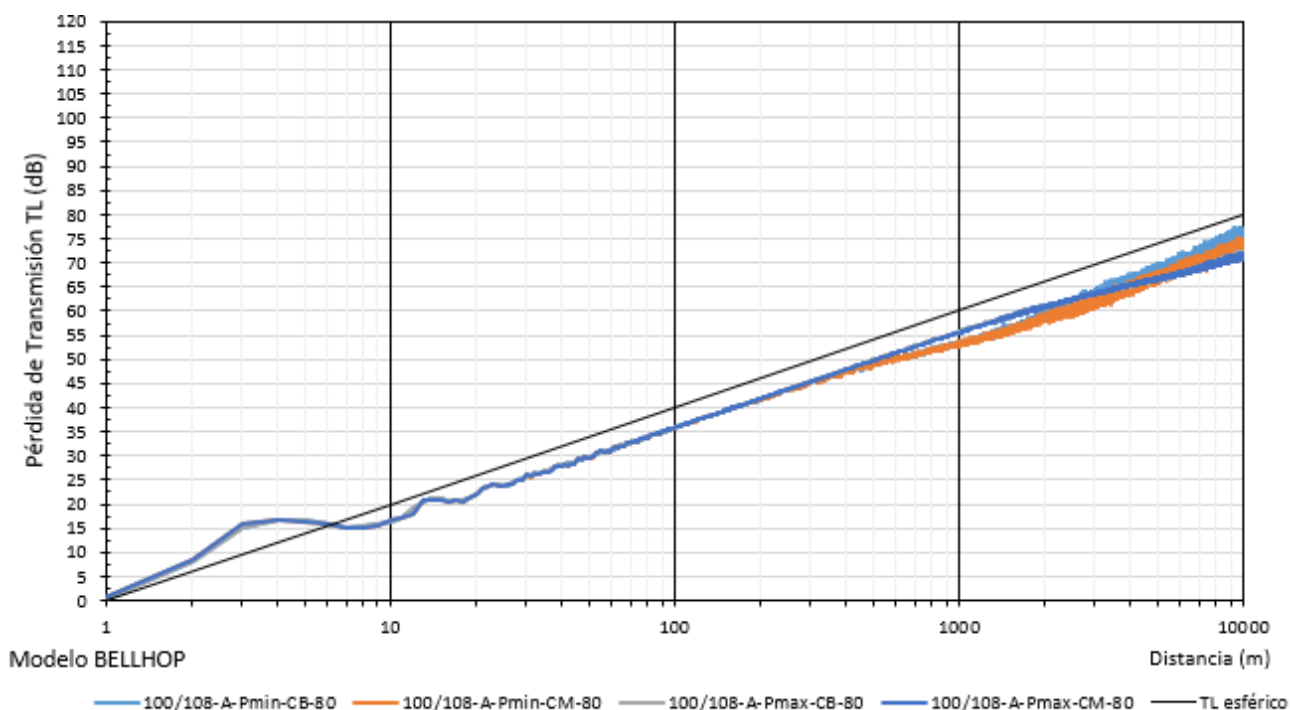


Figura 42. Pérdida de la Transmisión Teórica (TL) del sonido mínima en función de la distancia al punto de emisión. CAN 100 y CAN 108. Suelo tipo Arenas. Sensibilidad a la velocidad del sonido según la corriente predominante (Brasil – CB) o Malvinas (CM) y a la profundidad



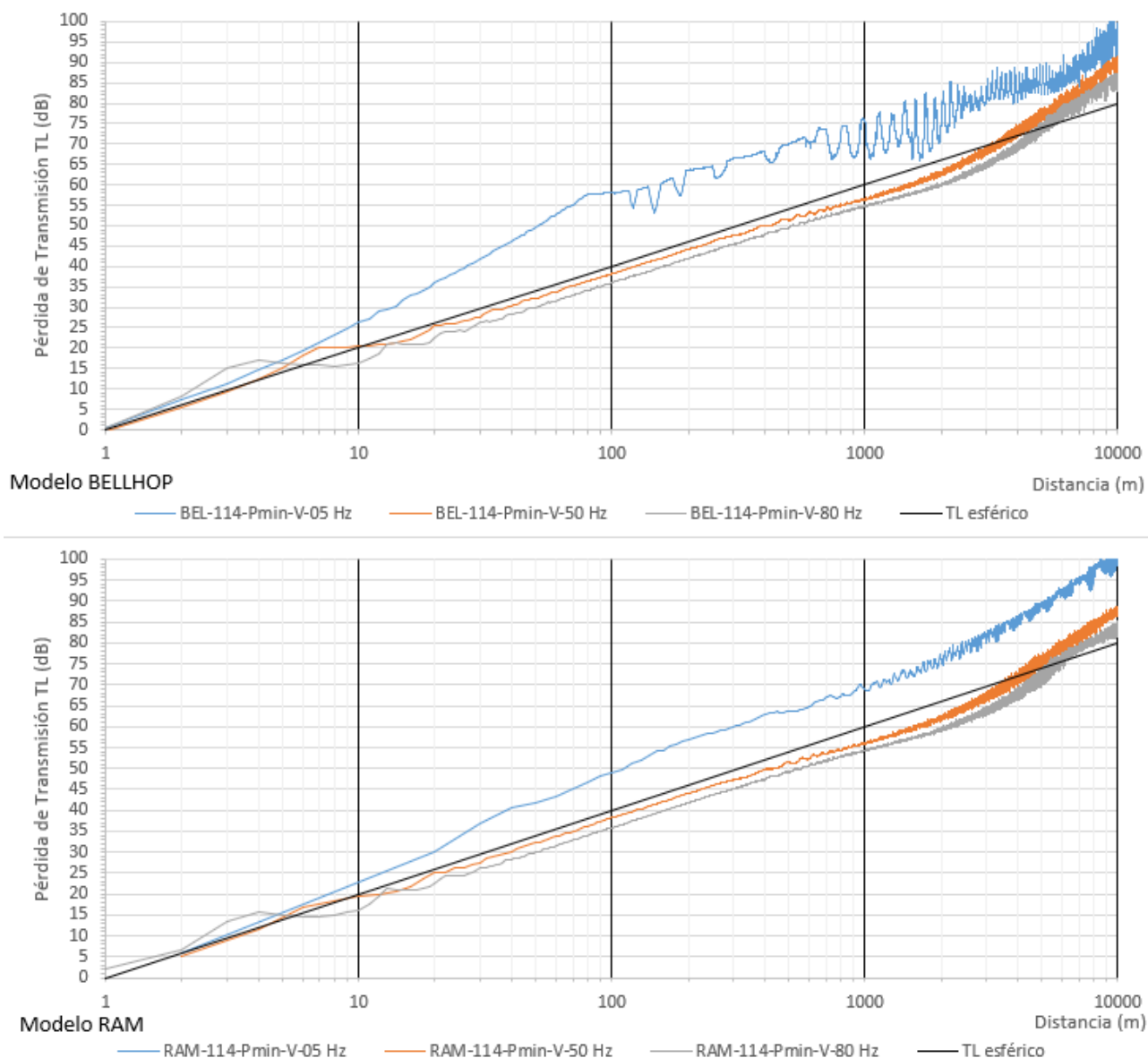


Figura 43. Pérdida de la Transmisión Teórica (TL) mínima del sonido en función de la distancia al punto de emisión. CAN 114. Verano. Sensibilidad a la frecuencia.



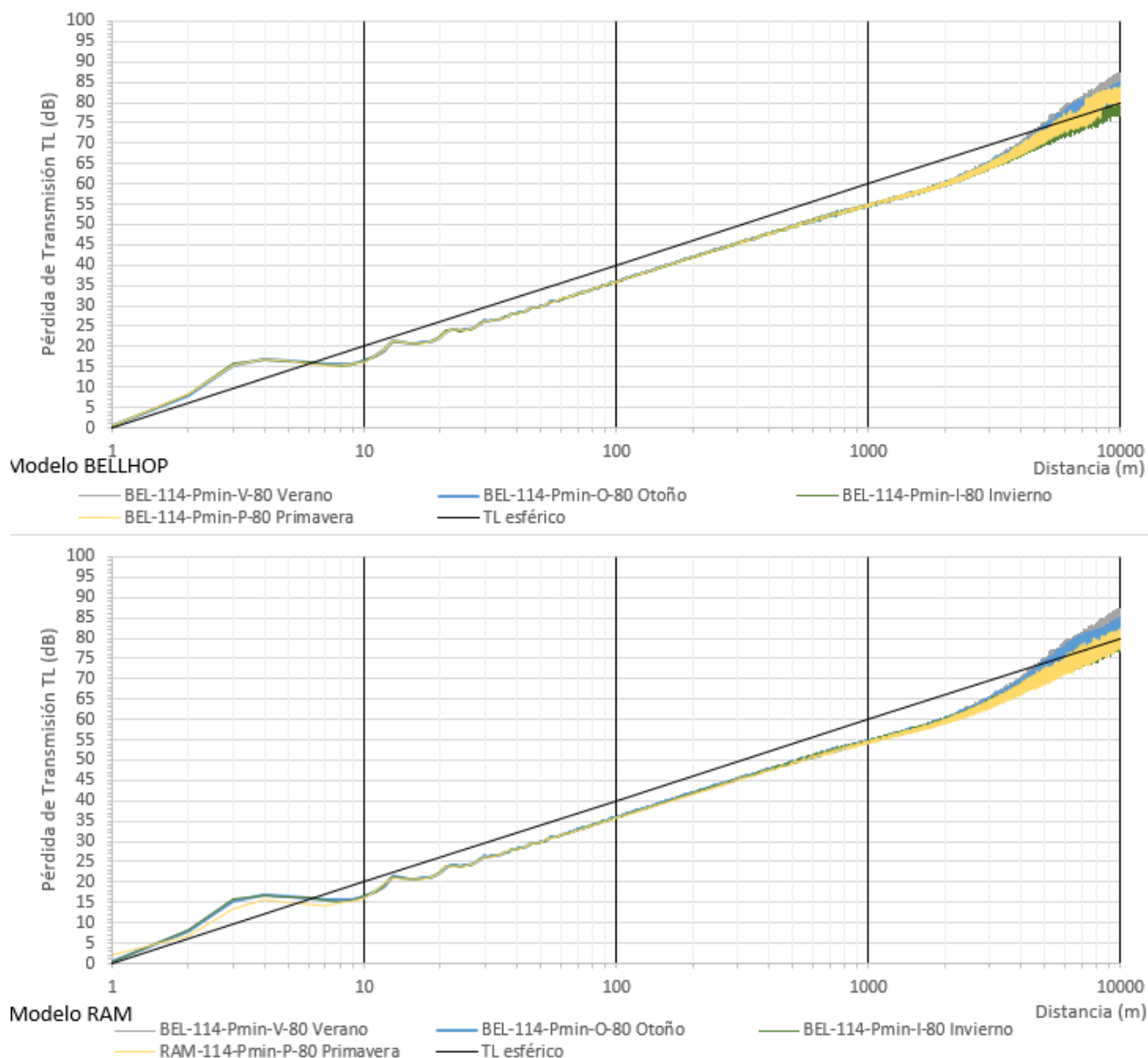


Figura 44. Pérdida de la Transmisión Teórica (TL) del sonido mínima en función de la distancia al punto de emisión. CAN 114. Sensibilidad a la velocidad del sonido según la Estación del año



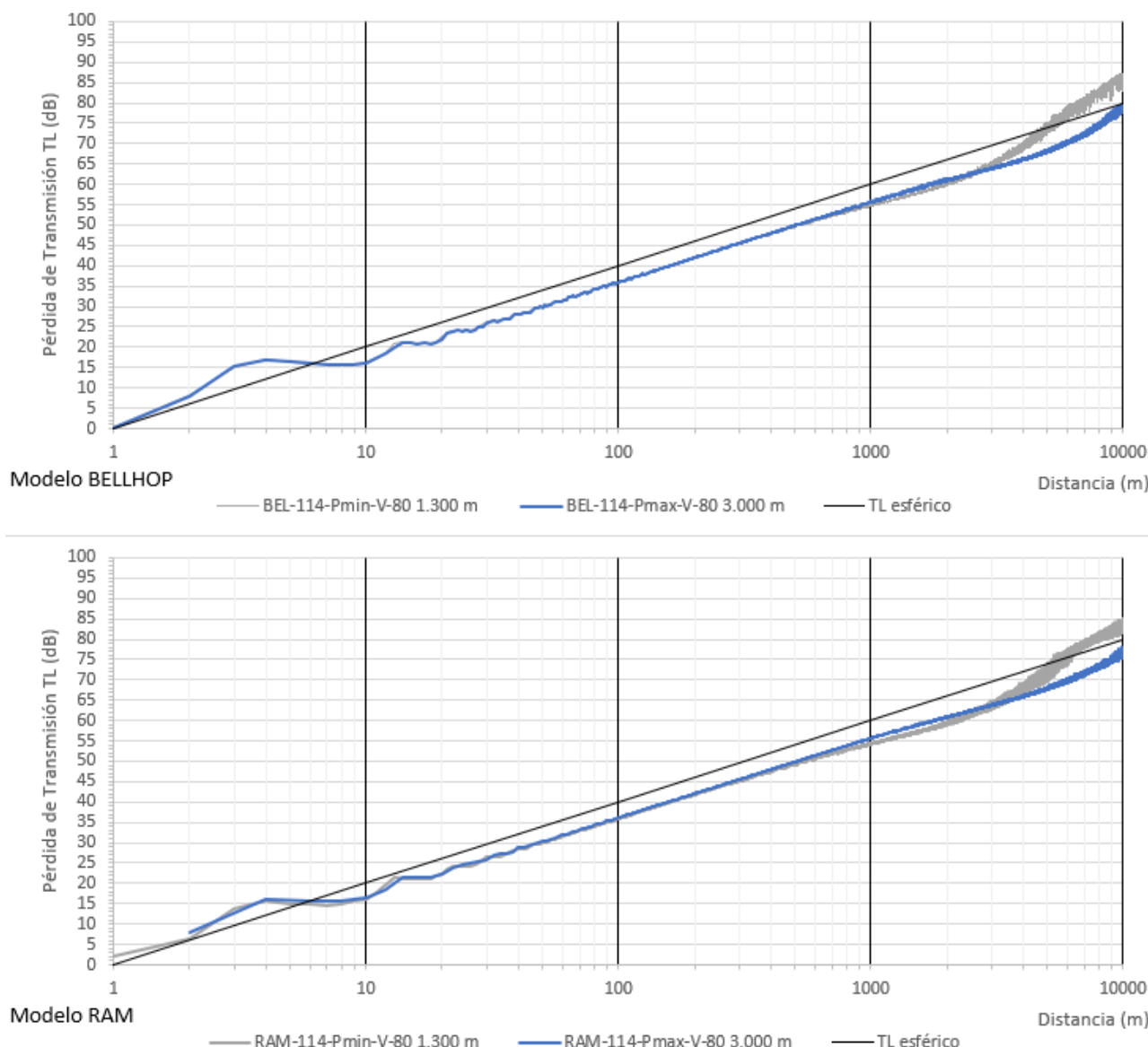


Figura 45. Pérdida de la Transmisión Teórica (TL) del sonido mínima en función de la distancia al punto de emisión. CAN 114. Verano. Sensibilidad a la profundidad

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

- Las diferencias en TL en CAN 100 y CAN 108 para las condiciones de velocidad del sonido correspondientes a las corrientes de Brasil y de Malvinas se pueden apreciar comparando **100/108-Pmin-CB-80** y **100/108-Pmin-CM-80**, mientras que comparando **100/108-Pmin-CB-80** y **100/108-Pmax-CB-80** se puede apreciar la influencia de la diferente profundidad de agua. Por otro lado, comparando con **100/108-A-Pmin-CB-80** y **100/108-A-Pmin-CM-80** se puede apreciar la influencia del tipo de suelo. Por otro lado, se presentan también los gráficos para la estación verano, con resultados para la profundidad mínima y máxima, suelos tipo fangos y arenas (**100/108-Pmin-CM-80**, **100/108-Pmax-CM-80**, **100/108-Pmin-A-CM-80**, **100/108-Pmax-A-CM-80**).
- Las diferencias en TL en CAN 114 para las condiciones de velocidad del sonido correspondientes a mínima profundidad y primavera, y máxima profundidad y verano, se ilustran comparando **114-Pmin-P-80** y **114-Pmax-V-80**.

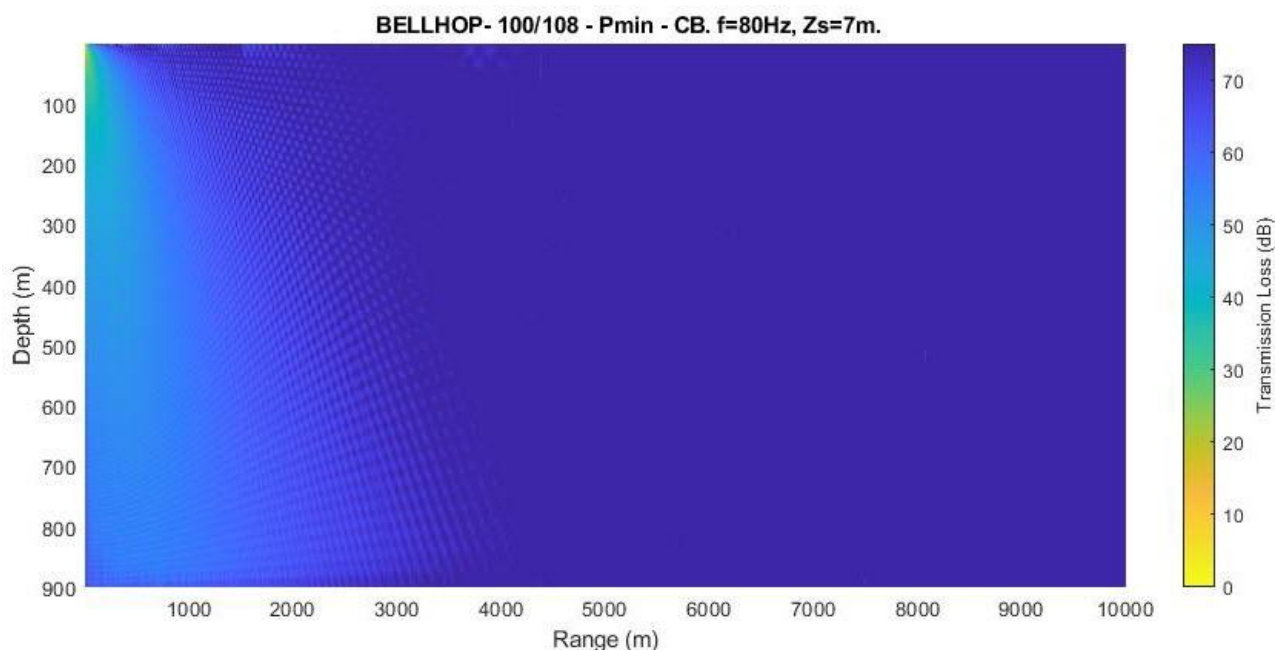


Figura 46. Pérdida de la Transmisión Teórica bidimensional del sonido con la distancia al punto de emisión. CAN 100 y CAN 108. Simulación 100/108-Pmin-CB-80. Corriente Brasil. Suelo Fangos. Modelo Bellhop

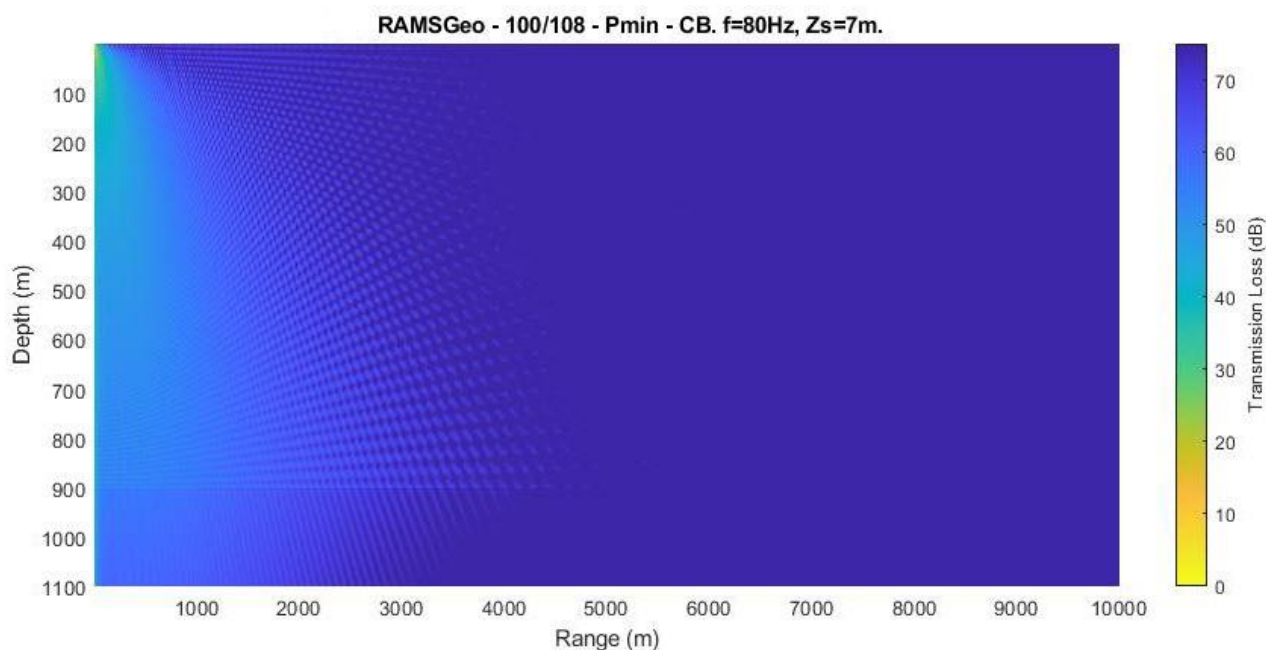


Figura 47. Pérdida de la Transmisión Teórica bidimensional del sonido con la distancia al punto de emisión. CAN 100 y CAN 108. 100/108-Pmin-CB-80. Corriente Brasil. Suelo Fangos. Modelo RAM



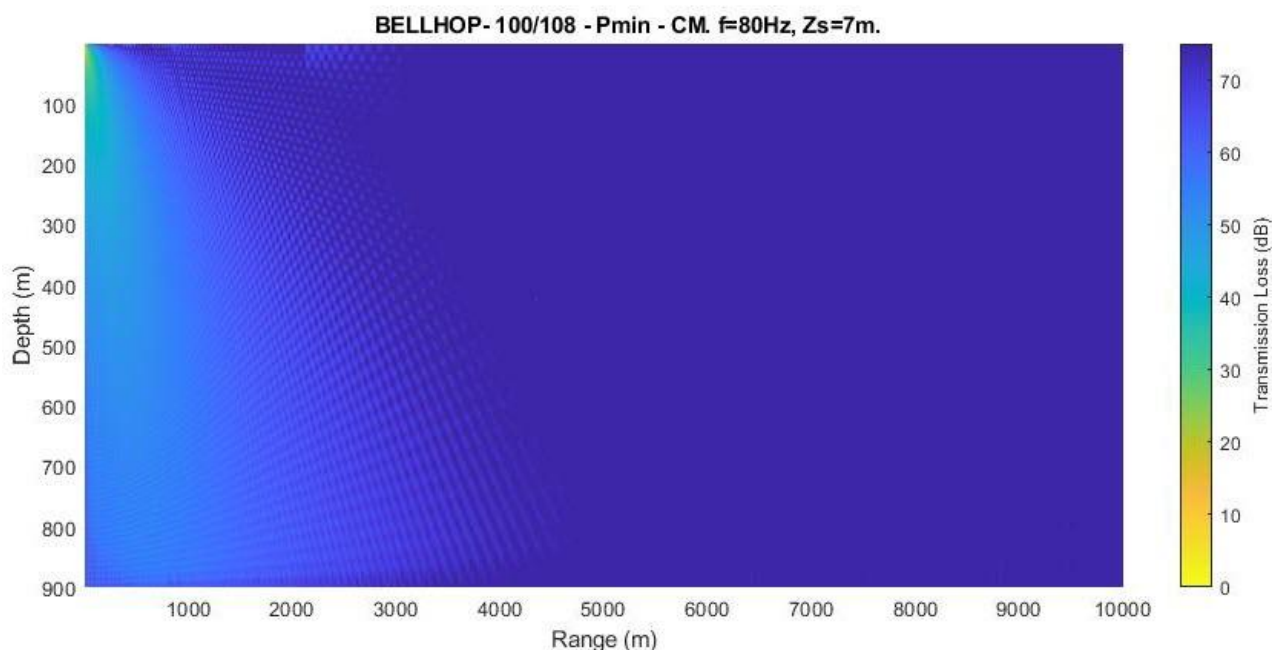


Figura 48. Pérdida de la Transmisión Teórica bidimensional del sonido con la distancia al punto de emisión. CAN 100 y CAN 108. Simulación 100/108-Pmin-CM-80. Corriente Malvinas. Suelo Fangoso. Modelo Bellhop

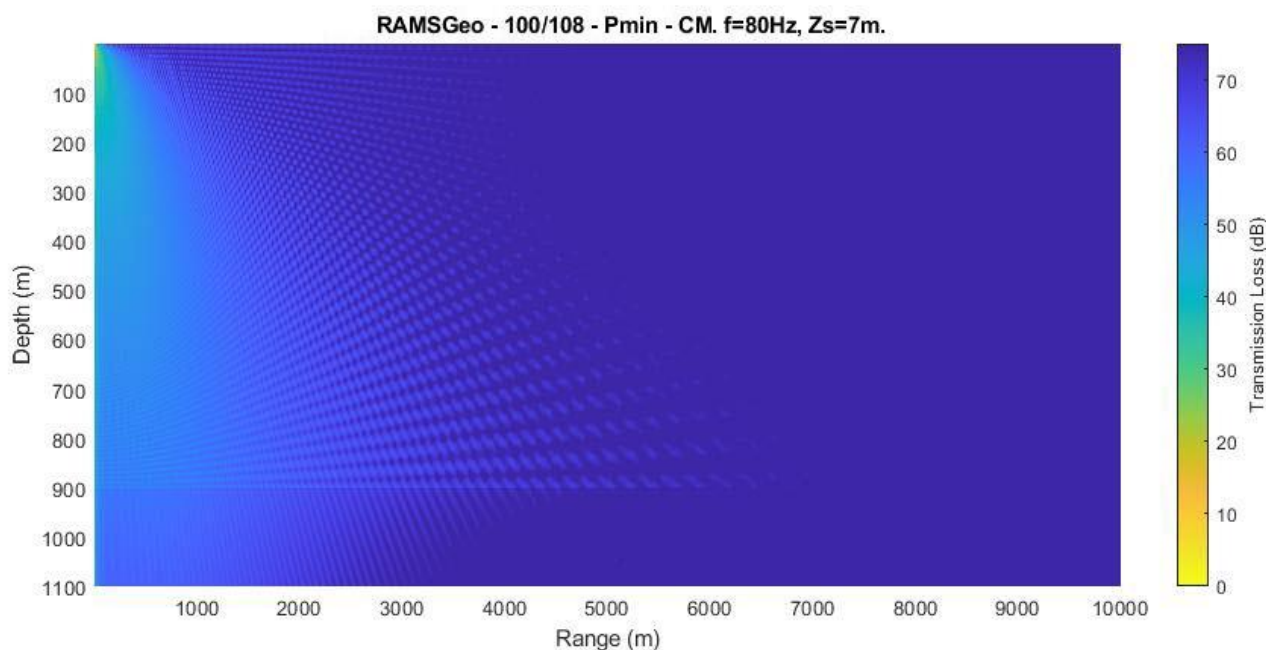


Figura 49. Pérdida de la Transmisión Teórica bidimensional del sonido con la distancia al punto de emisión. CAN 100 y CAN 108. Simulación 100/108-Pmin-CM-80. Corriente Malvinas. Suelo Fangoso. Modelo RAM



