

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL
REGISTRO SÍSMICO OFFSHORE “3D”
ÁREAS CAN_100, CAN_108 Y CAN_114, ARGENTINA

CAPÍTULO 6 – MODELACIÓN ACÚSTICA

ANEXO III – ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE LA PERDIDA POR
TRANSMISIÓN DEL SONIDO – CAN_114

MARZO 2021

ÍNDICE

1	SENSIBILIDAD A LA DENSIDAD Y VELOCIDAD DEL SONIDO MENSUAL	2
2	SENSIBILIDAD AL PUNTO DE UBICACIÓN Y PROFUNDIDAD	19
3	SENSIBILIDAD A LA BATIMETRÍA VARIABLE	29
4	SENSIBILIDAD A LOS PARÁMETROS DEL SUELO	41
6	CONCLUSIONES	45



1 SENSIBILIDAD A LA DENSIDAD Y VELOCIDAD DEL SONIDO MENSUAL

Considerando la conveniencia de emplear perfiles de temperatura y salinidad provistos por el Programa Copernicus para calcular los perfiles de densidad y velocidad del sonido, se extrajeron perfiles representativos de cada mes según se explica en el Anexo 1 del Capítulo 6..

Se consideraron los diferentes meses del año en los que se puede realizar la prospección:

- Octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero.

Los análisis de sensibilidad se realizaron para frecuencias características de 20, 40, 80, 160 y 320 Hz. Considerando los resultados obtenidos para CAN_100-108, se consideró la siguiente combinación de suelos posibles en la zona: Fango sobre grava (denominación FB - GB)

Finalmente, los puntos de análisis considerados (Figura 1) fueron:

- Punto O. Profundidad 1000m.
- Punto N. Profundidad 1500 m.
- Punto E. Profundidad 3000 m.
- Punto SO. Profundidad 2000 m.
- Punto SE. Profundidad 2500 m.

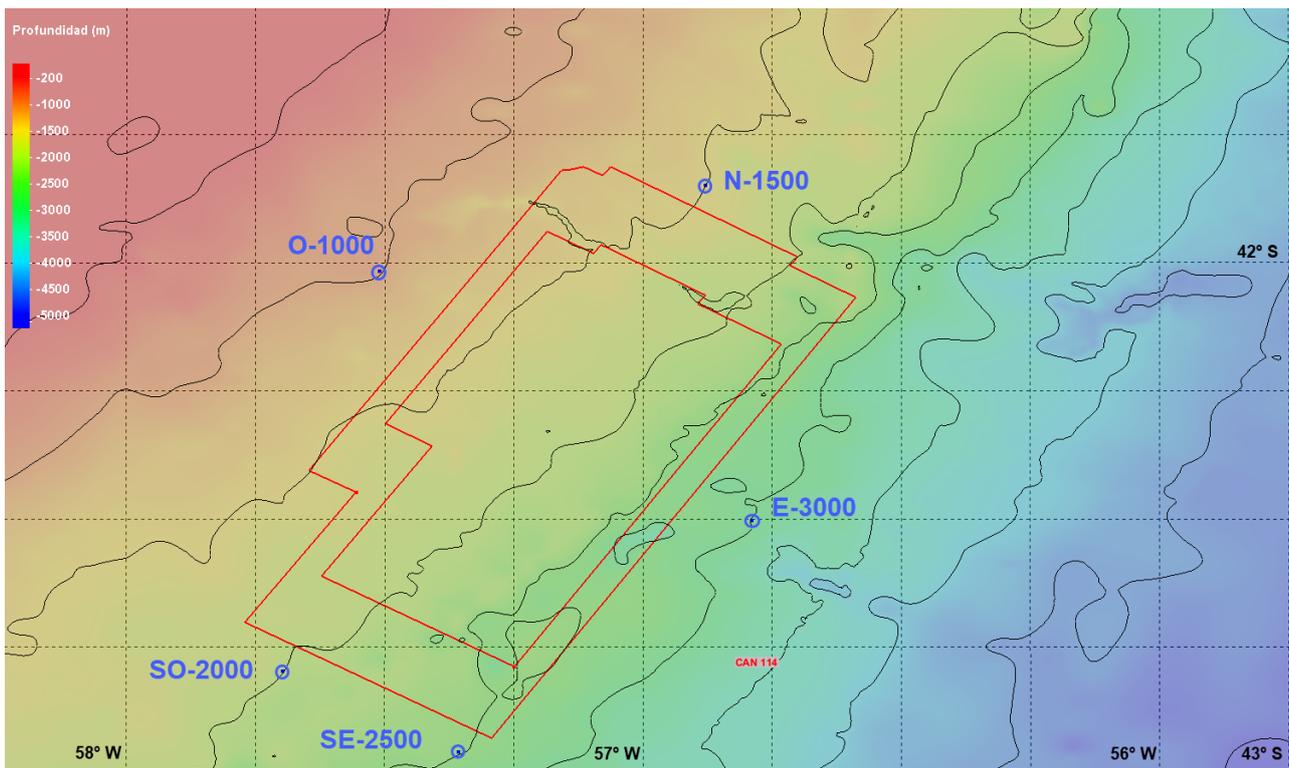


Figura 1– Ubicación de los puntos para el análisis de sensibilidad.