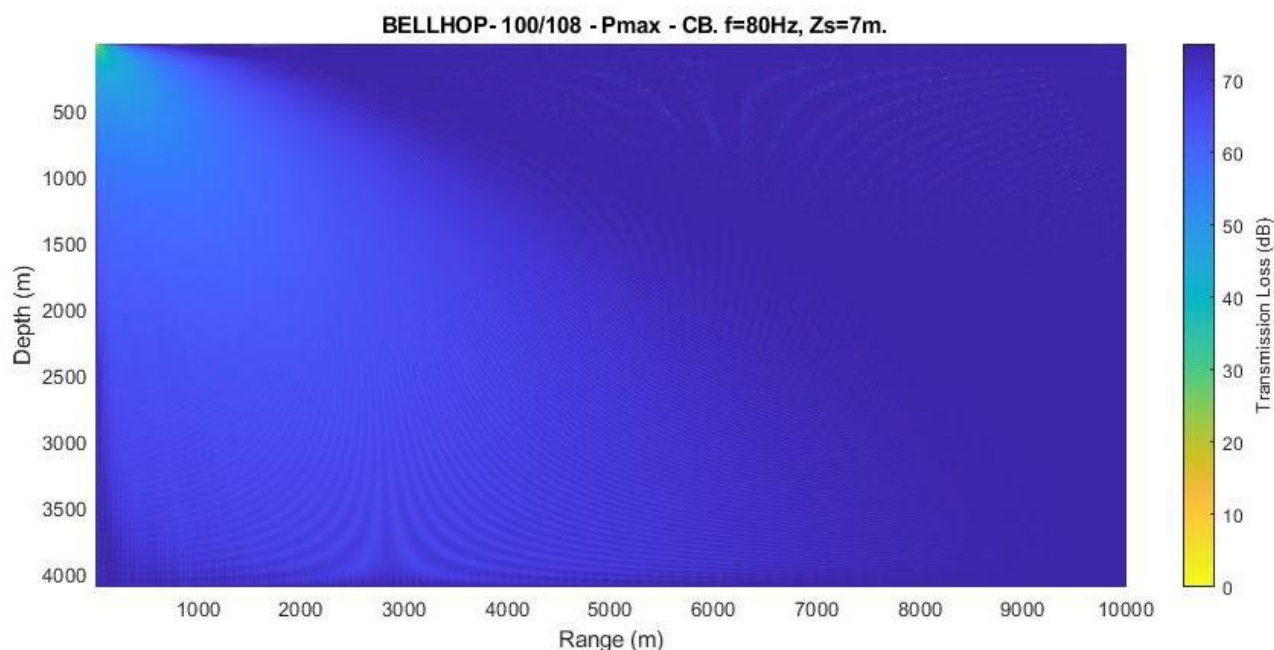


Figura 50. Pérdida de la Transmisión Teórica bidimensional del sonido con la distancia al punto de emisión. CAN 100 y CAN 108. Simulación 100/108-Pmax-CB-80. Corriente Brasil. Suelo Fangos. Modelo Bellhop

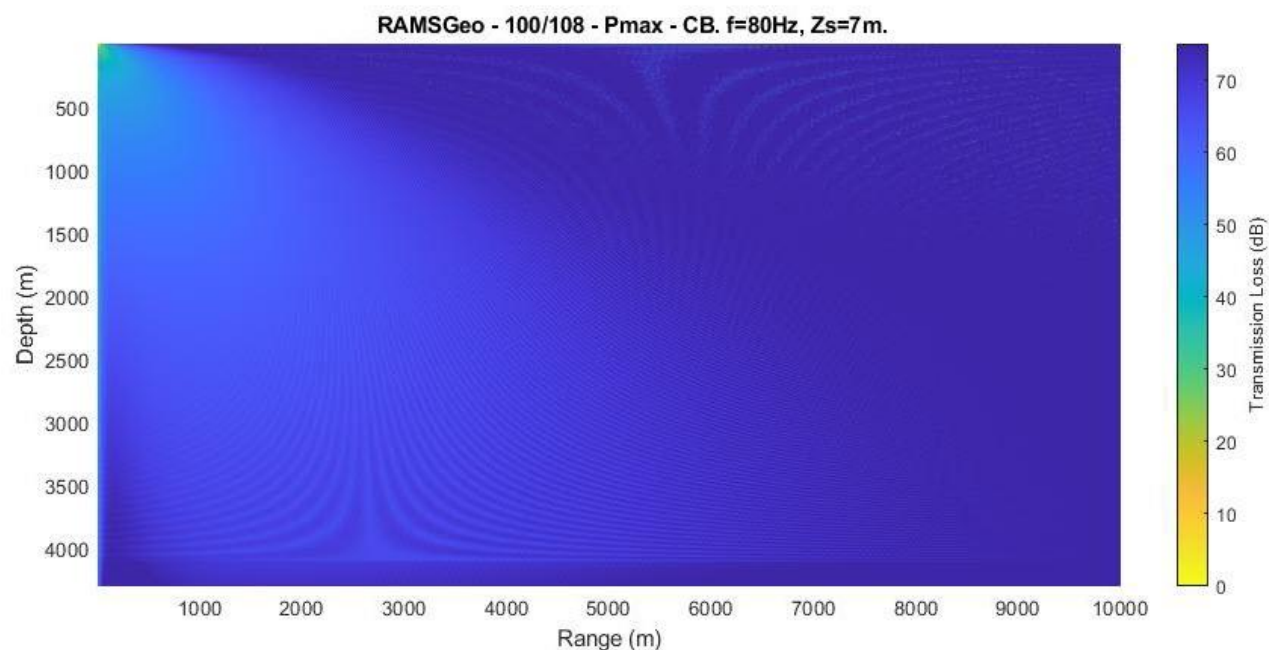


Figura 51. Pérdida de la Transmisión Teórica bidimensional del sonido con la distancia al punto de emisión. CAN 100 y CAN 108. Simulación 100/108-Pmax-CB-80. Corriente Brasil. Suelo Fangos. Modelo RAMS



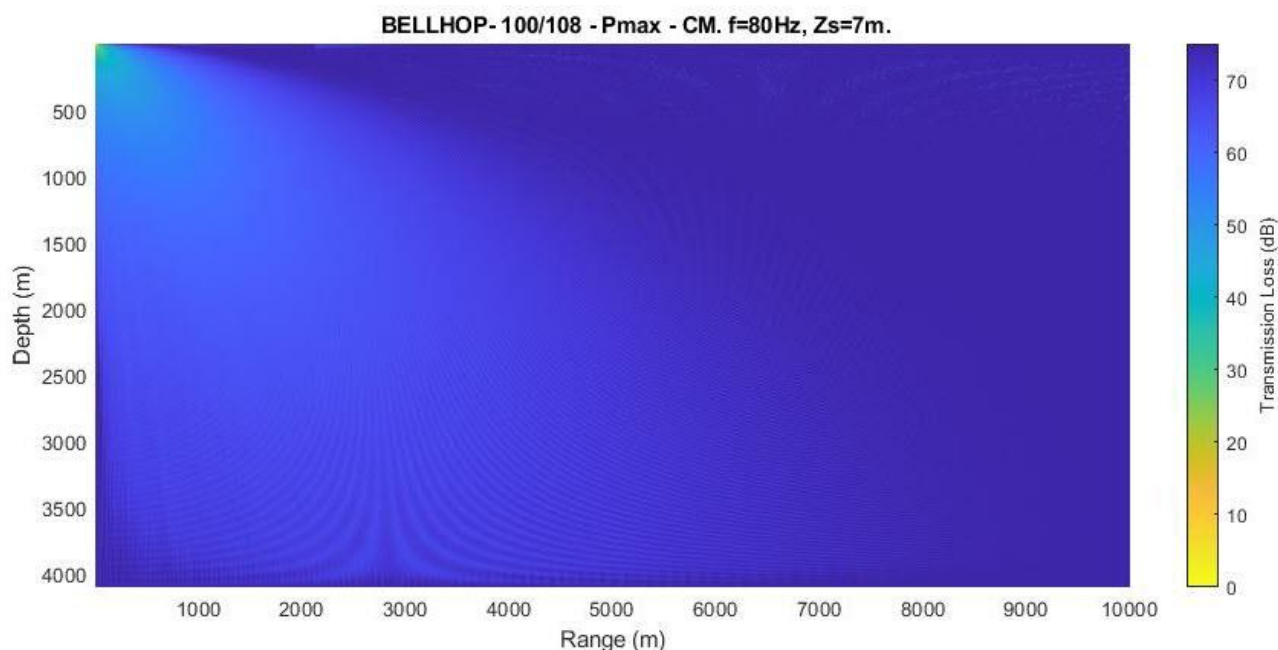


Figura 52. Pérdida de la Transmisión Teórica bidimensional del sonido con la distancia al punto de emisión. CAN 100 y CAN 108. Simulación 100/108-Pmax-CM-80. Corriente Malvinas. Suelo Fangos. Modelo Bellhop

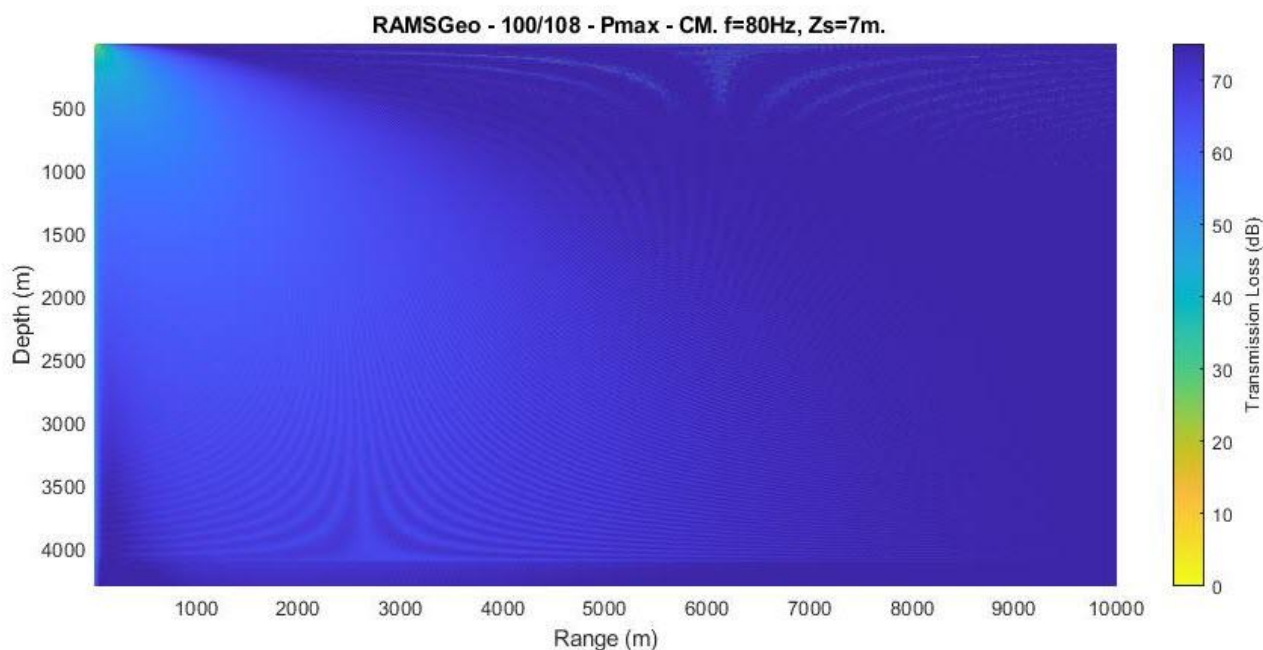


Figura 53. Pérdida de la Transmisión Teórica bidimensional del sonido con la distancia al punto de emisión. CAN 100 y CAN 108. Simulación 100/108-Pmax-CM-80. Corriente Malvinas. Suelo Fangos. Modelo RAMS



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

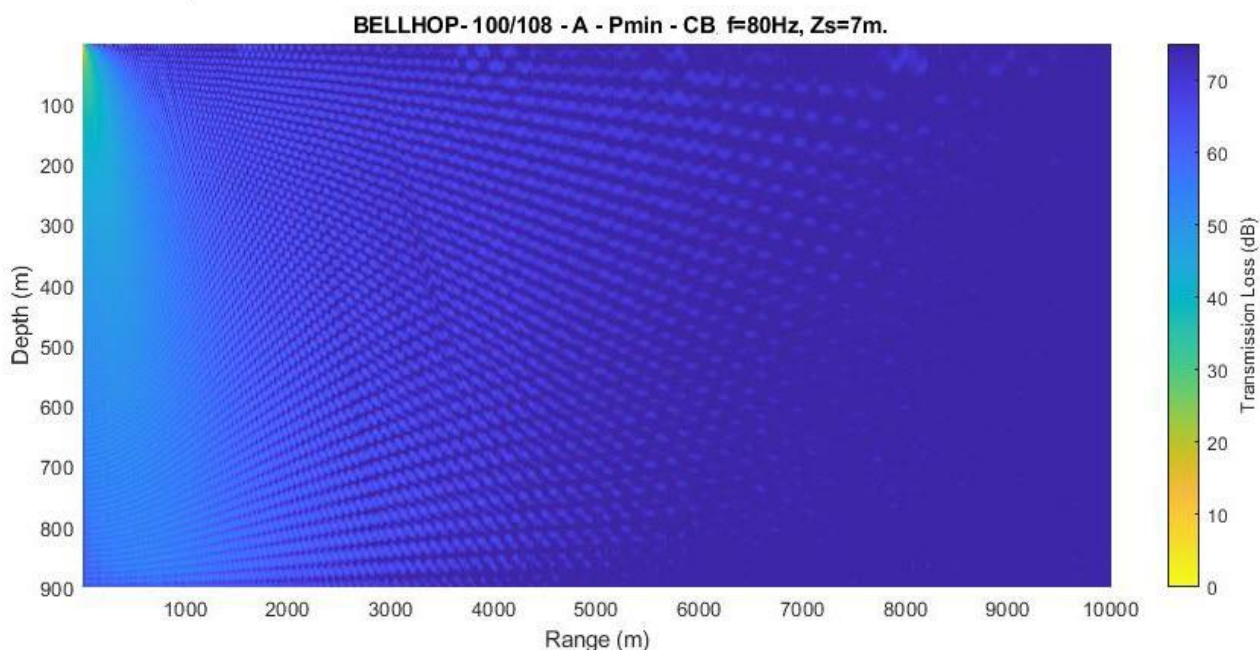


Figura 54. Pérdida de la Transmisión Teórica bidimensional del sonido con la distancia al punto de emisión. CAN 100 y CAN 108. Simulación 100/108-A-Pmin-CB-80. Corriente Brasil. Suelo Arenas. Modelo Bellhop

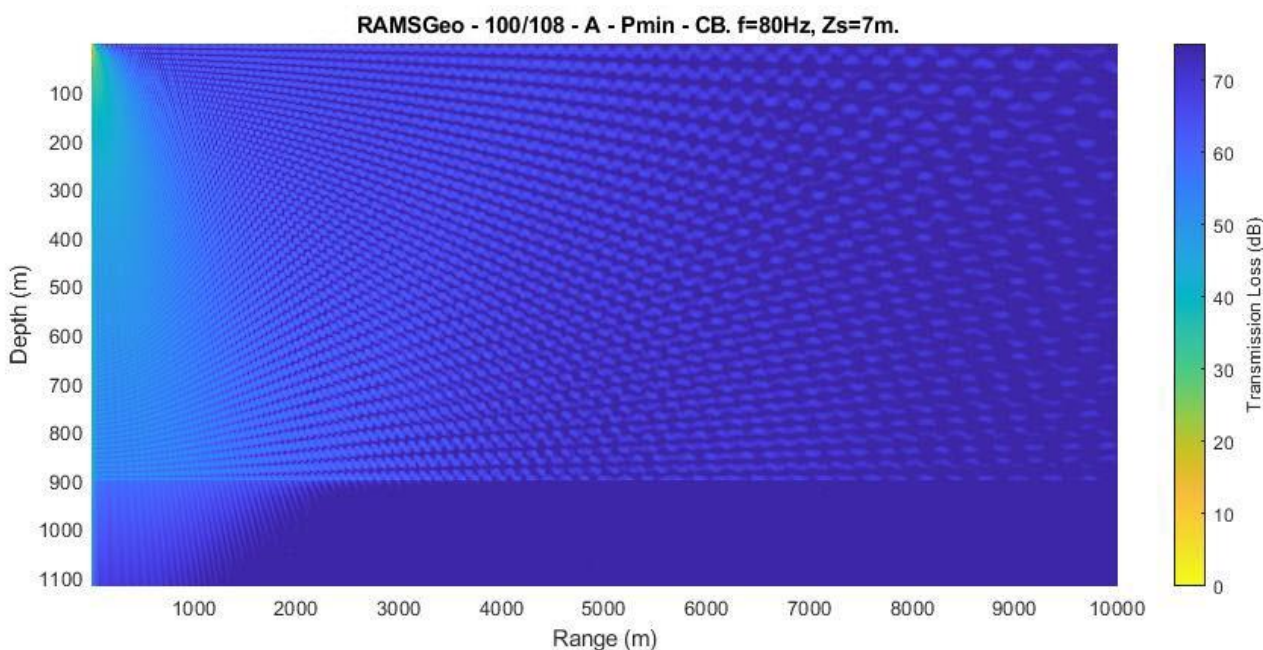


Figura 55. Pérdida de la Transmisión Teórica bidimensional del sonido con la distancia al punto de emisión. CAN 100 y CAN 108. Simulación 100/108-A-Pmin-CB-80. Corriente Brasil. Suelo Arenas. Modelo RAMS



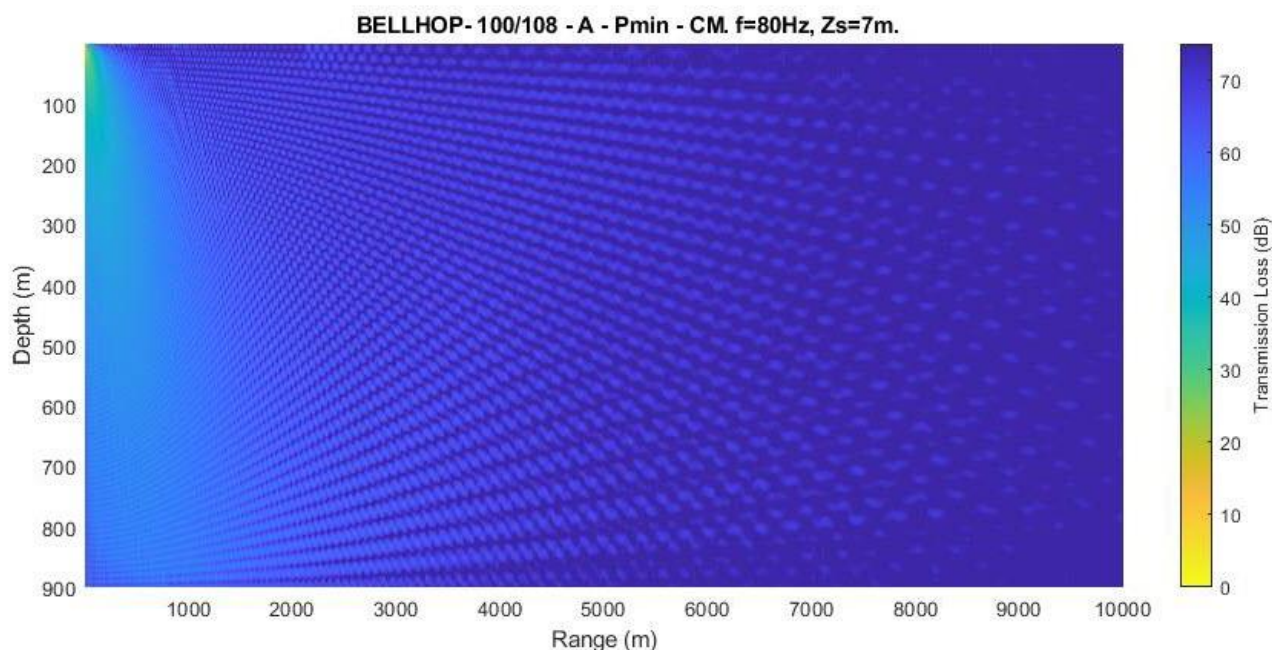


Figura 56. Pérdida de la Transmisión Teórica bidimensional del sonido con la distancia al punto de emisión. CAN 100 y CAN 108. Simulación 100/108-A-Pmin-CM-80. Corriente Malvinas. Suelo Arenas. Modelo Bellhop

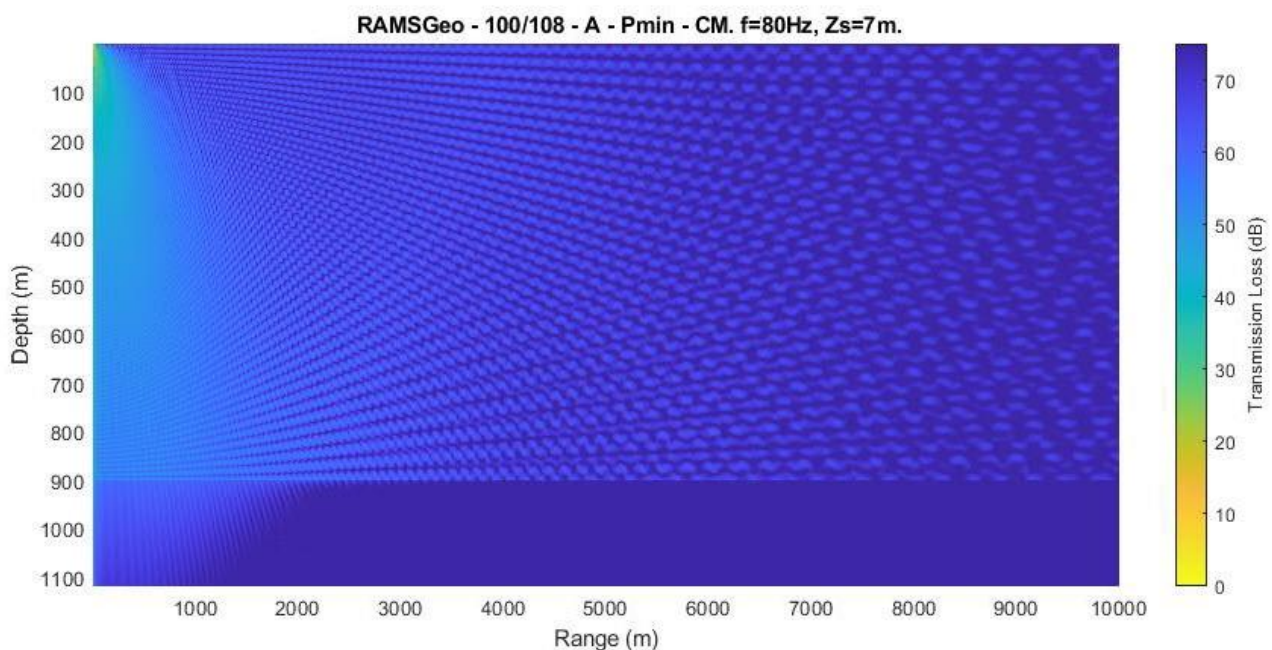


Figura 57. Pérdida de la Transmisión Teórica bidimensional del sonido con la distancia al punto de emisión. CAN 100 y CAN 108. Simulación 100/108-A-Pmin-CM-80. Corriente Malvinas. Suelo Arenas. Modelo RAMS



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

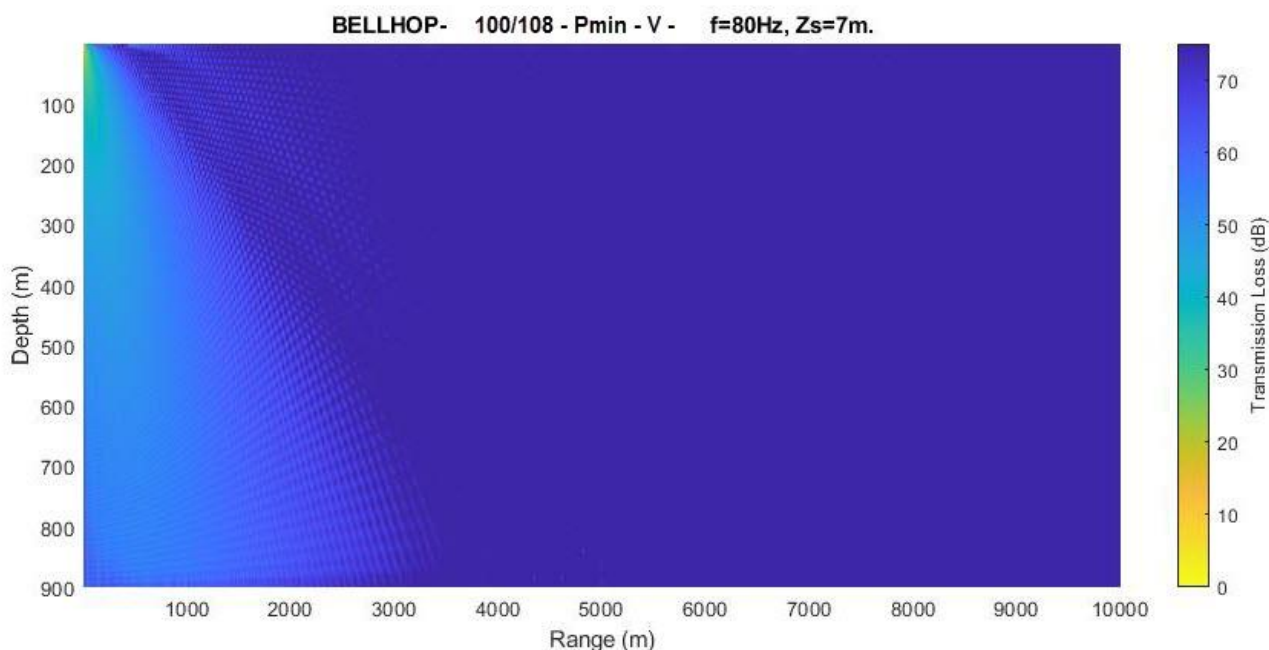


Figura 58. Pérdida de la Transmisión Teórica bidimensional del sonido con la distancia al punto de emisión. CAN 100 y CAN 108. Simulación 100/108-Pmin-V-80 (mínima profundidad – verano). Suelo Fangos. Modelo Bellhop

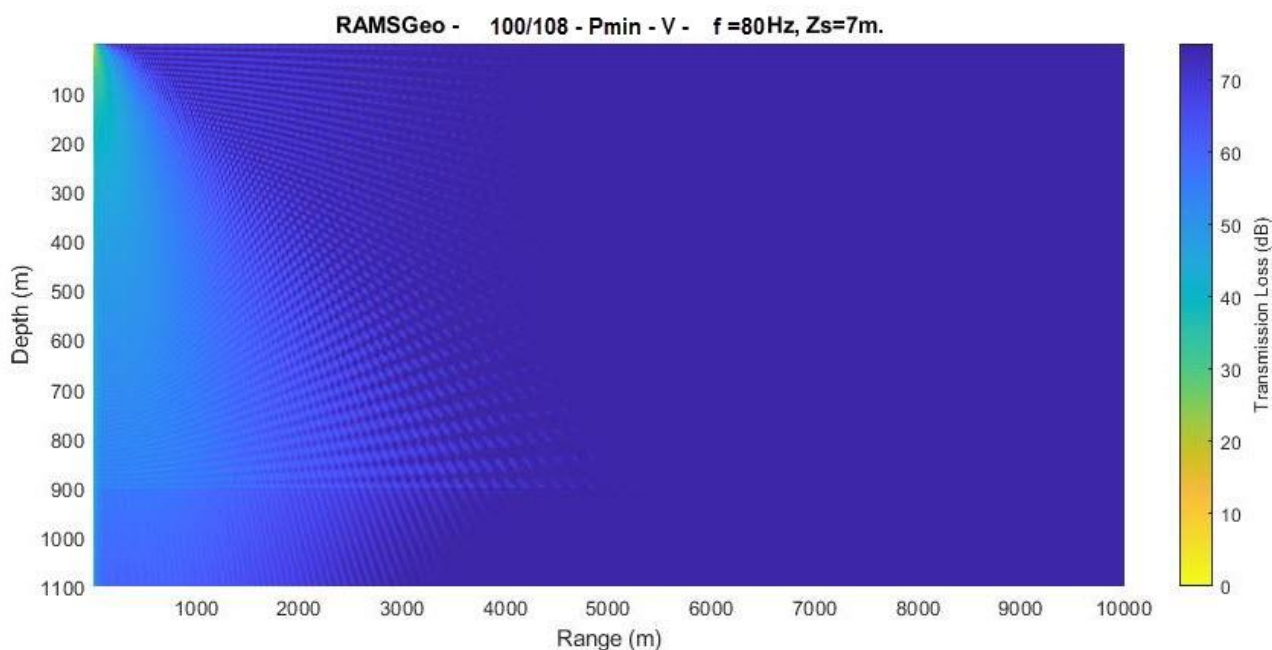


Figura 59. Pérdida de la Transmisión Teórica bidimensional del sonido con la distancia al punto de emisión. CAN 100 y CAN 108. Simulación 100/108-Pmin-CM-80 (mínima profundidad – verano). Suelo Fangos. Modelo RAMS



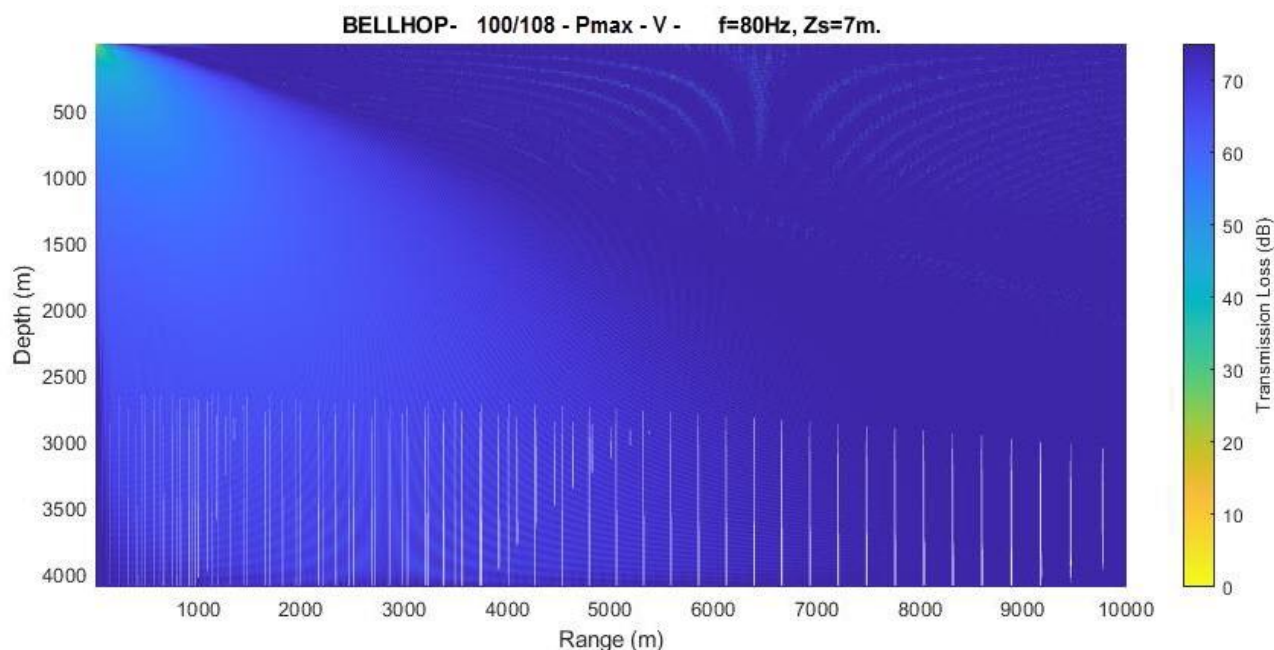


Figura 60. Pérdida de la Transmisión Teórica bidimensional del sonido con la distancia al punto de emisión. CAN 100 y CAN 108. Simulación 100/108-Pmax-V-80 (máxima profundidad – verano). Suelo Fangos. Modelo Bellhop

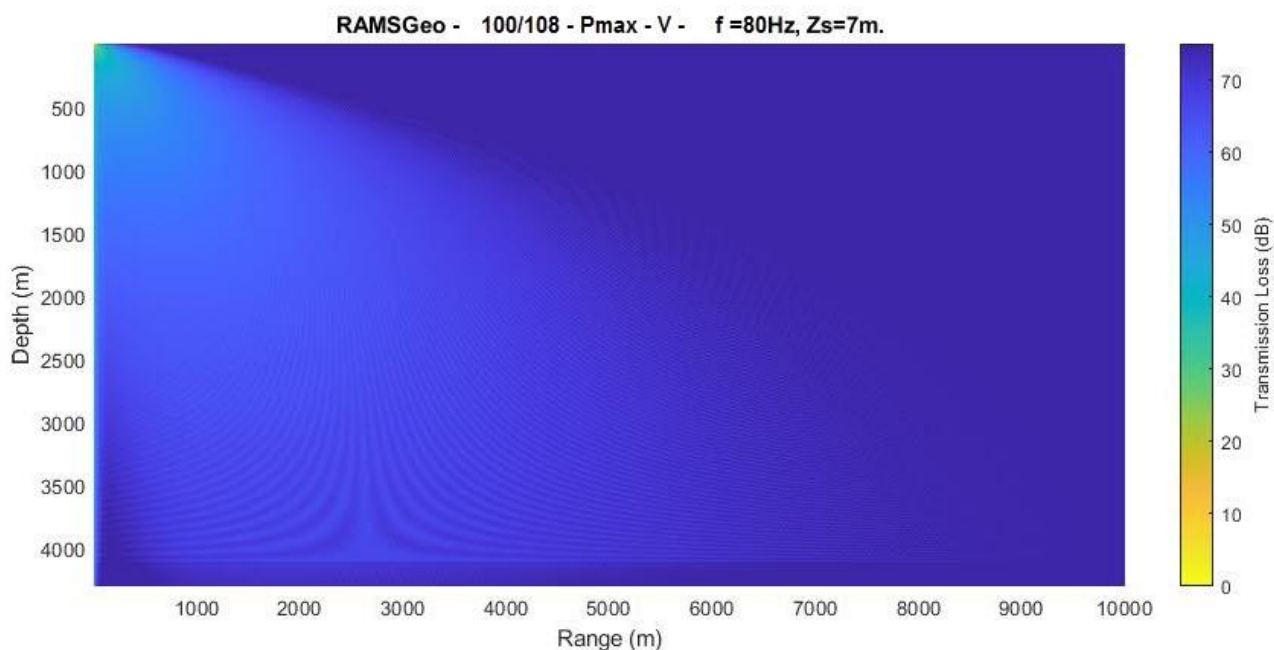


Figura 61. Pérdida de la Transmisión Teórica bidimensional del sonido con la distancia al punto de emisión. CAN 100 y CAN 108. Simulación 100/108-Pmax-CM-80 (máxima profundidad – verano). Suelo Fangos. Modelo RAMS



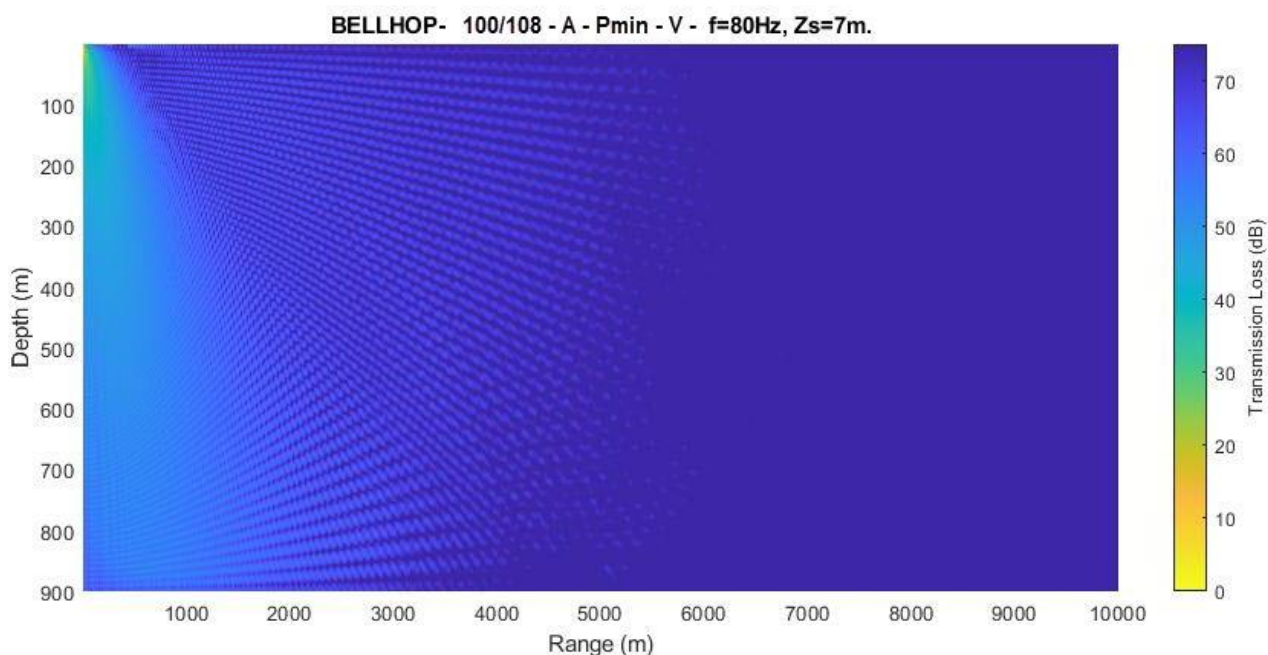


Figura 62. Pérdida de la Transmisión Teórica bidimensional del sonido con la distancia al punto de emisión. CAN 100 y CAN 108. Simulación 100/108-A-Pmin-V-80 (mínima profundidad – verano). Suelo Arenas. Modelo Bellhop

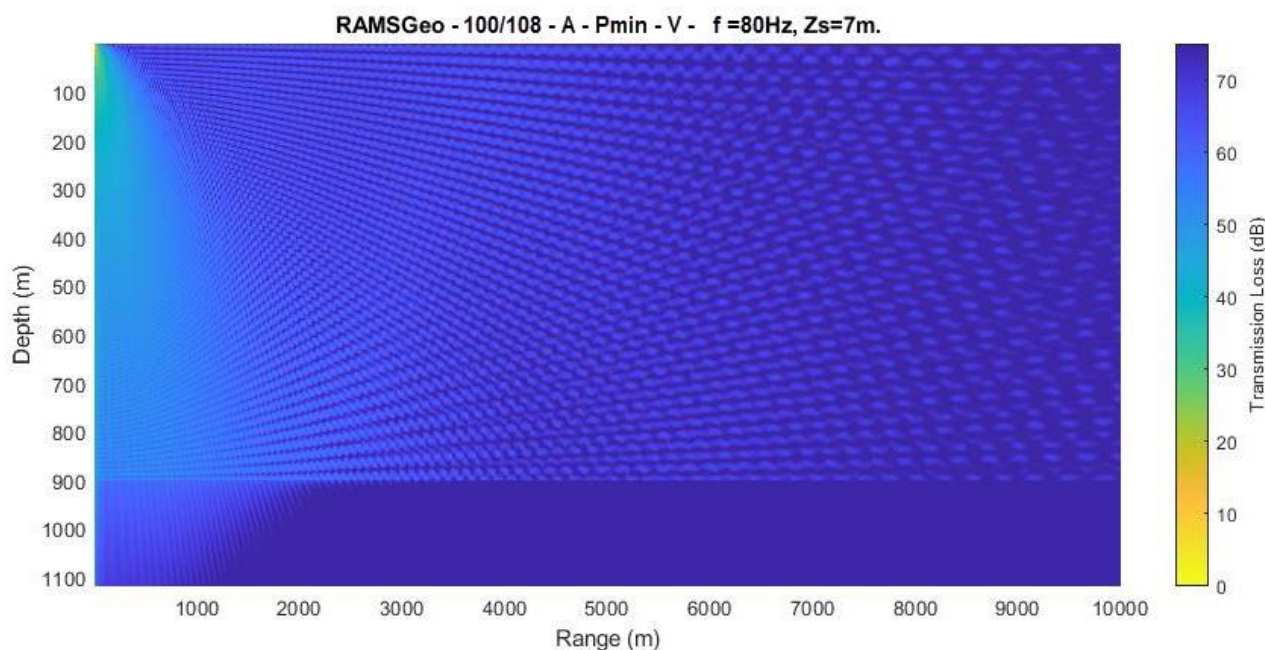


Figura 63. Pérdida de la Transmisión Teórica bidimensional del sonido con la distancia al punto de emisión. CAN 100 y CAN 108. Simulación 100/108-A-Pmin-CM-80 (mínima profundidad – verano). Suelo Arenas. Modelo RAMS



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

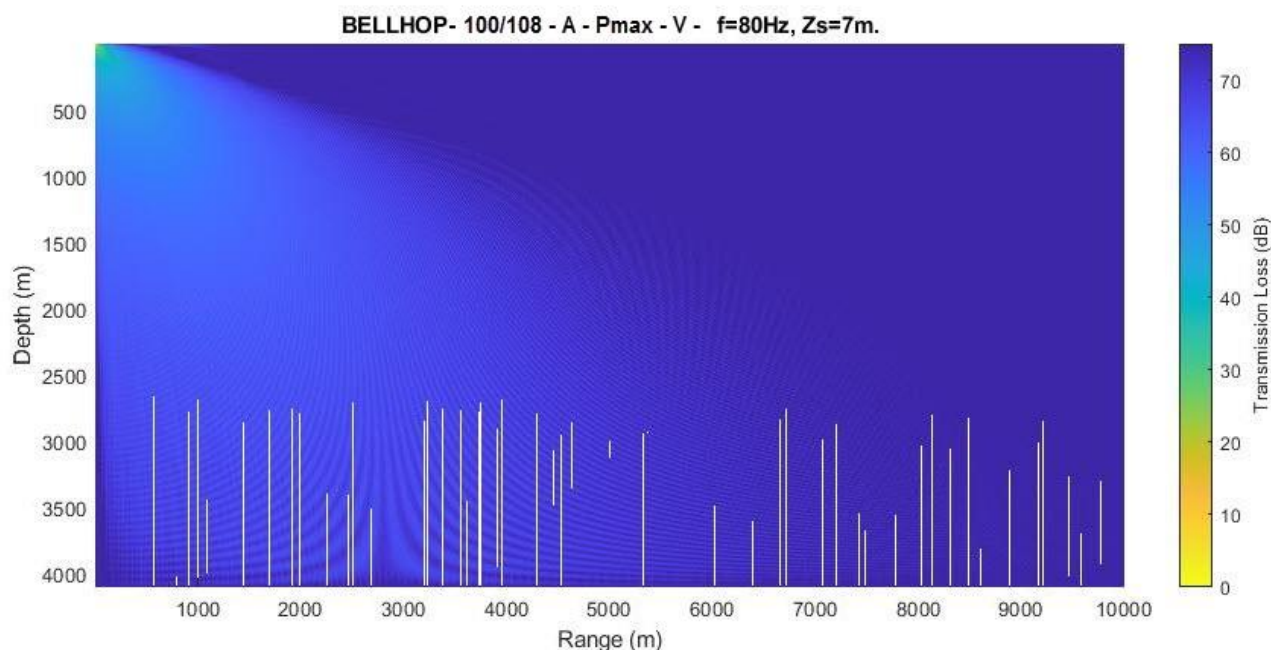


Figura 64. Pérdida de la Transmisión Teórica bidimensional del sonido con la distancia al punto de emisión. CAN 100 y CAN 108. Simulación 100/108-A-Pmax-V-80 (máxima profundidad – verano). Suelo Arenas. Modelo Bellhop

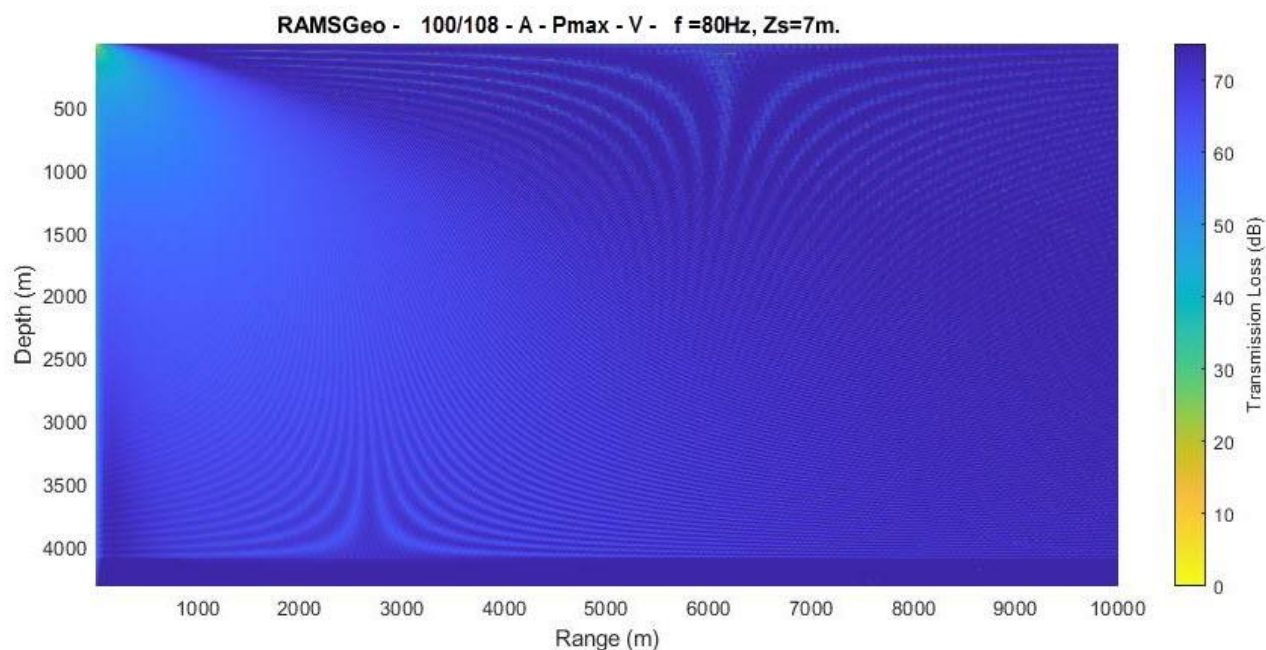


Figura 65. Pérdida de la Transmisión Teórica bidimensional del sonido con la distancia al punto de emisión. CAN 100 y CAN 108. Simulación 100/108-A-Pmax-CM-80 (máxima profundidad – verano). Suelo Arenas. Modelo RAMS



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

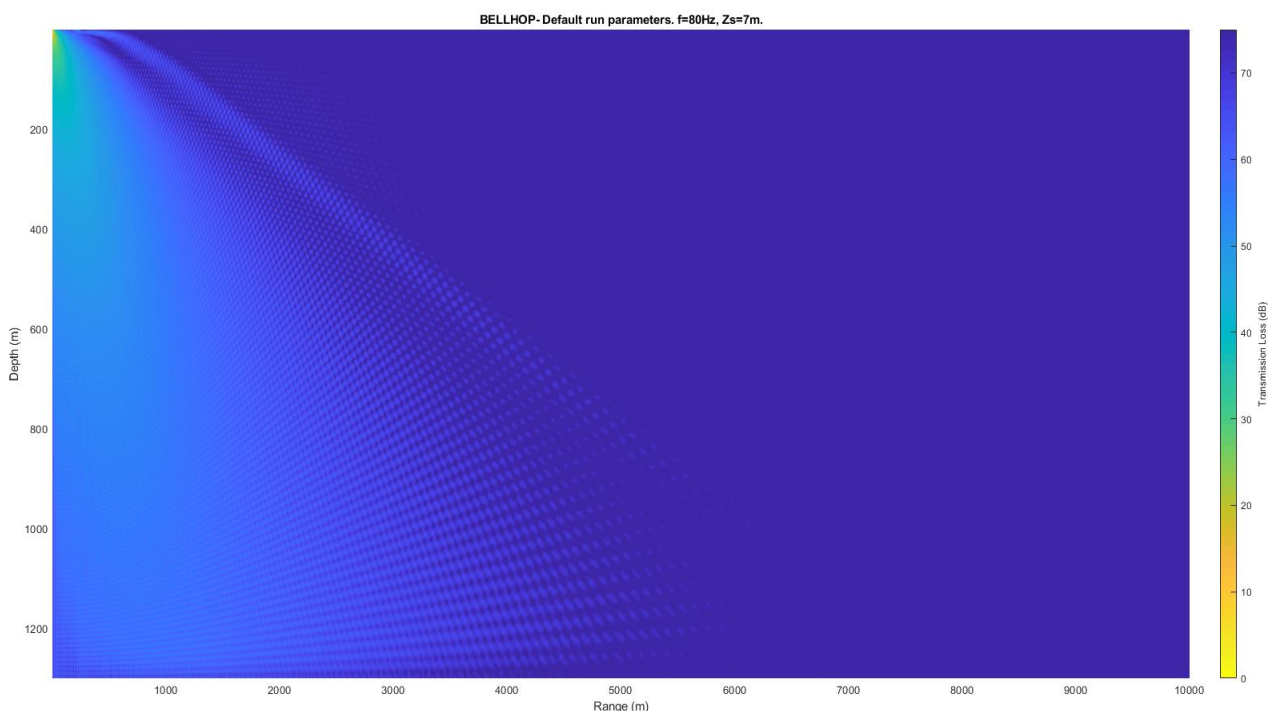


Figura 66. Pérdida de la Transmisión Teórica bidimensional del sonido con la distancia al punto de emisión. CAN 114. Simulación 114-Pmin-P-80 (mínima profundidad – primavera). Modelo Bellhop

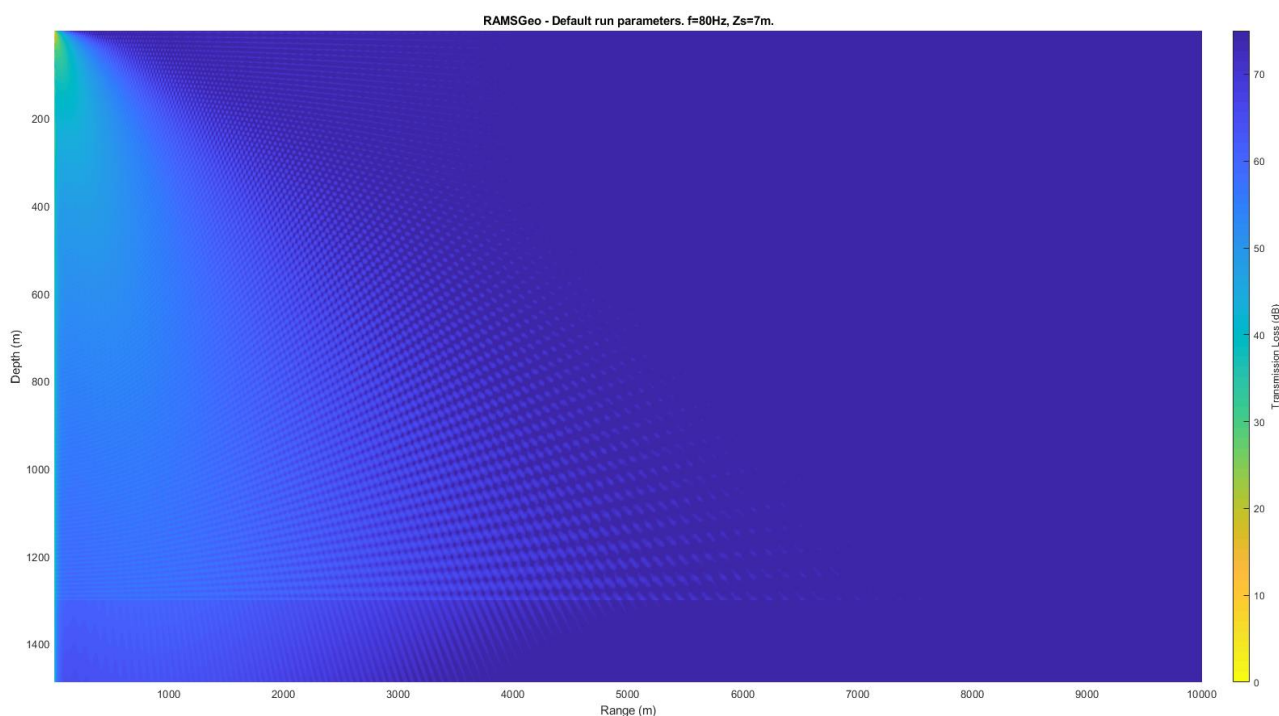


Figura 67. Pérdida de la Transmisión Teórica bidimensional del sonido con la distancia al punto de emisión. CAN 114. Simulación 114-Pmin-P-80 (mínima profundidad – primavera). Modelo RAMS



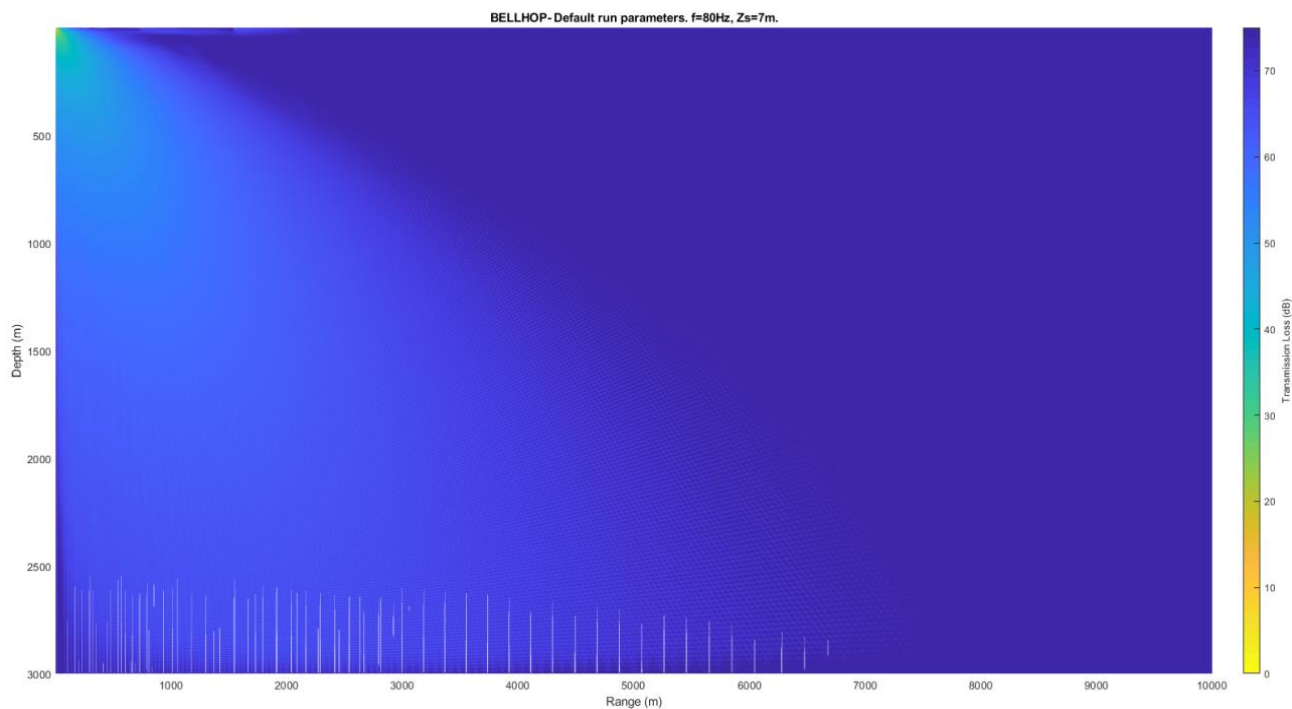


Figura 68. Pérdida de la Transmisión Teórica bidimensional del sonido con la distancia al punto de emisión. CAN 114. Simulación 114-Pmax-V-80 (máxima profundidad – verano). Modelo Bellhop

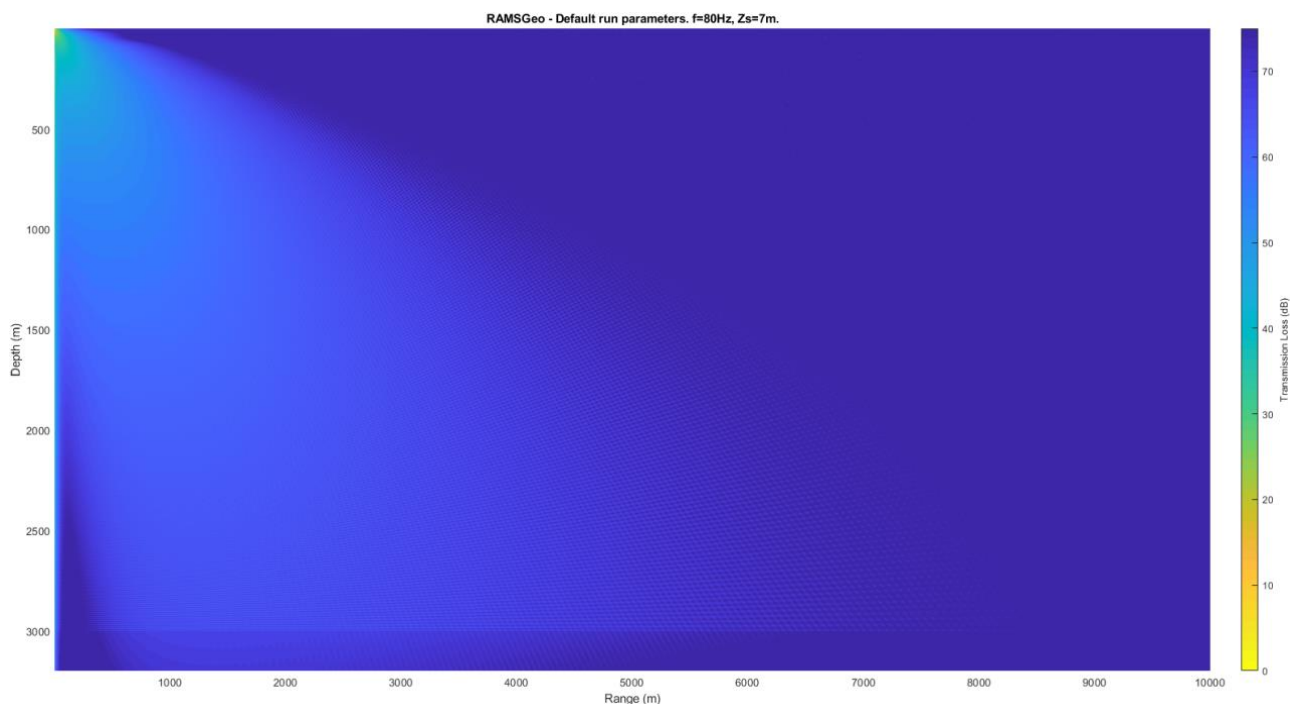


Figura 69. Pérdida de la Transmisión Teórica bidimensional del sonido con la distancia al punto de emisión. CAN 114. Simulación 114-Pmax-V-80 (máxima profundidad – verano). Modelo RAMS



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 7 a la Tabla 9) 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 muy 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 a la profundidad de agua, siendo ésta una zona de grandes profundidades (entre 900 m y 4.100 m para ambas áreas).

En cuanto a la distancia a la zona de emisión (arreglo) para la cual se obtiene una atenuación de 49,3 dB, umbral TTS para Cetáceos de frecuencias muy altas (VHF), también a los efectos prácticos, la conclusión obtenida es que la misma es del orden de 610 metros para las áreas CAN 100 y CAN 108, y de 510 metros para el área CAN 114.

El límite convencional de afectación SPL pK 190 dB re 1 μ Pa (0-p) se alcanza a los 1.900 m en las áreas CAN 100 y CAN 108 y 1.200 m en el área CAN 114.



4 MODELACIÓN DEL NIVEL DE EXPOSICIÓN ACÚSTICA (SEL) ACUMULADO

4.1 INTRODUCCIÓN

Uno de los criterios para analizar el impacto del sonido sobre la biota, es considerar la amplitud sonora SPLPEAK o valor pico del SPL (0-p) en dB re 1 μ Pa que recibe.

Por otro lado, se emplea también 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.

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

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):

$$\text{SPL RMS} = \text{SEL} - 10 \log_{10}(T)$$

El SEL se expresa como dB re 1 $\mu\text{Pa}^2 \text{ s}$ 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 $\text{Log}_{10}(1)=0$ (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 diferencian, 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 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 70 y Figura 71, 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.

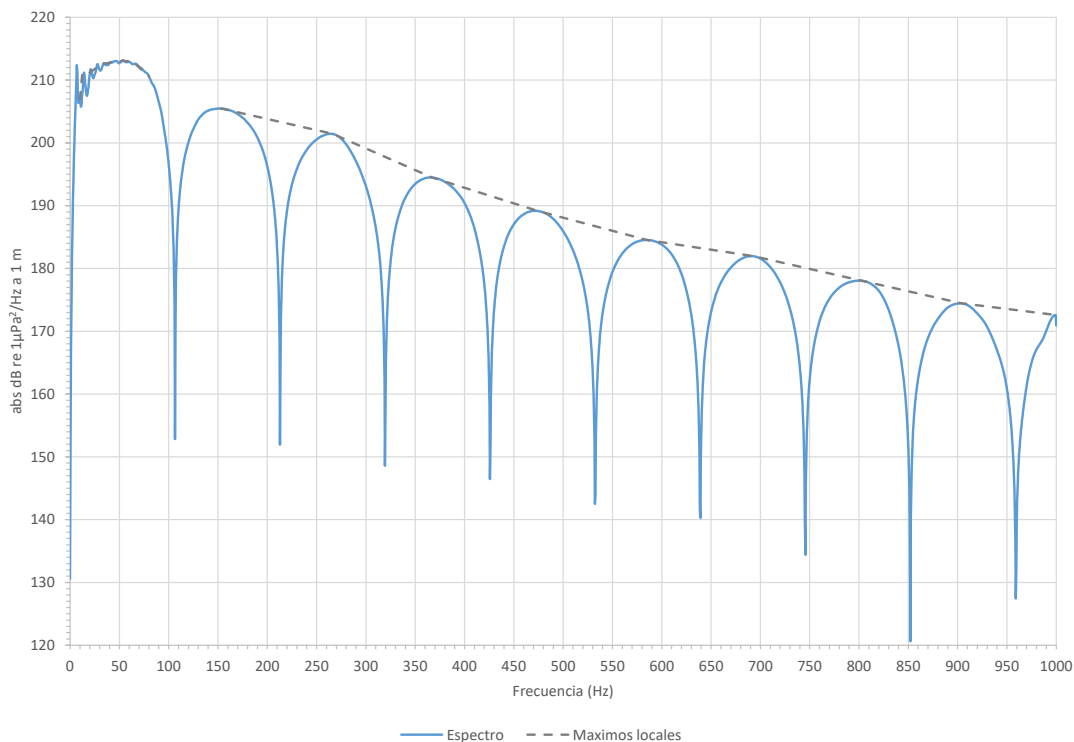


Figura 70. Firma vertical del espectro (dB absoluto) de un arreglo típico de 4.030 cu.in. a 7 metros de profundidad.



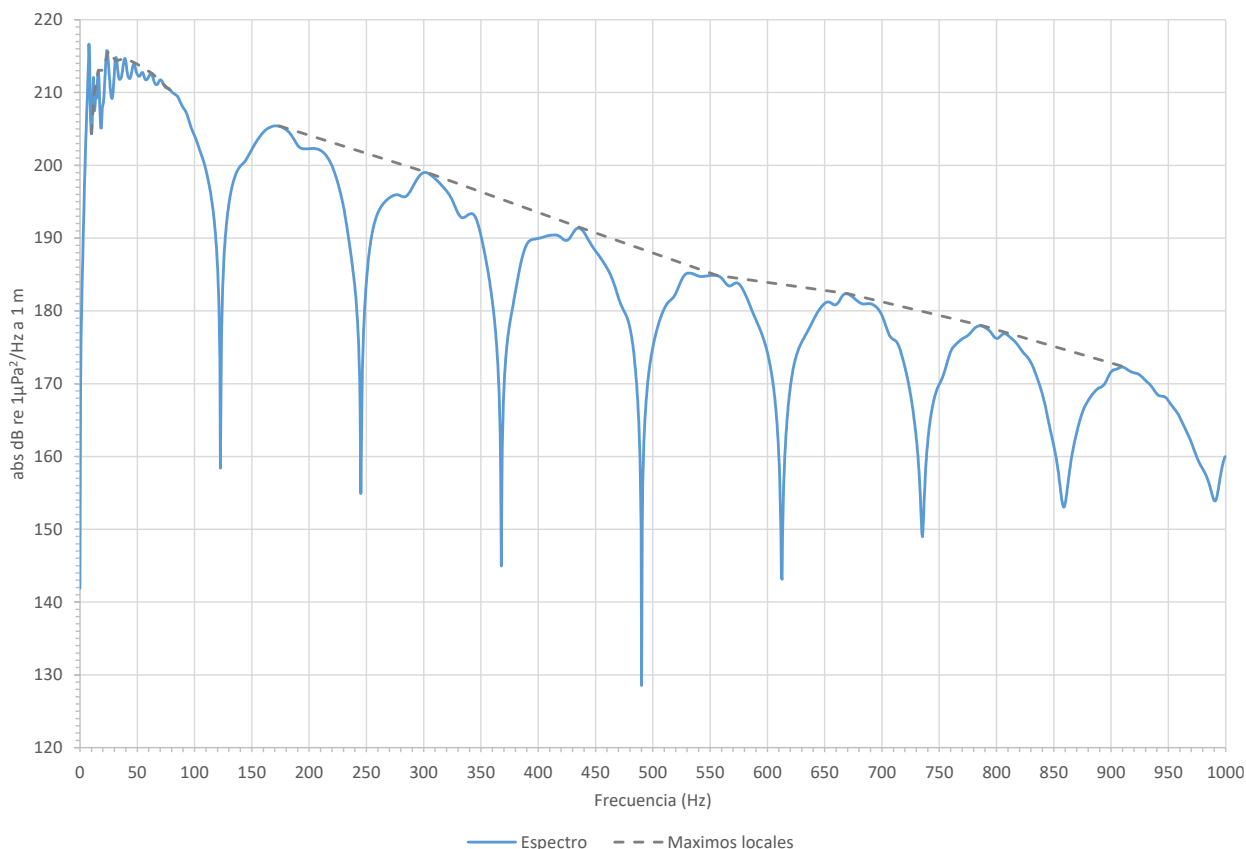


Figura 71. Firma vertical del espectro (dB absoluto) del arreglo de 5.400 cu.in. a 6 metros de profundidad.

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 72 y la Figura 73, 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 74 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 75 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.



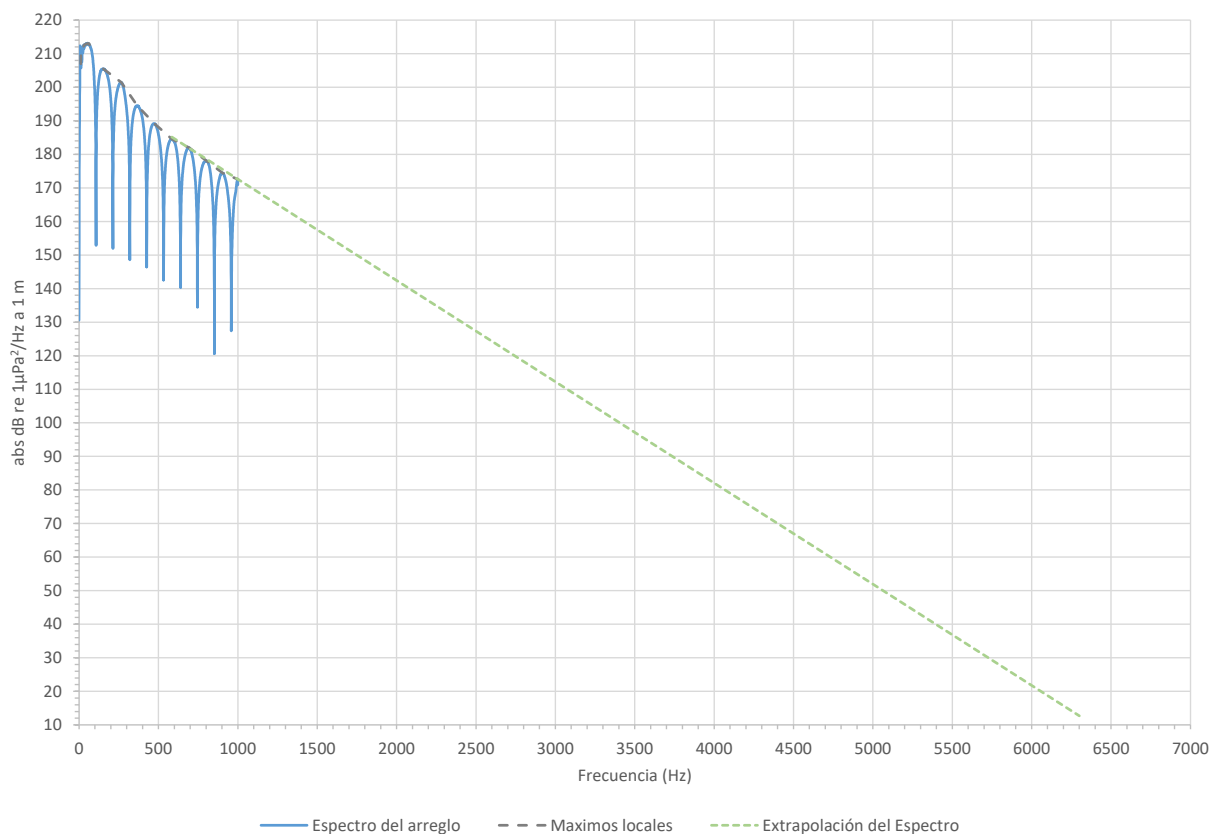


Figura 72. Firma vertical extendida del espectro de un arreglo típico de 4.030 cu.in. a 7 metros de profundidad.

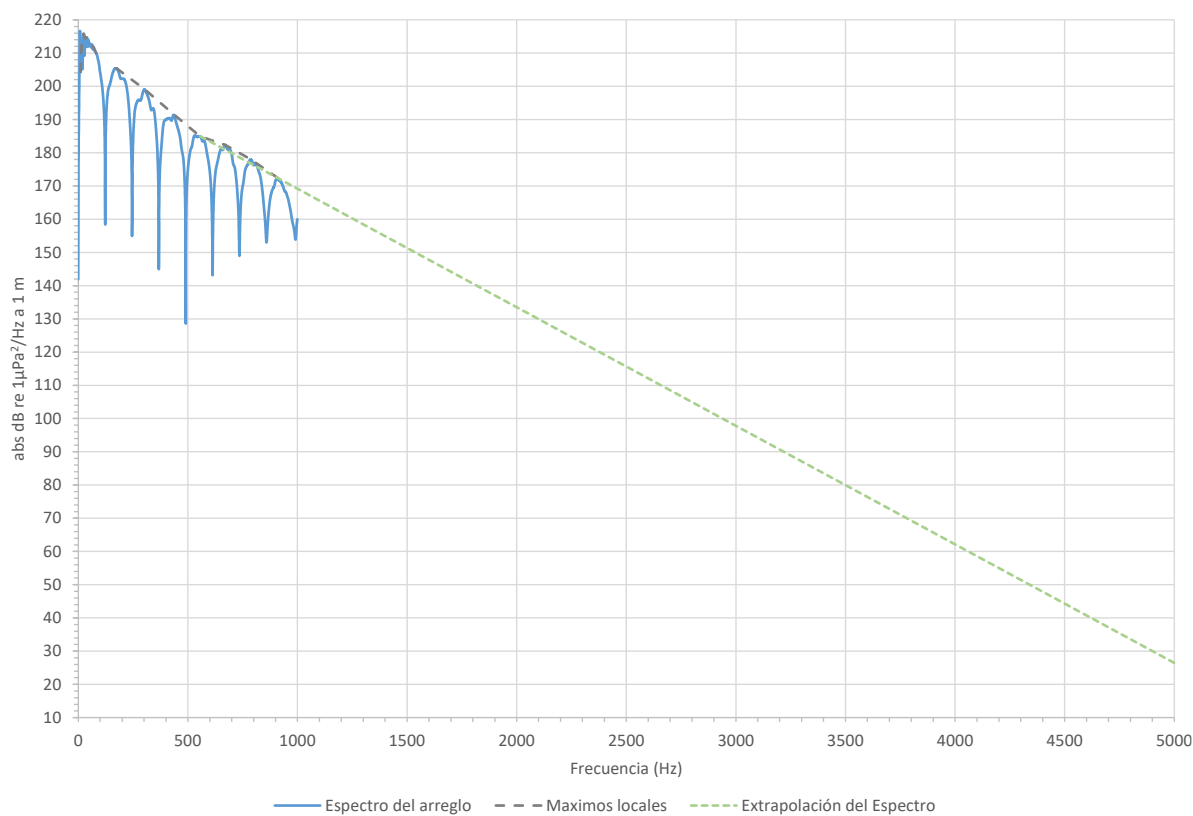


Figura 73. Firma vertical extendida del espectro del arreglo de 5.400 cu.in. a 6 metros de profundidad.

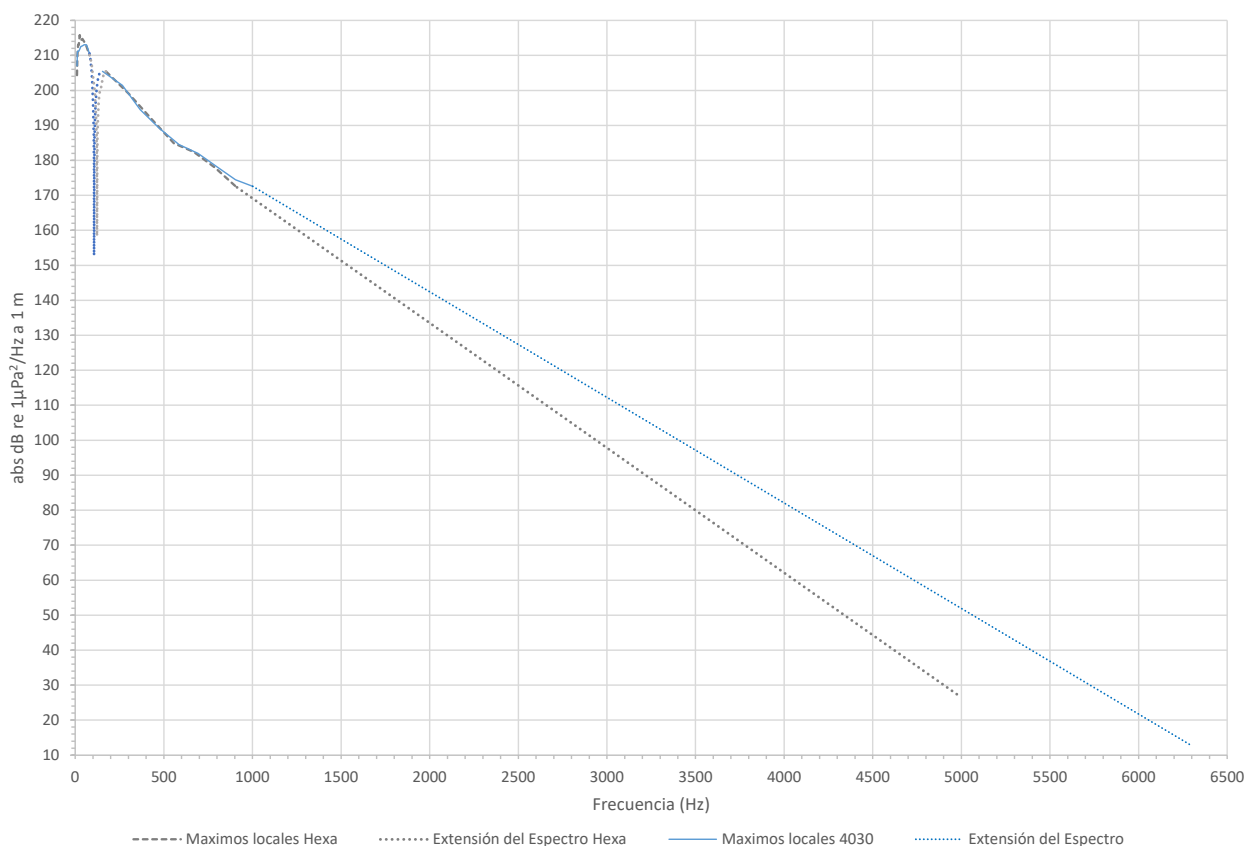


Figura 74. Firma vertical extendida simplificada y extrapolada del espectro de ambos arreglos.

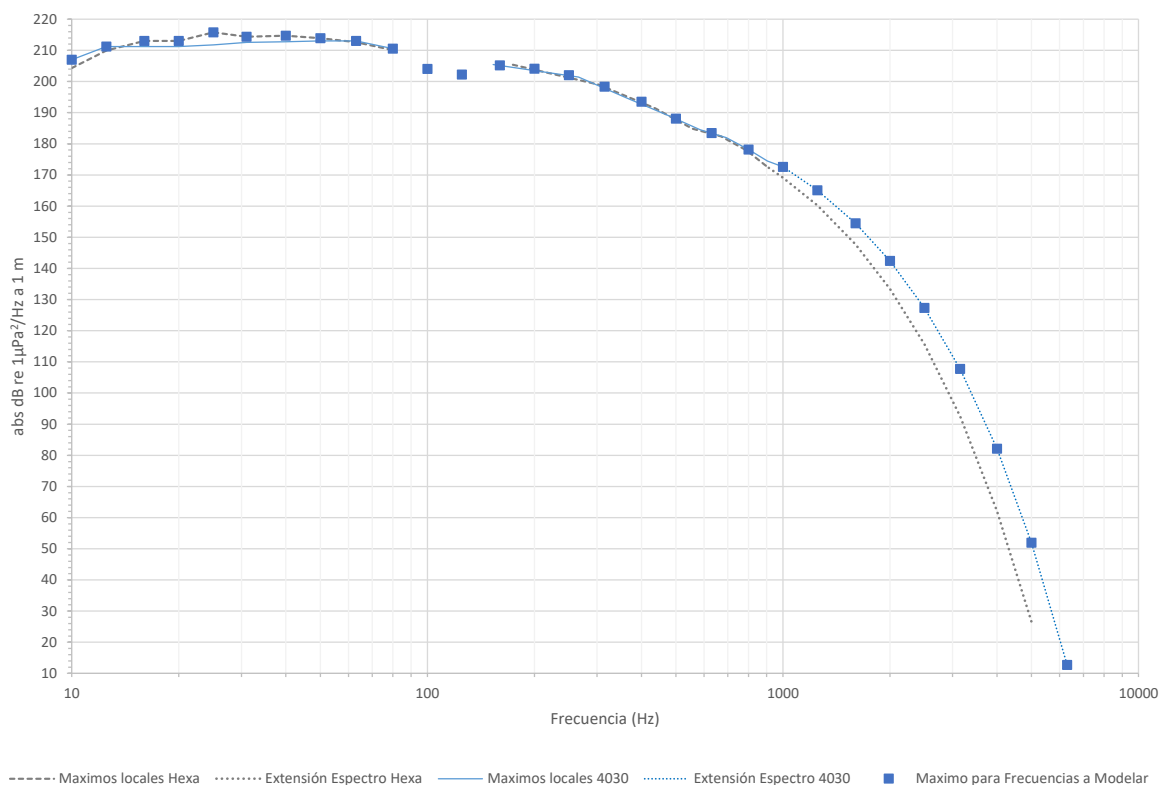


Figura 75. Firma vertical extendida simplificada y extrapolada del espectro de ambos arreglos y valores máximos adoptados para las frecuencias del espectro discretizado.



4.3 PÉRDIDAS POR ABSORCIÓN

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

$$\alpha = 0.106 \frac{f_1 f^2}{f_1^2 + f^2} e^{(pH-8)/0.56} + 0.52(1 + \frac{T}{43}) \frac{S}{35} \frac{f_2 f^2}{f_2^2 + f^2} e^{-z/6} + 4.9 \times 10^{-4} f^2 e^{-(T/27+z/17)}$$

$f_1 = 0.78(S/35)^{1/2} e^{T/26}$ $f_2 = 42 e^{T/17}$; f [kHz], α [dB/km]
 $-6 < T < 35^\circ\text{C}$ ($S=35\text{ppt}$, $pH=8$, $z=0$)
Rango de Validez: $7.7 < pH < 8.3$ ($T=10^\circ\text{C}$, $S=35\text{ppt}$, $z=0$)
 $5 < S < 50\text{ppt}$ ($T=10^\circ\text{C}$, $pH=8$, $z=0$)
 $0 < z < 7\text{km}$ ($T=10^\circ\text{C}$, $S=35\text{ppt}$, $pH=8$)

Las condiciones típicas del área de estudio para la estación del año más conservativa (verano), corresponden a temperaturas superficiales entre aproximadamente 10° y 15°, y temperaturas en zonas profundas inferiores entre 1°C y 4°C y una salinidad media del orden de 34,5 ppt. Los valores obtenidos para una temperatura de 10°C se presentan en la Figura 76. 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 decaimiento 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, y la consideración de una temperatura de 10°C resulta ligeramente conservativa.

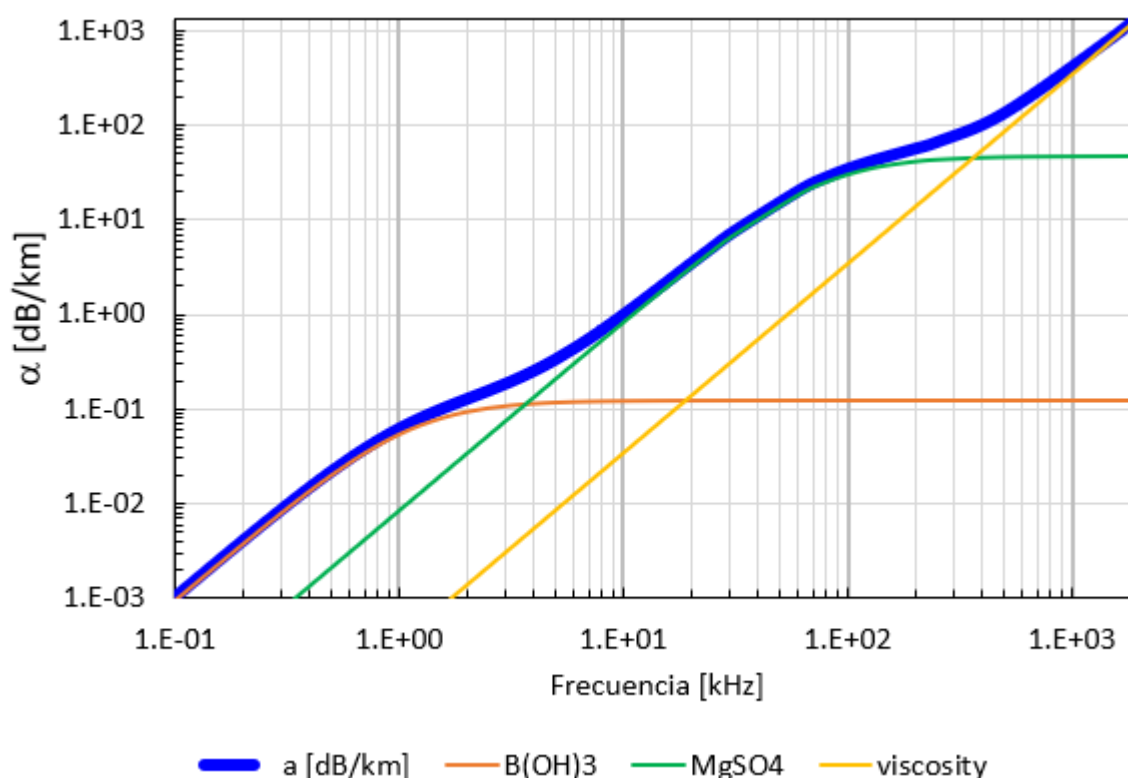


Figura 76. Pérdidas por absorción en función de la frecuencia según la dominancia del Ácido Bórico (B(OH)_3), moléculas de Sulfato de Magnesio (MgSO_4) y Viscosidad.



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, correspondiente a los siguientes sedimentos:

- Verano y lecho marino con Arenas para CAN 100 y CAN 108.
- Verano y lecho marino con Fangos para CAN 114.

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 TL_{min} en toda la columna de agua para cada frecuencia, lo cual se ilustra en la Figura 77 para CAN 100 y CAN 108, y en la Figura 78 para CAN 114, 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 TL_{min} 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 79 (CAN 100 y CAN 108) y en la Figura 80 (CAN 114).

Los valores de TL_{min} para frecuencias muy bajas (10 Hz a 25 Hz) tienden a ser más altos o similares a las pérdidas teóricas esféricas en prácticamente todo el rango espacial. Los resultados de la modelación para las frecuencias mayores se ubican hasta en un rango intermedio entre las pérdidas teóricas esféricas y cilíndricas, acercándose a las pérdidas cilíndricas a grandes distancias. 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 TL_{min} correspondiente según la distancia “d” al punto de emisión.

El valor de SEL para cada banda es filtrado para cada especie calculando el dB_{ha} (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 Focidos), PO (Pinnípedos Otáridos y otros carnívoros). Para los peces se considera el valor SEL sin filtrar.



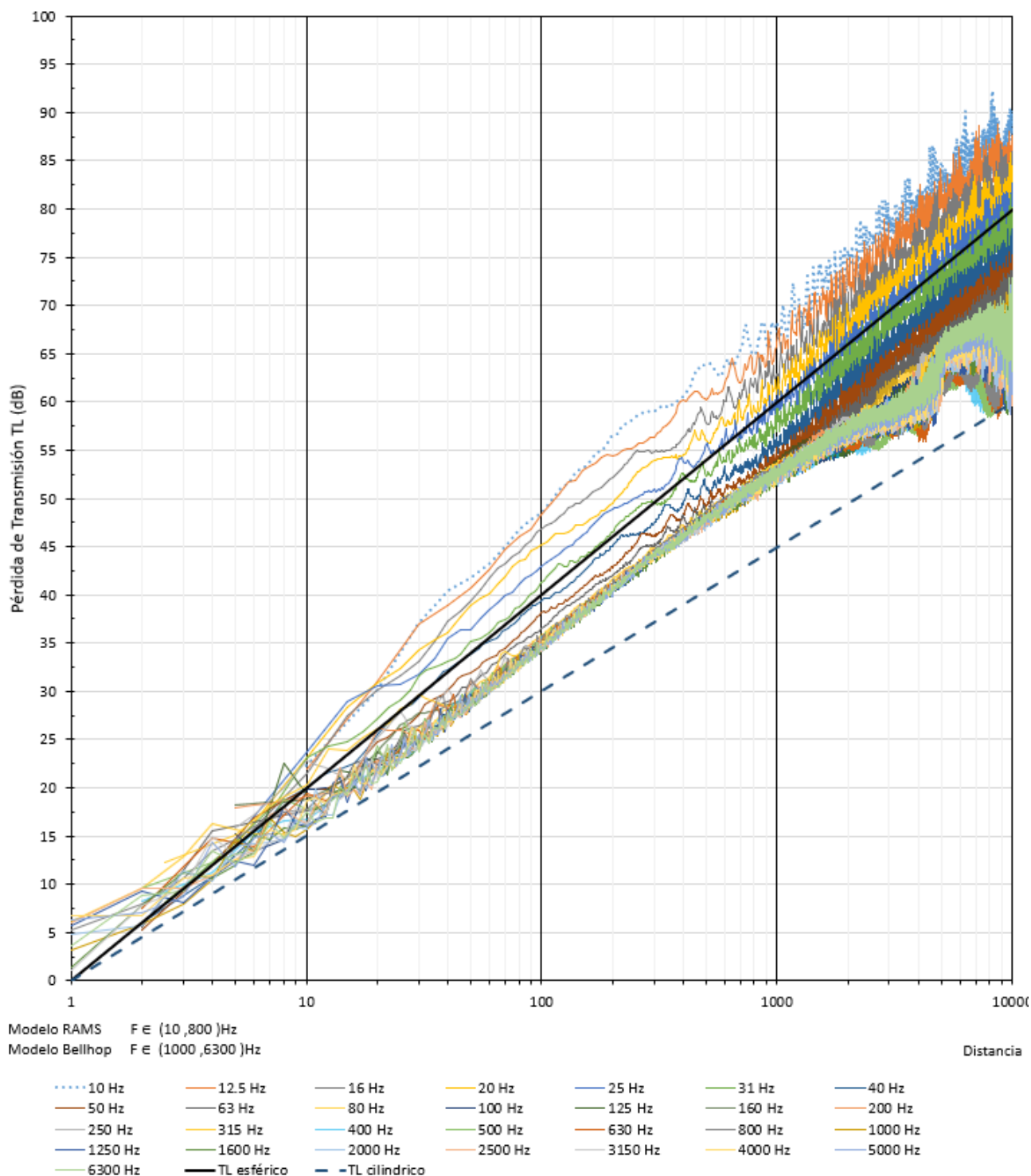


Figura 77. Pérdidas de Transmisión mínimas en la columna de agua para cada frecuencia (CAN 100 y CAN 108)



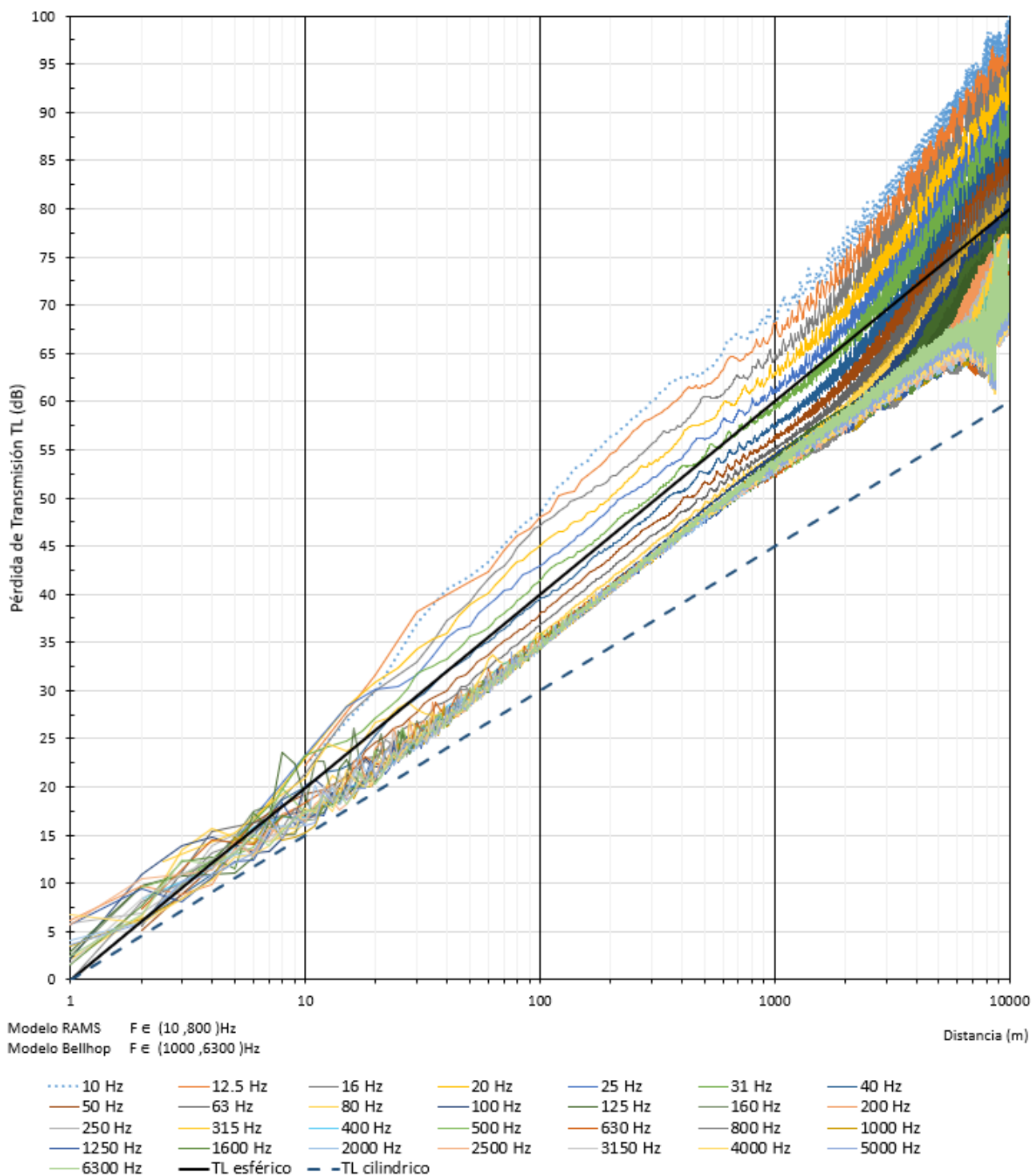


Figura 78. Pérdidas de Transmisión mínimas en la columna de agua para cada frecuencia (CAN 114)



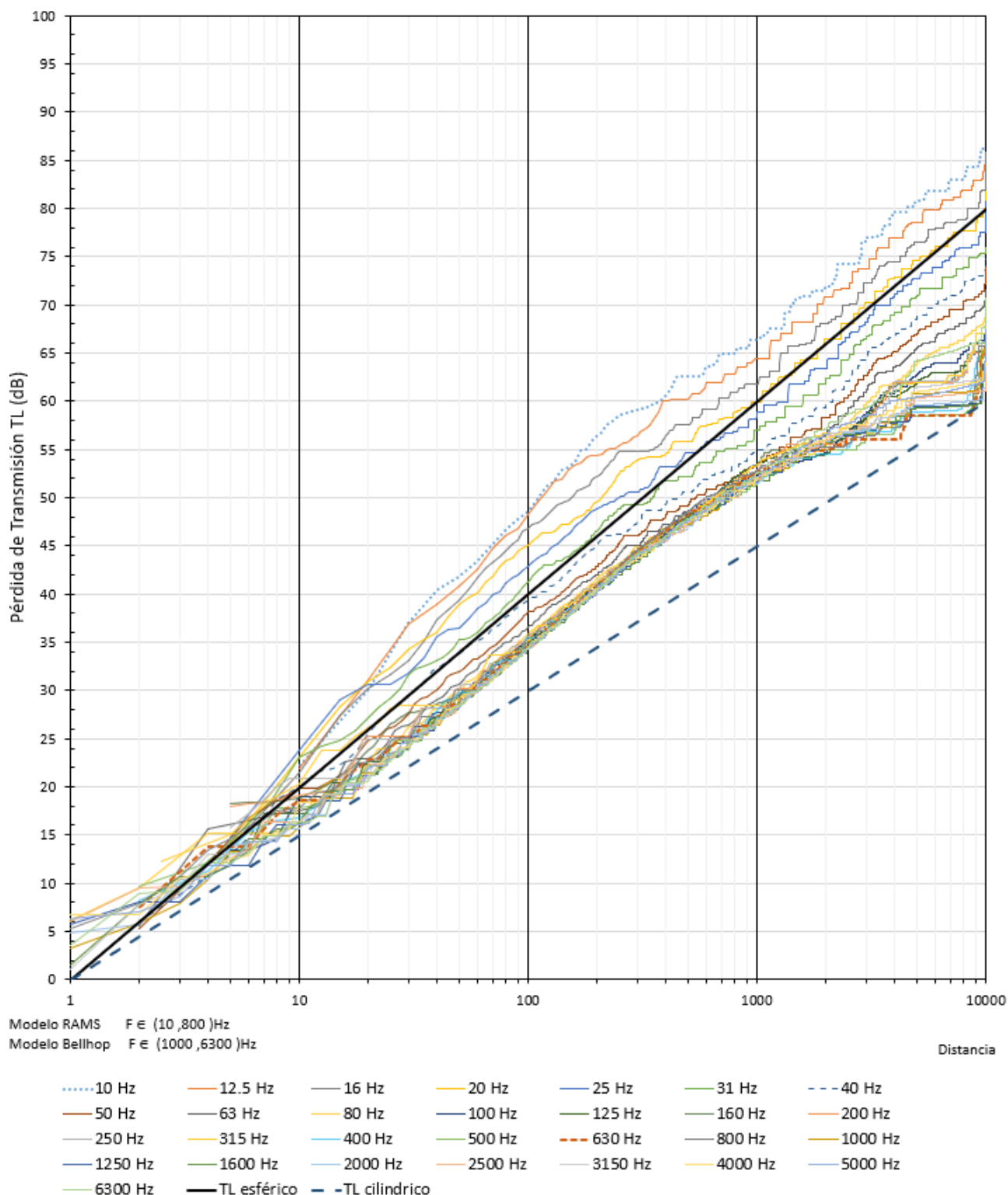


Figura 79. Pérdidas de Transmisión mínimas en la columna de agua y para cada distancia a la fuente, y para cada frecuencia (CAN 100 y CAN 108)



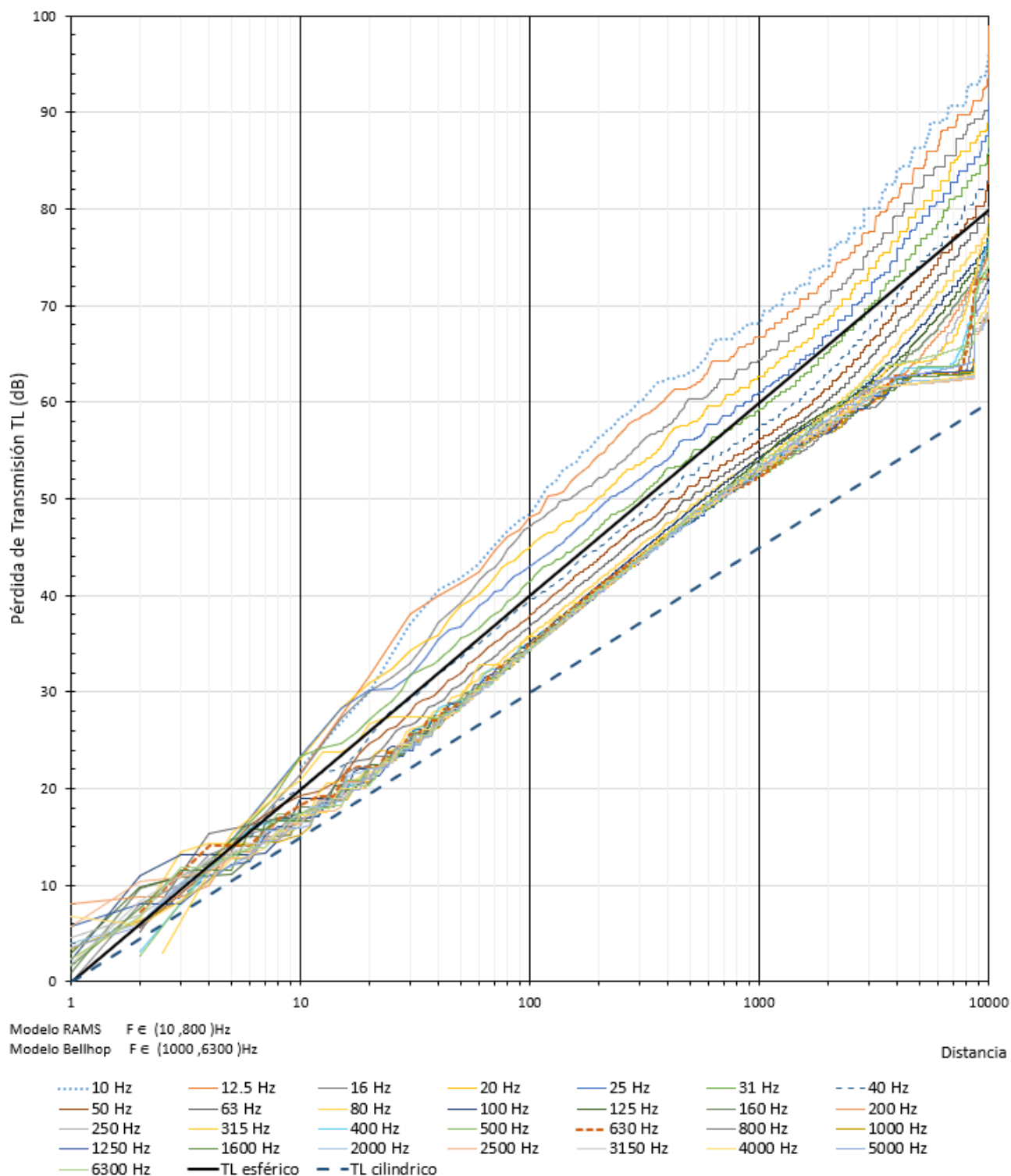


Figura 80. Pérdidas de Transmisión mínimas en la columna de agua y para cada distancia a la fuente, y para cada frecuencia (CAN 114)

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



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

Los coeficientes de la fórmula de cálculo se presentan en la siguiente tabla y en la Figura 81.

Tabla 14. 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 Otáridos y otros carnívoros | 2,0 | 2,0 | 940 | 25.000 | 0,64 |

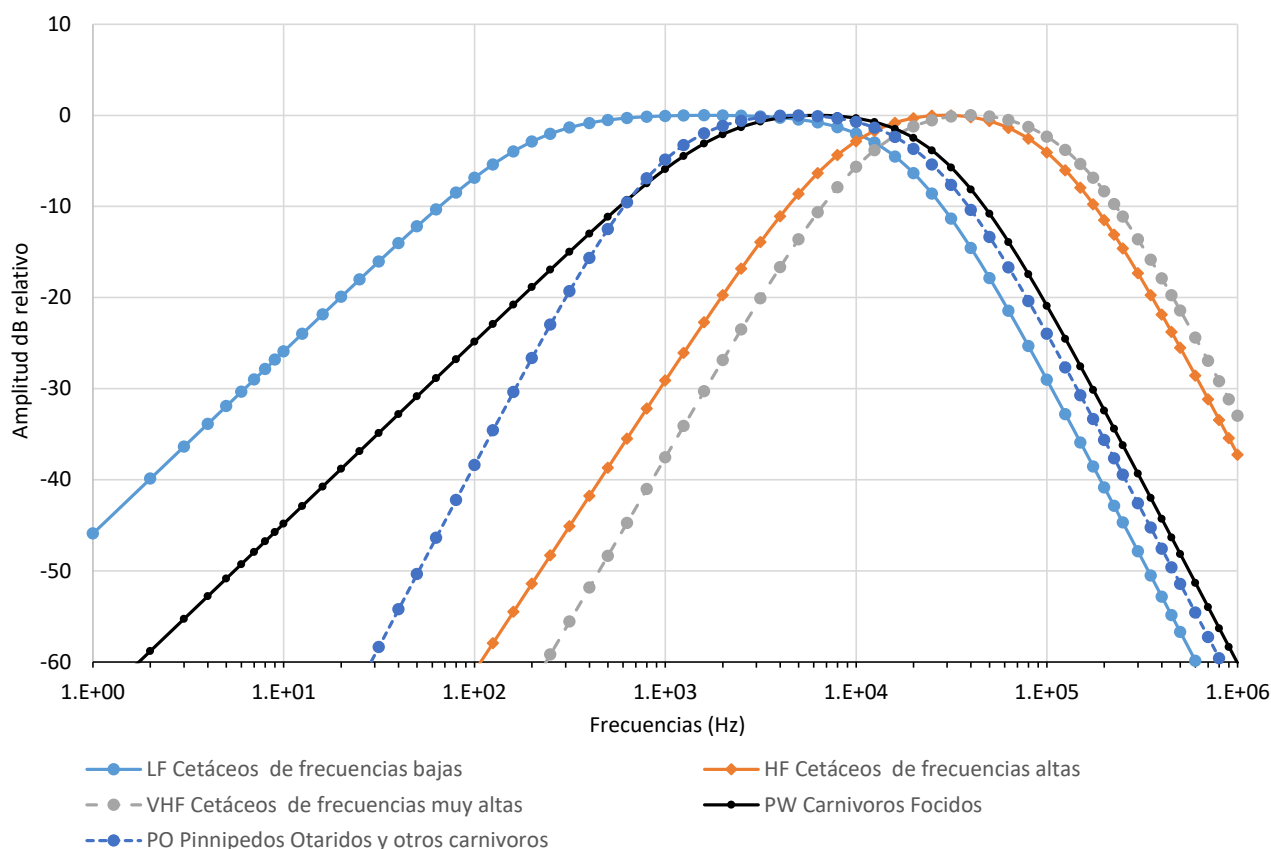


Figura 81. Funciones de peso (audiogramas) para diferentes especies.

Este procedimiento genera una serie de valores SEL(d) dB re 1 µPa² s y 5 series de SEL(d) dBha re 1 µPa² s, para distancias “d” entre 1 metro y 10.000 metros.

En la Figura 82 a la Figura 87 se presentan los valores de SEL correspondientes para CAN 100 y CAN 108. Por otra parte, en la Figura 88 a la Figura 93 se presentan para CAN 114.



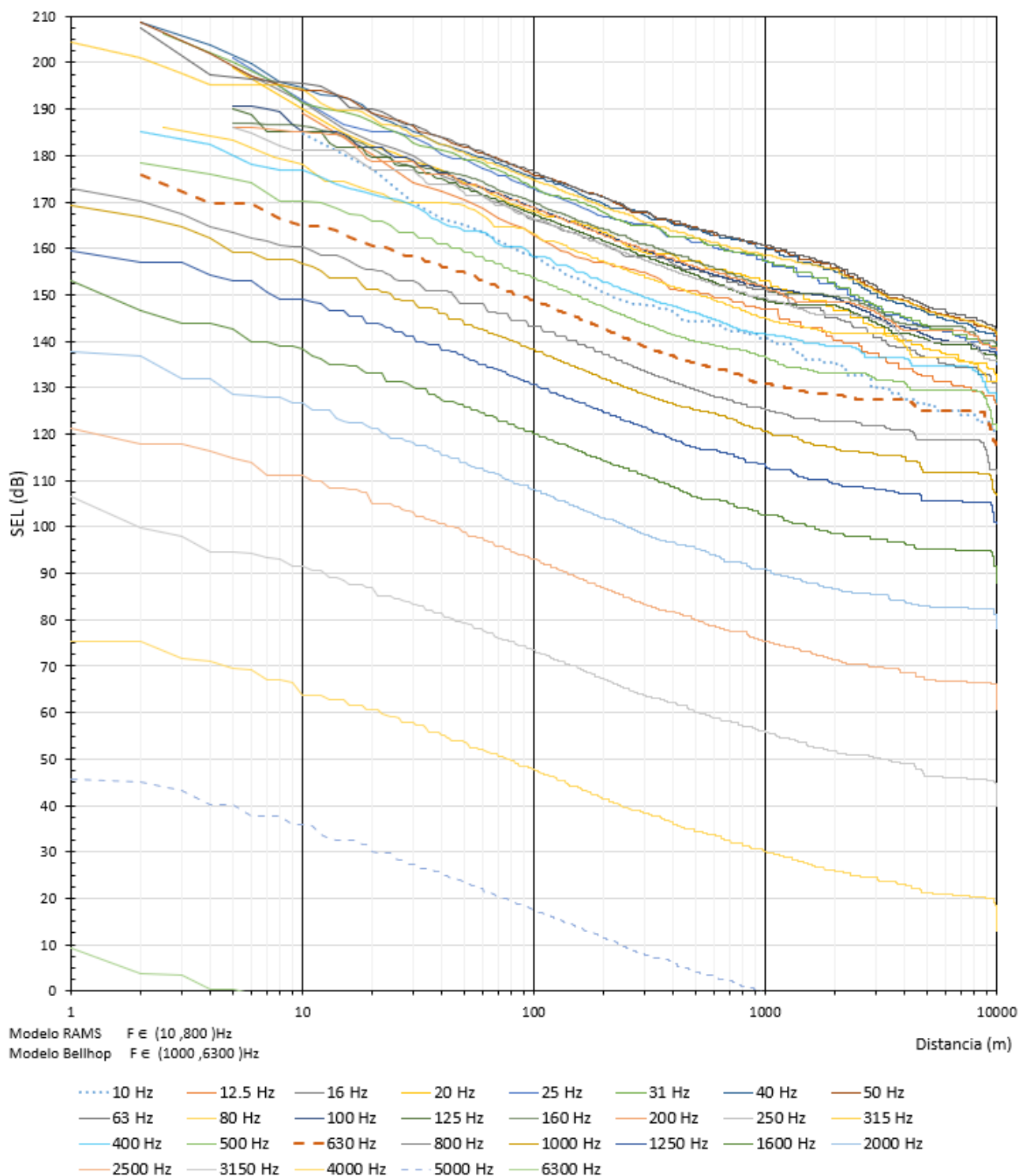


Figura 82. Transmisión máxima del SEL en función de la distancia a la fuente, para cada frecuencia. Valores sin filtrar. (CAN 100 y CAN 108)



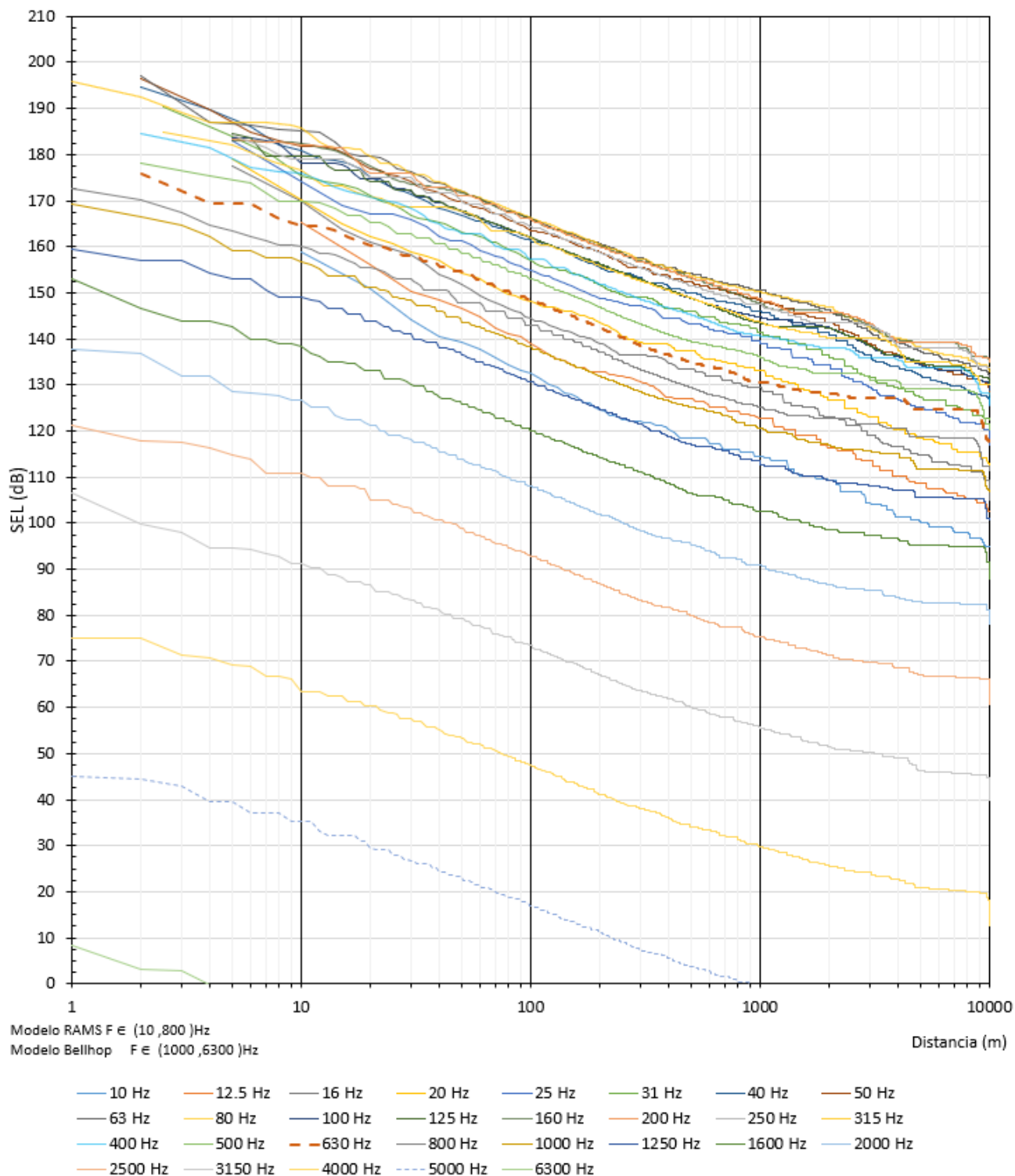


Figura 83. Transmisión máxima del SEL en función de la distancia a la fuente, para cada frecuencia. Valores filtrados por el Audiograma de Cetáceos de frecuencias bajas (LF). (CAN 100 y CAN 108)



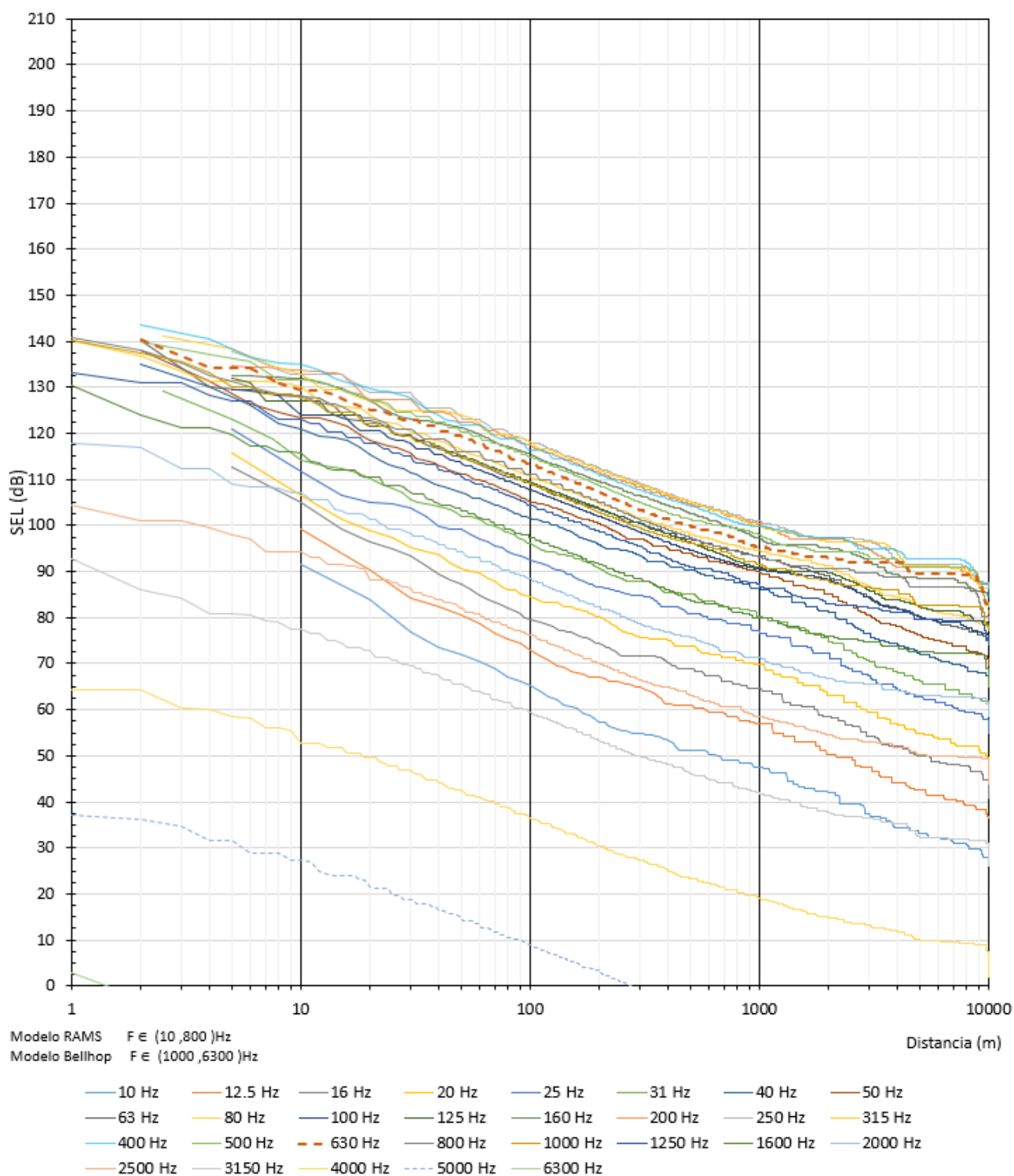


Figura 84. Transmisión máxima del SEL en función de la distancia a la fuente, para cada frecuencia. Valores filtrados por el Audiograma de Cetáceos de frecuencias altas (HF). (CAN 100 y CAN 108)



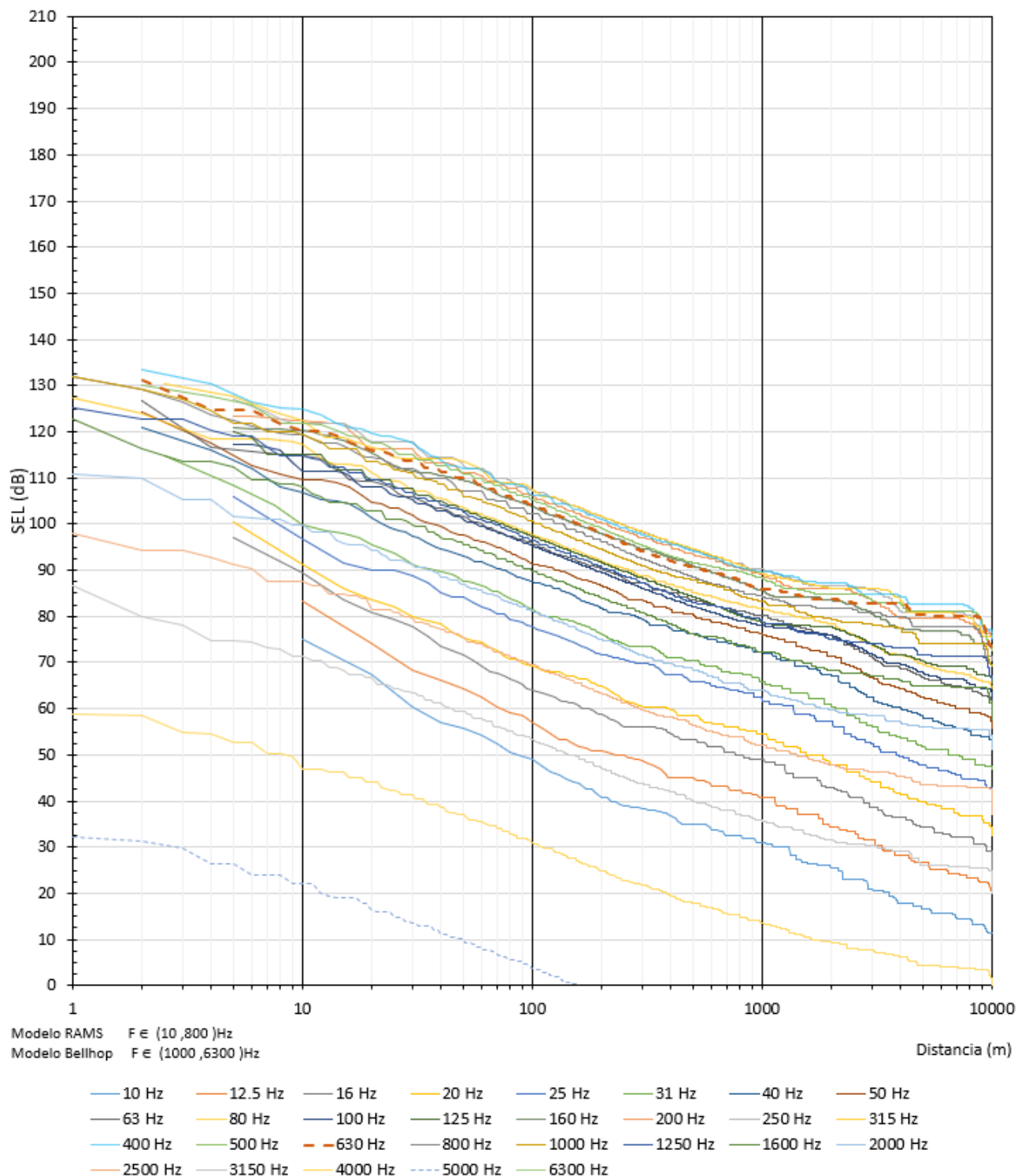


Figura 85. Transmisión máxima del SEL en función de la distancia a la fuente, para cada frecuencia. Valores filtrados por el Audiograma de Cetáceos de frecuencias muy altas (VHF). (CAN 100 y CAN 108)



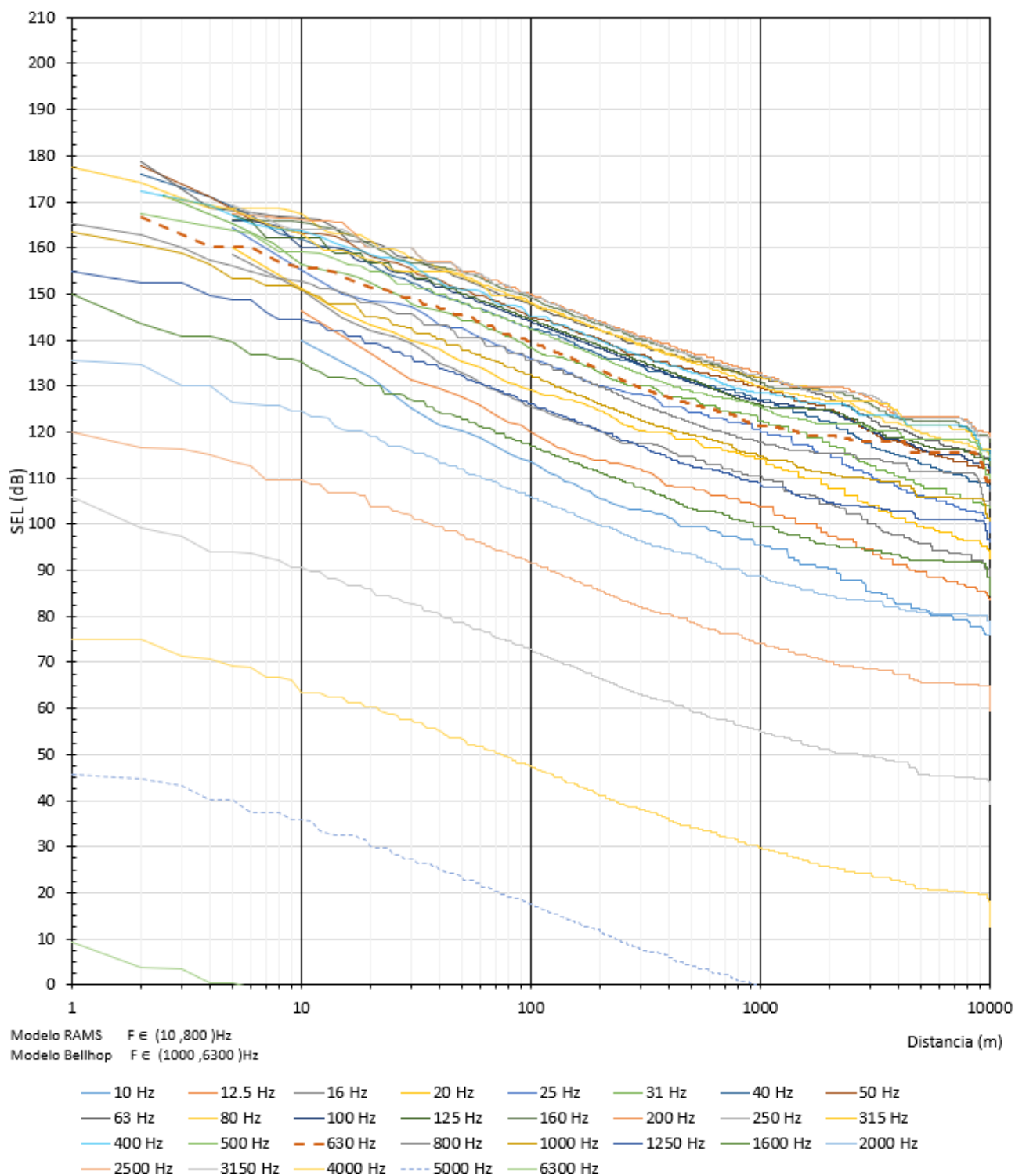


Figura 86. Transmisión máxima del SEL en función de la distancia a la fuente, para cada frecuencia. Valores filtrados por el Audiograma de Carnívoros Fácidos (PW). (CAN 100 y CAN 108)



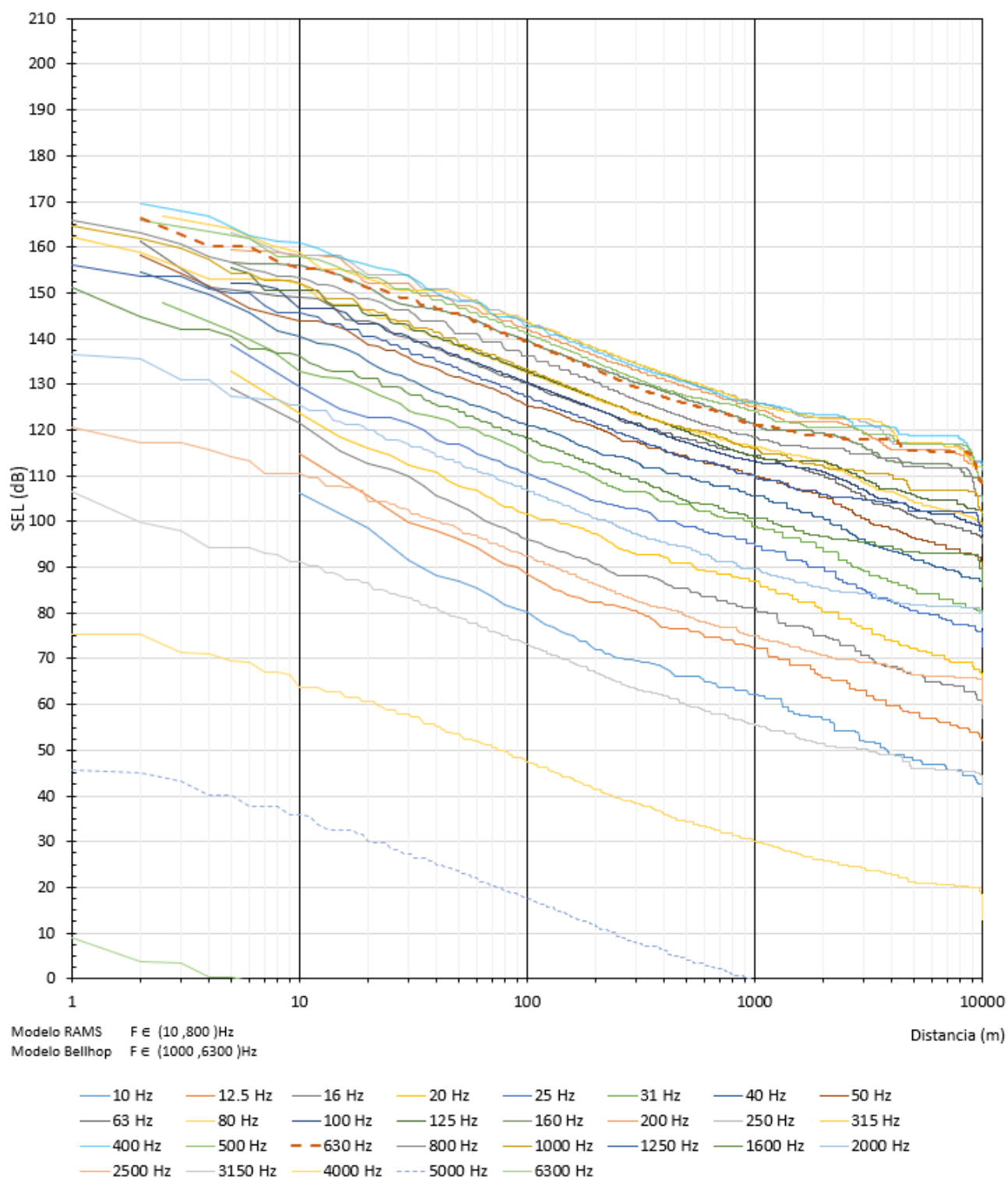


Figura 87. Transmisión máxima del SEL en función de la distancia a la fuente, para cada frecuencia. Valores filtrados por el Audiograma de Pinnípedos Otaridos y otros carnívoros (PO). (CAN 100 y CAN 108)



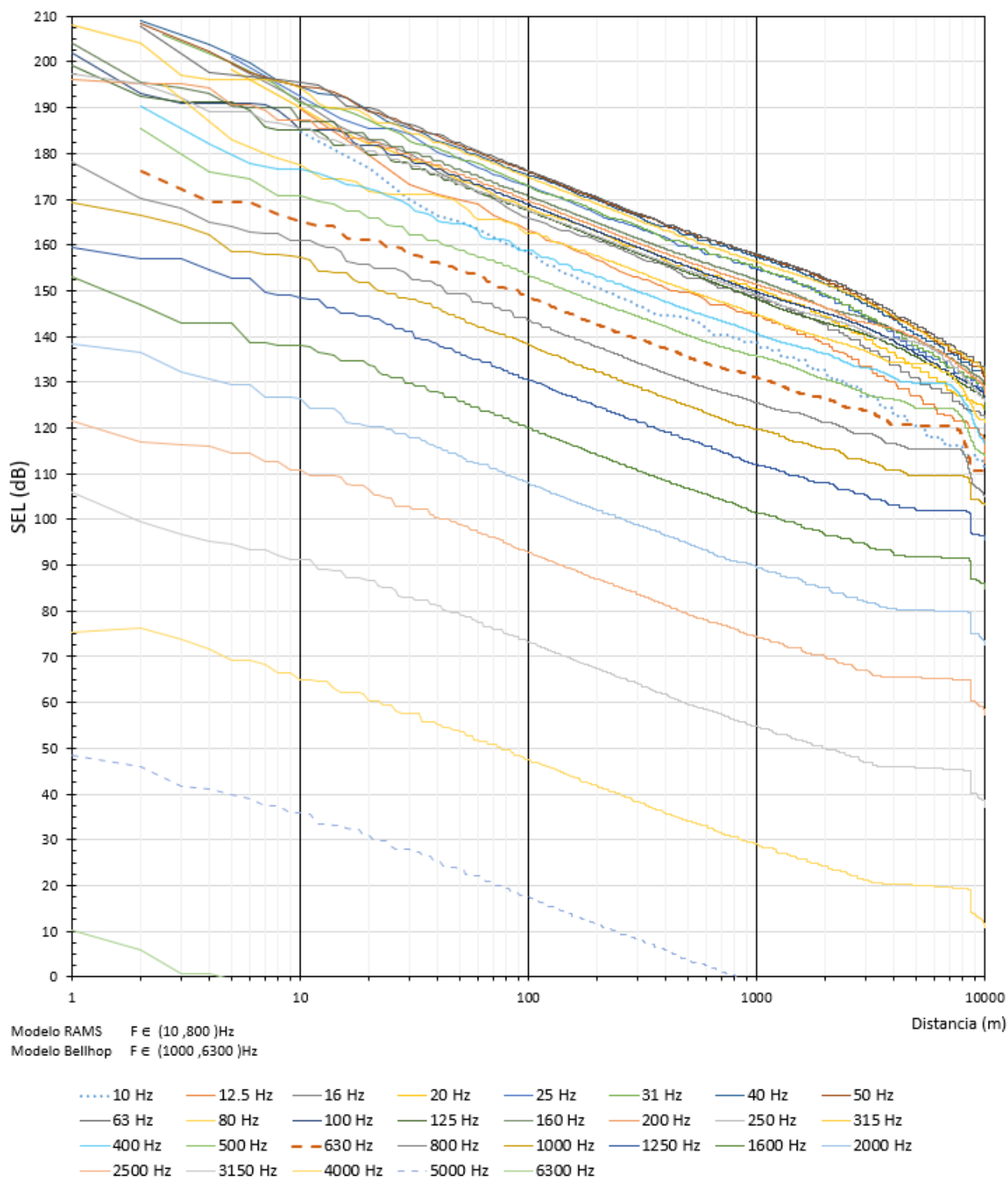


Figura 88. Transmisión máxima del SEL en función de la distancia a la fuente, para cada frecuencia. Valores sin filtrar. (CAN 114)



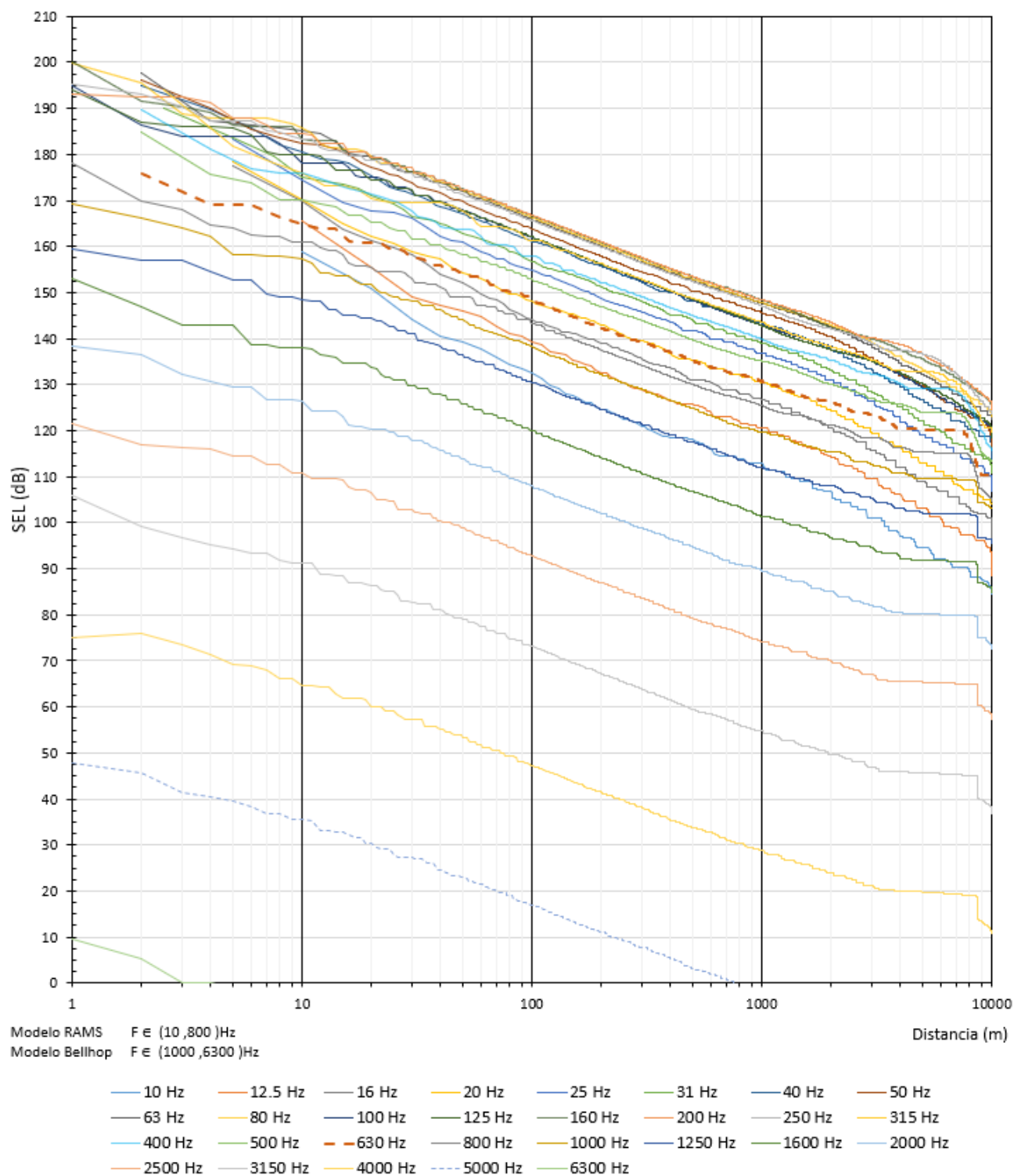


Figura 89. Transmisión máxima del SEL en función de la distancia a la fuente, para cada frecuencia. Valores filtrados por el Audiograma de Cetáceos de frecuencias bajas (LF). (CAN 114)



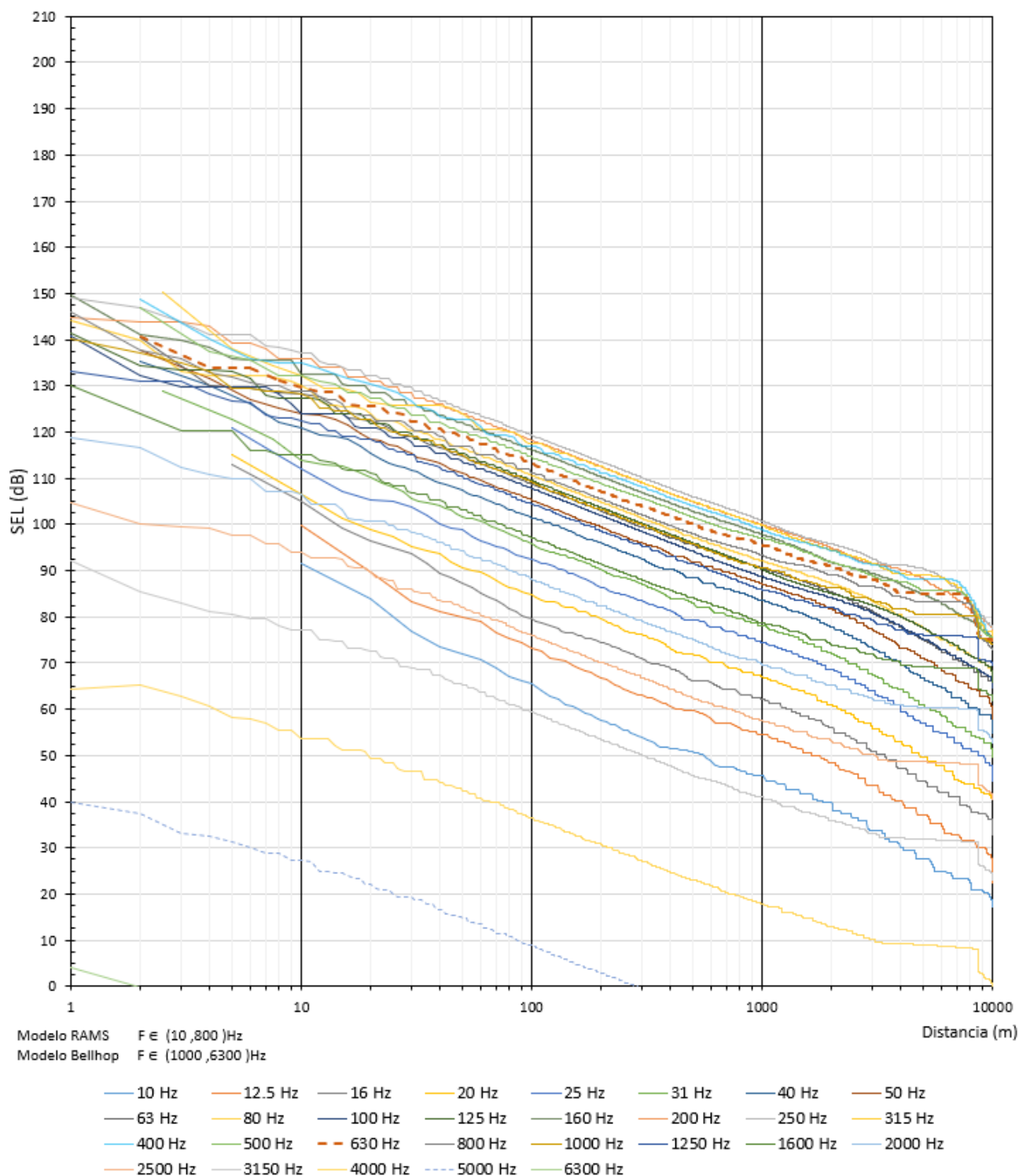


Figura 90. Transmisión máxima del SEL en función de la distancia a la fuente, para cada frecuencia. Valores filtrados por el Audiograma de Cetáceos de frecuencias altas (HF). (CAN 114)



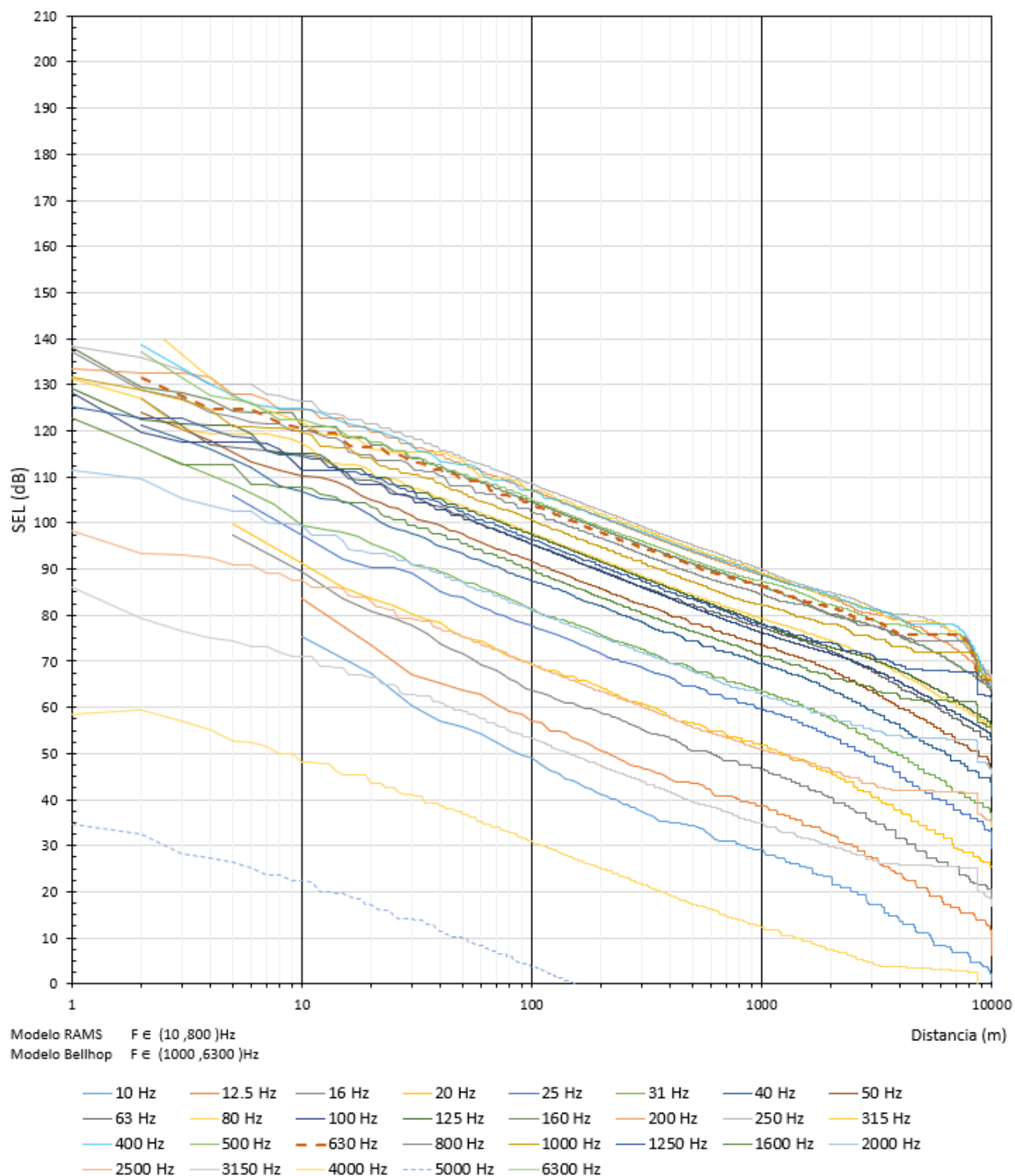


Figura 91. Transmisión máxima del SEL en función de la distancia a la fuente, para cada frecuencia. Valores filtrados por el Audiograma de Cetáceos de frecuencias muy altas (VHF). (CAN 114)



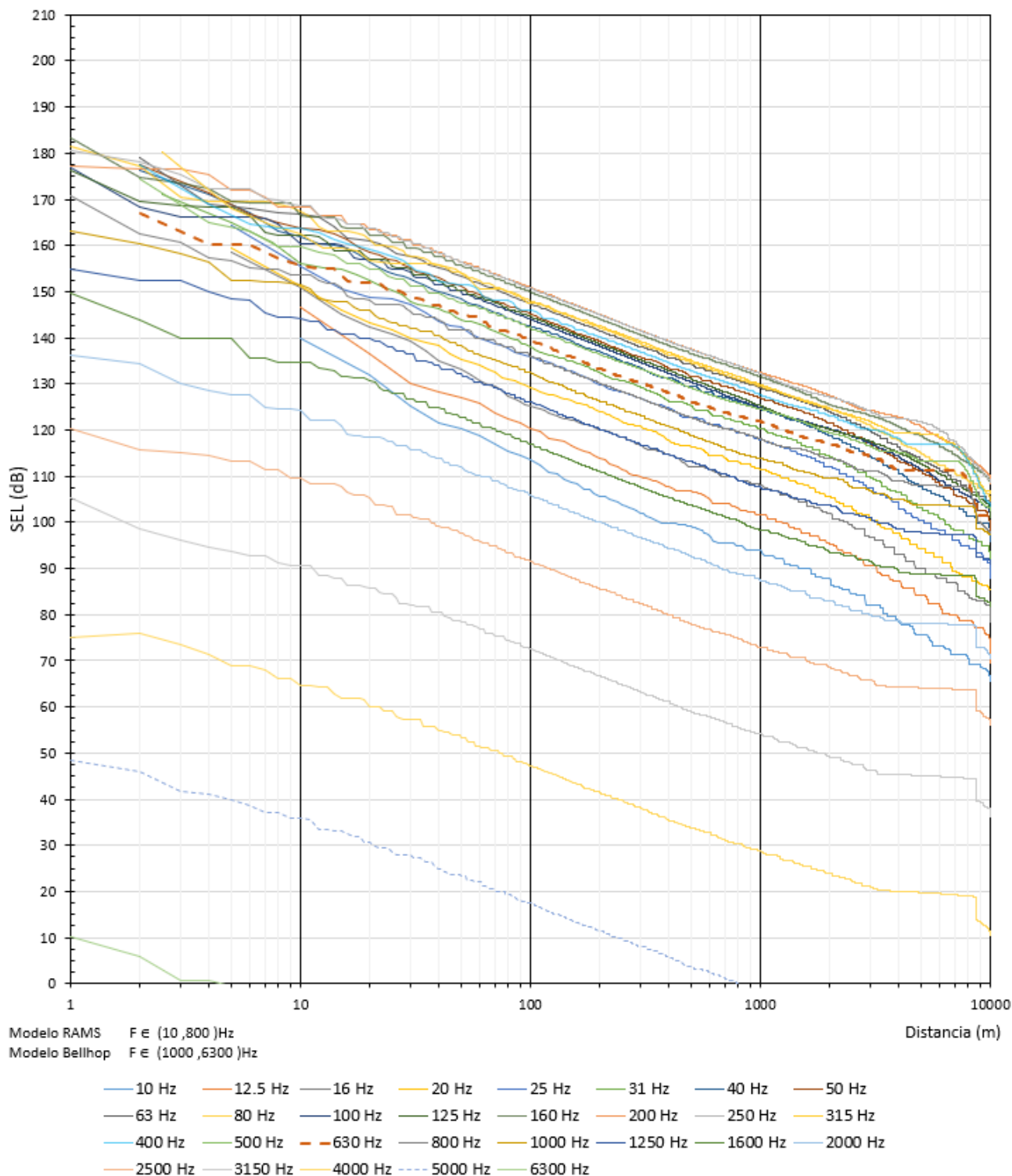


Figura 92. Transmisión máxima del SEL en función de la distancia a la fuente, para cada frecuencia. Valores filtrados por el Audiograma de Carnívoros Focidos (PW). (CAN 114)



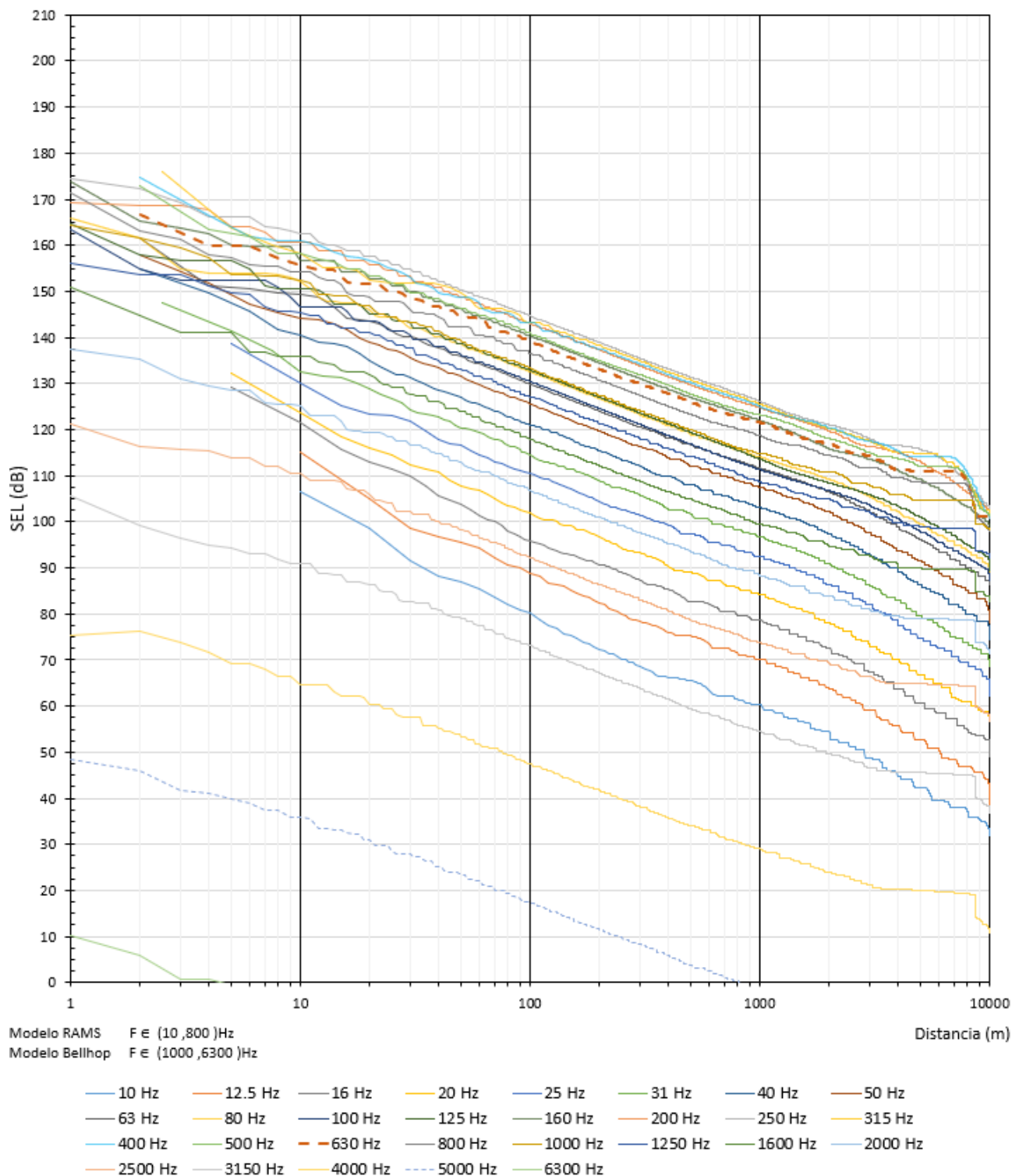


Figura 93. Transmisión máxima del SEL en función de la distancia a la fuente, para cada frecuencia. Valores filtrados por el Audiograma de Pinnípedos Otaridos y otros carnívoros (PO). (CAN 114)



4.6 CÁLCULO DEL SEL ACUMULADO PARA DIFERENTES ESPECIES

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 sobre comportamientos evasivos de mamíferos marinos citados en el Capítulo 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 periodos en que se encuentran 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 94**, dirección que se define como 0° 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.

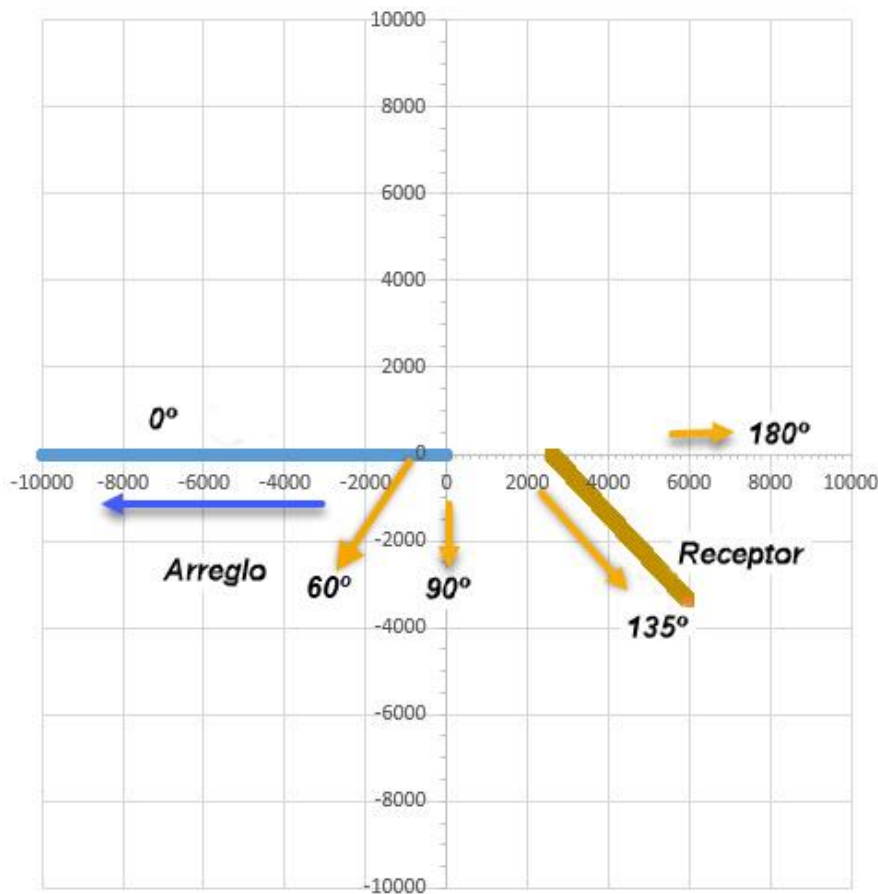


Figura 94. Escenarios de Interrelación entre la trayectoria del arreglo (fuente) y del receptor.

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

[Firma manuscrita]

- Se encuentra en un sitio opuesto a la dirección de avance del arreglo, y se desplaza en forma opuesta alejándose del mismo (180°) con una velocidad de 2 m/s
- 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 (90°) con una velocidad de 2 m/s
- Se encuentra en un sitio opuesto a la dirección de avance del arreglo, y se desplaza en forma diagonal alejándose del mismo (135°) con una velocidad reducida de 1 m/s
- Se encuentra en la línea sísmica en la dirección de avance del arreglo, y se desplaza alejándose del mismo lateralmente (60°) 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 de acuerdo a la información volcada en el Capítulo 4 sobre la Descripción del Proyecto, la longitud promedio de las líneas es de 77 km para CAN 114 y de 50 km o 96 km según la opción de orientación del relevamiento para CAN 100 y CAN 108, siendo el tiempo promedio requerido para completar una línea de producción y cambiar de línea variable entre 9,5 horas y 15 horas.



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, lo cual suele suceder luego de una hora a una hora y media aproximadamente.

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 95 (CAN 100 y CAN 108) y en la Figura 96 (CAN 114), 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.

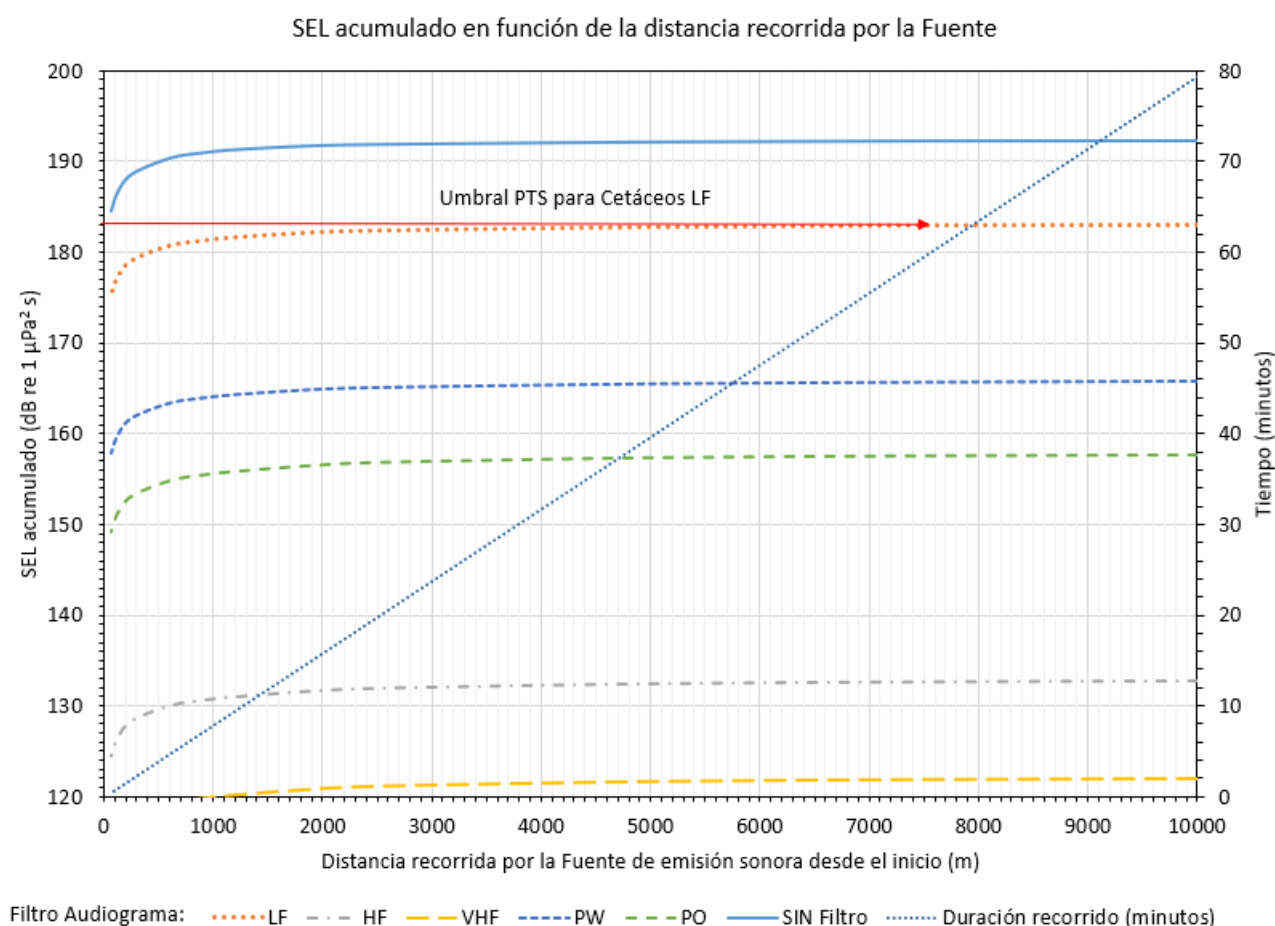


Figura 95. Ejemplo de acumulación de SEL en función de la distancia recorrida por el arreglo sísmico, para el Escenario (b) de Interrelación entre la trayectoria del arreglo (fuente) y del animal y una distancia inicial entre ambos de 260 m. Sin medida de mitigación. (CAN 100 y CAN 108)



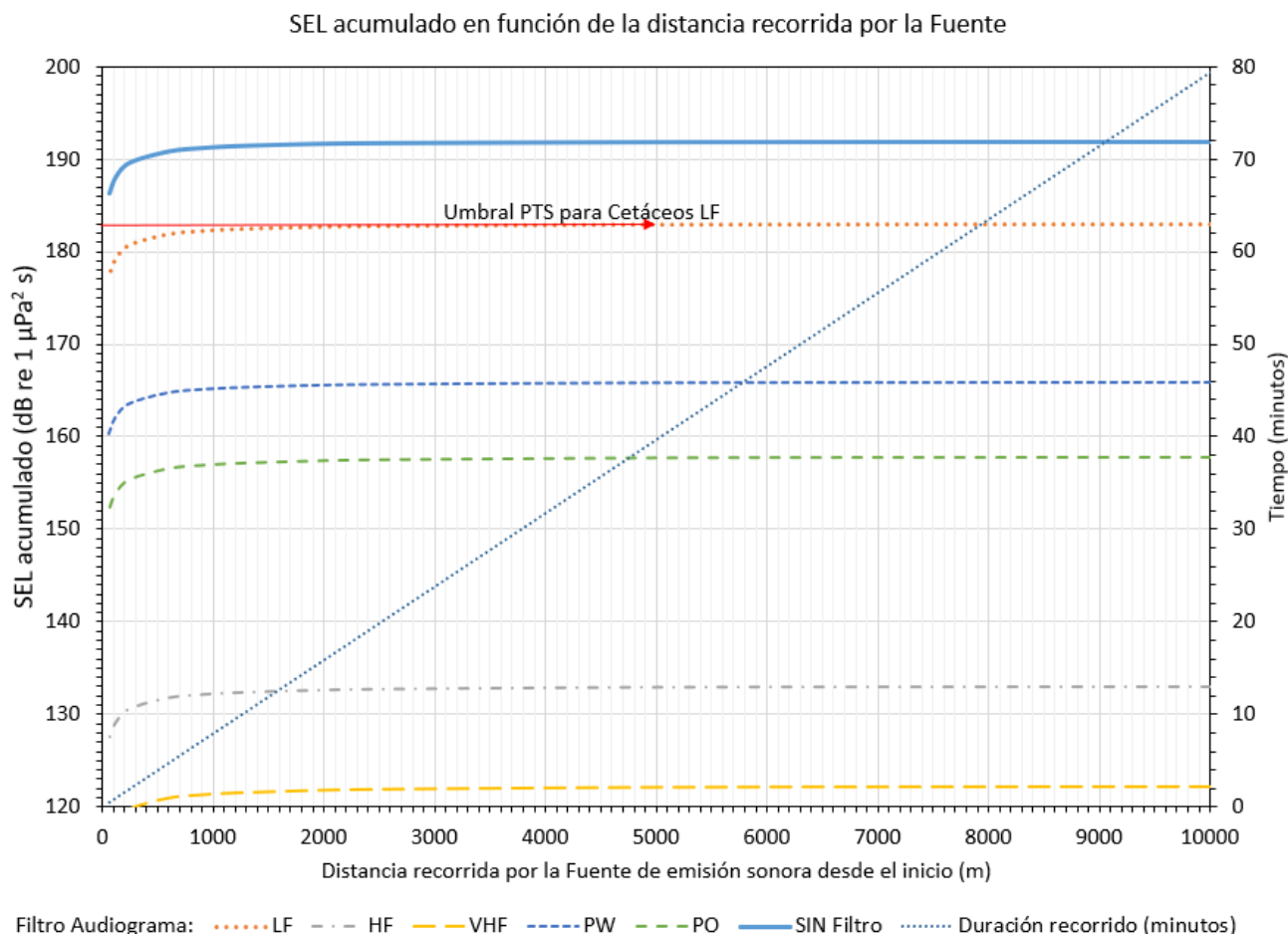


Figura 96. Ejemplo de acumulación de SEL en función de la distancia recorrida por el arreglo sísmico, para el Escenario (b) de Interrelación entre la trayectoria del arreglo (fuente) y del animal y una distancia inicial entre ambos de 185 m. Sin medida de mitigación. (CAN 114)

En la Tabla 10 y la Tabla 12 se presentaron las distancias a la fuente correspondientes a umbrales de SPL, siendo las más conservativas las correspondientes al sector cuyo lecho marino está compuesto por arenas para CAN 100 y CAN 108, y por fangos para CAN 114.

A continuación se reproduce la información de las tablas correspondientes para cada área y se incluyen los valores de SELcum umbrales de PTS y TTS especificados para cada especie, 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 94**).

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 aún 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 15. Síntesis de Distancias a la fuente para alcanzar la Pérdida de Transmisión correspondiente a los diversos umbrales y grupos auditivos evaluados. (CAN 100 y CAN 108)

| Comportamiento del receptor > | | | | Sin medida de mitigación | | | |
|--------------------------------|---------------------------|----------------------------------|----------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| | | | | 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 | 35 | 183 | 150 | 260 | 240 | -320 |
| PTS - HF | 230 | 10 | 185 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 |
| PTS - VHF | 202 | 260 | 155 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 |
| PTS - PW | 218 | 39 | 185 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 |
| PTS - PO | 232 | 4 | 203 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 |
| Peces SIN vejiga natatoria * | 213 | 68 | 219 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 |
| Peces CON vejiga natatoria * | 207 | 150 | 201 ** | 20 | 25 | 20 | -30 |
| TTS – LF | 213 | 68 | 168 | 8.300 | 9.500 | 9.100 | -11.800 |
| TTS – HF | 224 | 19 | 170 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 |
| TTS – VHF | 196 | 610 | 140 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 |
| TTS – PW | 212 | 74 | 170 | < 10 | 70 | < 10 | -80 |
| TTS – PO | 226 | 12 | 188 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 |
| TTS: Peces SIN v. n. | - | - | 186 | 1.150 | 1.800 | 1.650 | -2.500 |
| TTS: Peces CON v. n. | - | - | 186 | 1.150 | 1.800 | 1.650 | -2.500 |
| Limite convencional afectación | 190 | 1.900 | - | - | - | - | - |

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)



Tabla 16. Síntesis de Distancias a la fuente para alcanzar la Pérdida de Transmisión correspondiente a los diversos umbrales y grupos auditivos evaluados. (CAN 114)

| Comportamiento del receptor > | | | | Sin medida de mitigación | | | |
|--------------------------------|---------------------------|----------------------------------|----------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| | | | | 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 | 31 | 183 | 120 | 185 | 170 | -220 |
| PTS - HF | 230 | 9 | 185 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 |
| PTS - VHF | 202 | 240 | 155 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 |
| PTS - PW | 218 | 37 | 185 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 |
| PTS - PO | 232 | 3 | 203 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 |
| Peces SIN vejiga natatoria * | 213 | 66 | 219 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 |
| Peces CON vejiga natatoria * | 207 | 130 | 201 ** | 20 | 25 | 25 | -30 |
| TTS - LF | 213 | 66 | 168 | 3.400 | 4.500 | 4.150 | -6.100 |
| TTS - HF | 224 | 18 | 170 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 |
| TTS - VHF | 196 | 510 | 140 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 |
| TTS - PW | 212 | 75 | 170 | 50 | 70 | 50 | -80 |
| TTS - PO | 226 | 12 | 188 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 |
| TTS: Peces SIN v. n. | - | - | 186 | 510 | 820 | 750 | -1.070 |
| TTS: Peces CON v. n. | - | - | 186 | 510 | 820 | 750 | -1.070 |
| Limite convencional afectación | 190 | 1.200 | - | - | - | - | - |

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)



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 animal 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 97 se presenta la acumulación del SEL para el mismo ejemplo de Escenario anterior (en el área CAN 100 y CAN 108), donde se puede apreciar que estando el receptor a la misma distancia (260 m) y escapar perpendicularmente de igual manera, no se alcanza el umbral de PTS, pues el SELcum con arranque suave es 8,4 dB menor que sin medida de mitigación.

En la Figura 98 se presenta la acumulación del SEL para el mismo ejemplo de Escenario anterior (en el área CAN 114), donde también se puede apreciar que estando el receptor a la misma distancia (185 m) y escapar perpendicularmente de igual manera, no se alcanza el umbral de PTS, pues el SELcum con arranque suave es 12,8 dB menor que sin medida de mitigación.



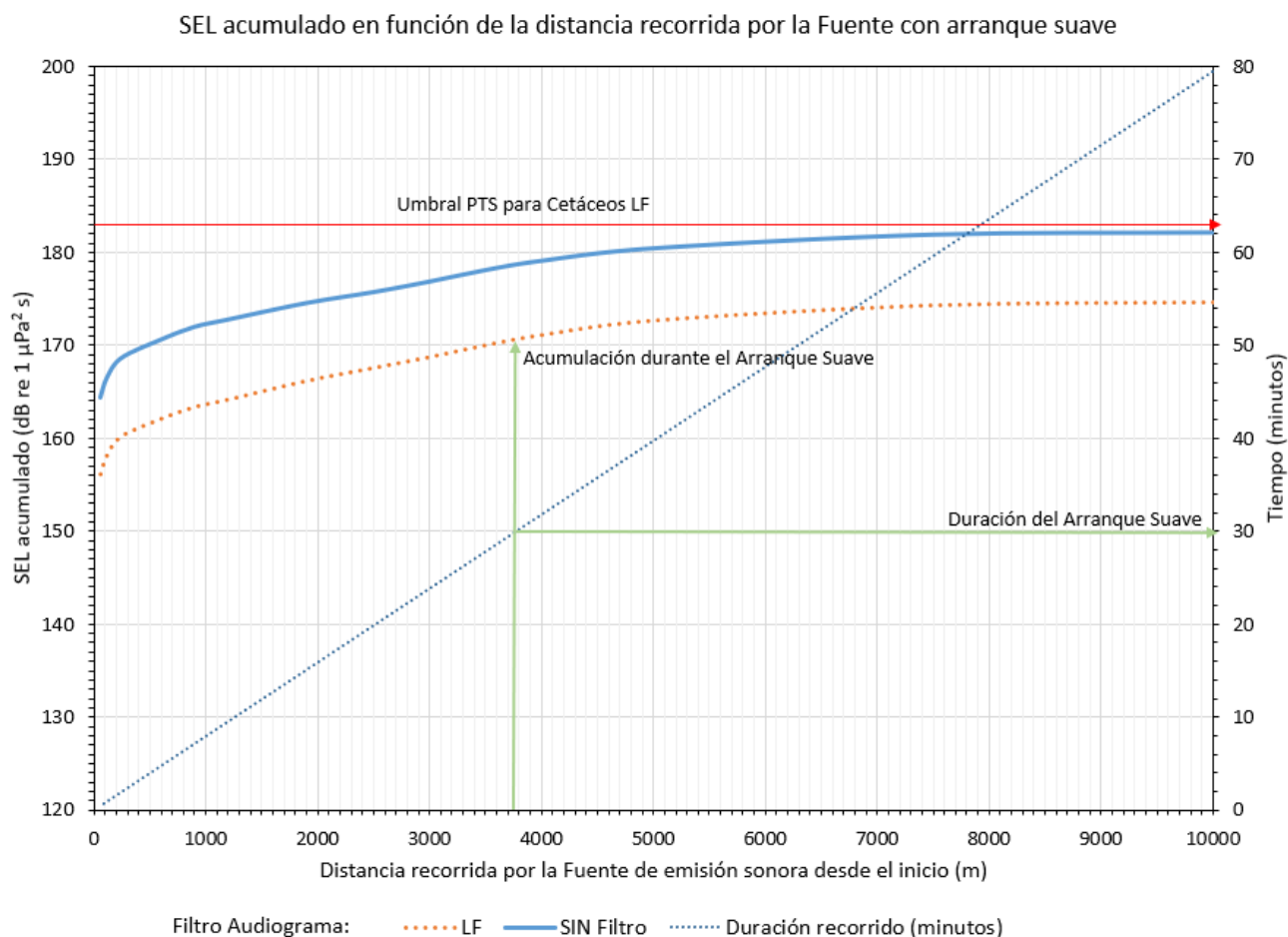


Figura 97. Ejemplo de acumulación de SEL en función de la distancia recorrida por el arreglo sísmico, para el Escenario (b) de Interrelación entre la trayectoria del arreglo (fuente) y del receptor, y una distancia inicial entre ambos de 260 m. Con medida de mitigación (arranque suave). (CAN 100 y CAN 108)



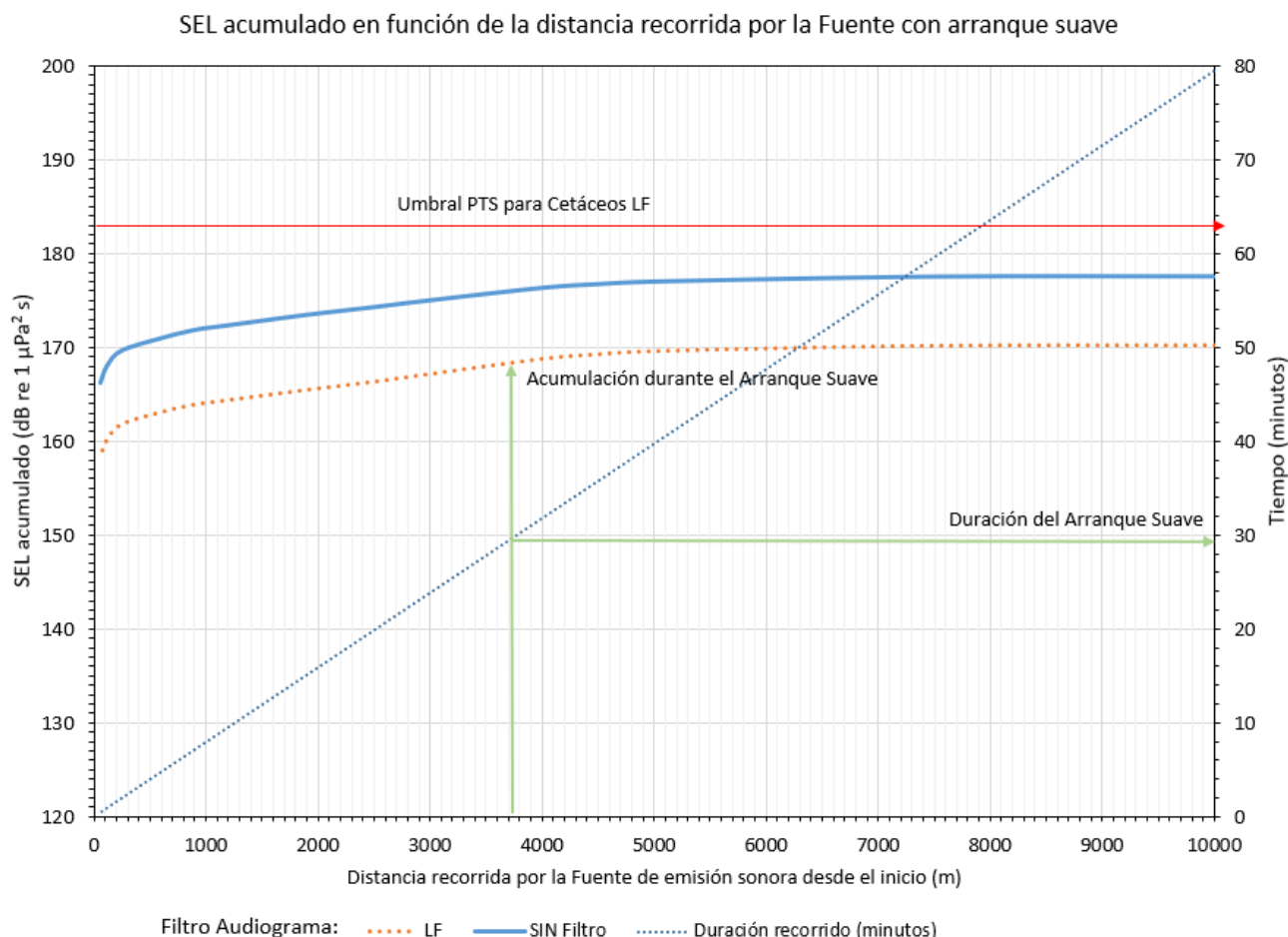


Figura 98. Ejemplo de acumulación de SEL en función de la distancia recorrida por el arreglo sísmico, para el Escenario (b) de Interrelación entre la trayectoria del arreglo (fuente) y del receptor, y una distancia inicial entre ambos de 185 m. Con medida de mitigación (arranque suave). (CAN 114)



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

Tabla 17. Síntesis de Distancias a la fuente para alcanzar la Pérdida de Transmisión correspondiente a los umbrales para el grupo auditivo LF, con arranque suave. (CAN 100 y CAN 108)

| Comportamiento del receptor > | | | | Con arranque suave | | | |
|-------------------------------|-------------------------|----------------------------------|----------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| | | | | Escape 180º | Escape 90º | Escape 135º | Escape 60º |
| Grupo Auditivo | SPL peak 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 | 35 | 183 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 |
| TTS - LF | 213 | 68 | 168 | 3.000 | 6.000 | 5.300 | -10.000 |

Tabla 18. Síntesis de Distancias a la fuente para alcanzar la Pérdida de Transmisión correspondiente a los umbrales para el grupo auditivo LF, con arranque suave. (CAN 114)

| Comportamiento del receptor > | | | | Con arranque suave | | | |
|-------------------------------|-------------------------|----------------------------------|----------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| | | | | Escape 180º | Escape 90º | Escape 135º | Escape 60º |
| Grupo Auditivo | SPL peak dB re 1 µPa | Distancia Criterio SPL (m) | SELCum dB re 1 µPa²s | Distancia Criterio SEL (m) | Distancia Criterio SEL (m)(m) | Distancia Criterio SEL (m)(m) | Distancia Criterio SEL (m)(m) |
| PTS - LF | 219 | 31 | 183 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 |
| TTS - LF | 213 | 66 | 168 | 90 | 1.050 | 850 | -2.300 |



5 CONCLUSIONES

Se analizan a continuación los resultados obtenidos para cada área:

CAN 100 y CAN 108:

Para las simulaciones efectuadas sin medidas de mitigación, se puede apreciar que para todas las especies salvo las de rango auditivo bajo (ballenas - 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 no es preciso analizar 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 200 y 320 m del arreglo, según la posición relativa con respecto al sentido de avance del mismo.

En cuanto a los umbrales de TTS, también resultan menores a 10 metros las distancias para SELcum que para SPL con excepción de las ballenas de baja frecuencia auditiva (LF) que deberían encontrarse a distancias elevadas del orden de 12 km, y los Carnívoros Fócidos (PW) para los cuales se estimaron distancias del orden de 80 metros.

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 unos 30 metros y se mueven alejándose pero en el sentido 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. En otras direcciones la distancia para PTS es inferior a 30 metros. Entonces se debe considerar la distancia correspondiente al criterio de SPL, que es mayor (150 m).

En cuanto a las condiciones de TTS para los peces, sin arranque suave y asumiendo similares condiciones de comportamiento evasivo, se registrarían a distancias de hasta unos 2,5 km del arreglo conforme a los valores de SELcum calculados.

CAN 114:

Para las simulaciones efectuadas sin medidas de mitigación, se puede apreciar que para todas las especies salvo las de rango auditivo bajo (ballenas - LF), las distancias entre el receptor y el arreglo para las cuales se superan los umbrales de PTS para SELcum son muy bajas (menor a 10 metros). 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 120 y 220 m del arreglo, según la posición relativa con respecto al sentido de avance del mismo.

En cuanto a los umbrales de TTS, también resultan menores a 10 metros las distancias para SELcum que para SPL con excepción de las ballenas de baja frecuencia auditiva (LF) que deberían encontrarse a distancias elevadas del orden de 6 km, y los Carnívoros Fócidos (PW) para los cuales se estimaron distancias del orden de unos 80 metros.

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 unos 30 metros y se mueven alejándose pero en el sentido del arreglo asumiendo que puedan alcanzar una velocidad de 4 m/s por un corto periodo de tiempo. Como se indicó antes, esto no sería posible para los peces menores. En otras direcciones la distancia para PTS es inferior a 30 metros. Entonces se debe considerar la distancia correspondiente al criterio de SPL, que es mayor (130 m).

En cuanto a las condiciones de TTS para los peces, sin arranque suave y asumiendo similares condiciones de comportamiento evasivo, se registrarían a distancias de hasta 1,1 km del arreglo conforme a los valores de SELcum calculados.

RESUMEN:

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:

- Se considera la distancia más conservativa resultante de los criterios de SPL y SELcum
- 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.

Como se puede apreciar en las tablas siguientes, en todos los casos la distancia para la cual se supera el umbral de PTS, corresponde al criterio SPL.

Tabla 19. Resumen de Distancias a la fuente para alcanzar la Pérdida de Transmisión correspondiente a los umbrales PTS según los criterios SPL y SELcum (CAN 100 y CAN 108)

| Grupo Auditivo | Criterios | | Distancia (m) | |
|------------------------------|---------------------------|----------------------------|---|------------------------|
| | SPLpeak dB re 1 μPa | SELcum dB re 1 μPa²s | Criterio SPL (Valores redondeados) (m) | Criterio SELcum (m) |
| PTS - LF | 219 | 183 | 35 | < 10 arranque suave |
| PTS - HF | 230 | 185 | 10 | - |
| PTS - VHF | 202 | 155 | 260 | - |
| PTS - PW | 218 | 185 | 40 | - |
| PTS - PO | 232 | 203 | 4 | - |
| Peces SIN vejiga natatoria * | 213 | 219 | 70 | - |
| Peces CON vejiga natatoria * | 207 | 201 ** | 150 | - |

(*): Nivel de mortalidad o mortalidad potencial

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



Tabla 20. Resumen de Distancias a la fuente para alcanzar la Pérdida de Transmisión correspondiente a los umbrales PTS según los criterios SPL y SELcum (CAN 114)

| Grupo Auditivo | Criterios | | Distancia (m) | |
|------------------------------|---------------------------------------|---|---|------------------------------------|
| | SPL _{peak} dB re 1 μPa | SEL _{cum} dB re 1 μPa ² s | Criterio SPL (Valores redondeados) (m) | Criterio SEL _{cum} (m) |
| PTS - LF | 219 | 183 | 30 | < 10 arranque suave |
| PTS - HF | 230 | 185 | 10 | - |
| PTS - VHF | 202 | 155 | 240 | - |
| PTS - PW | 218 | 185 | 40 | - |
| PTS - PO | 232 | 203 | 3 | - |
| Peces SIN vejiga natatoria * | 213 | 219 | 70 | - |
| Peces CON vejiga natatoria * | 207 | 201 ** | 130 | - |

(*): Nivel de mortalidad o mortalidad potencial

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



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.

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

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>

Jensen F., Kuperman W., Porter M., and Schmidt H. (1994). 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., Envrion. 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 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.

Orúe-Echevarría, D.; Pelegrí, J.L.; Alonso-González, I.J.; Benítez-Barrios, V.M.; De La Fuente, P.; Emelianov, M.; Gasser, M.; Herrero, C.; Isern-Fontanet, J.; Peña-Izquierdo, J.; Ramírez-Garrido, S.; Rosell-Fieschi, M.; Salvador, J.; Saraceno, M.; Valla, D.; Vidal, M. (2019). "Dataset on the TIC-MOC cruise onboard the R/V Hespérides, March 2015, Brazil-Malvinas Confluence". Data in Brief. 22:185-194.

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.

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





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

Hoja Adicional de Firmas
Documentación personal

Número:

Referencia: Documentación Complementaria

El documento fue importado por el sistema GEDO con un total de 109 pagina/s.