Como se indica en el Capítulo 6, 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.

La siguiente tabla indica los valores característicos de las propiedades geoacústicas de los sedimentos de fondo que se encuentran en lechos marinos y plataformas continentales. En la Tabla

1, 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.

La porosidad p se relaciona de una manera directa con la densidad del material y las velocidades de onda, es decir, una porosidad menor da como resultado una densidad mayor y velocidades de onda más altas. Las atenuaciones de onda, generalmente se indican en unidades de dB por longitud de onda, lo que muestra que la atenuación aumenta linealmente con la frecuencia. Los materiales del fondo tienen pérdidas de tres a cuatro órdenes de magnitud mayores que el agua de mar.

Tabla 1. 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

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

$$c_s^{(2)} = 110z^{0.3}$$

$$c_s^{(3)} = 180z^{0.3}$$

Para las áreas de exploración el material predominante es fango, el cual es una acumulación de limos y arcillas.

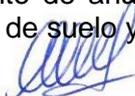
Según Hamilton (1979) para este tipo de materiales se puede emplear la siguiente ecuación para estimar la velocidad de corte:

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

Los parámetros Base adoptados para Fangos y Gravas son los siguientes:

Identificación	FB	GB
Parámetro	Fangos superiores Cs Hamilton	Gravas por debajo Cs Jensen
Espesor capa z (m)	15	30
C_p (m/s)	1.500	1.800
ρ (kg/m ³)	1.500	2.000
C_s (m/s)	186	499
C_s adoptado (m/s)	186	500
A_p (dB/ λ_p)	0,2	0,6
A_s (dB/ λ_s)	1,0	1,5

Se realizaron modelaciones para cada punto de análisis, representativo de la zona de estudio, habiendo considerado las frecuencias, tipos de suelo y meses del año en los que puede realizarse



la prospección, según fue mencionado previamente.

Se muestra como ejemplo, a continuación, la tabla con la nomenclatura y condiciones de modelación, para el punto de análisis O. La misma secuencia fue repetida para analizar los puntos N, E, SO y SE, modificando la profundidad de la batimetría y los perfiles oceanográficos, según correspondiese, con el fin de seleccionar el perfil de velocidad de sonido y densidad mas conservativo.

Nomenclatura	Batimetría / profund.	Perfil sonido	Frecuencias (FFF)	Z espesor capa (m)	Cp (m/s)	ρ (kg/m ³)	Cs (m/s)	Ap (dB/ λ)	As (dB/wlen)	Tipo Capa (Superior / Inferior)
O-1000-OCT-FB-GB	Uniforme 1000 m	O-1000-Enero	Octavas 20; 40; 80; 160; 320	15	1500	1500	186	0,2	1	Fango par. base -FB
				30	1800	2000	500	0,6	1,5	Grava par. base-GB
O-1000-NOV-FB-GB	Uniforme 1000 m	O-1000-Febrero	Octavas 20; 40; 80; 160; 320	15	1500	1500	186	0,2	1	Fango par. base -FB
				30	1800	2000	500	0,6	1,5	Grava par. base-GB
O-1000-DIC-FB-GB	Uniforme 1000 m	O-1000-Marzo	Octavas 20; 40; 80; 160; 320	15	1500	1500	186	0,2	1	Fango par. base -FB
				30	1800	2000	500	0,6	1,5	Grava par. base-GB
O-1000-ENE-FB-GB	Uniforme 1000 m	O-1000-Enero	Octavas 20; 40; 80; 160; 320	15	1500	1500	186	0,2	1	Fango par. base -FB
				30	1800	2000	500	0,6	1,5	Grava par. base-GB
O-1000-FEB-FB-GB	Uniforme 1000 m	O-1000-Febrero	Octavas 20; 40; 80; 160; 320	15	1500	1500	186	0,2	1	Fango par. base -FB
				30	1800	2000	500	0,6	1,5	Grava par. base-GB

Se presentan en las figuras a continuación los resultados de Pérdida de Transmisión para las modelaciones de sensibilidad a los perfiles de velocidad del sonido y densidad, según el punto de análisis y frecuencia. Dado que se ha generado una gran cantidad de imágenes bidimensionales, se incluye una selección de las mismas, con el objeto de ilustrar como influyen las diferentes condiciones de cómputo, que en algunos casos prácticamente no cambian el resultado, mientras que en otros sí se producen variaciones.

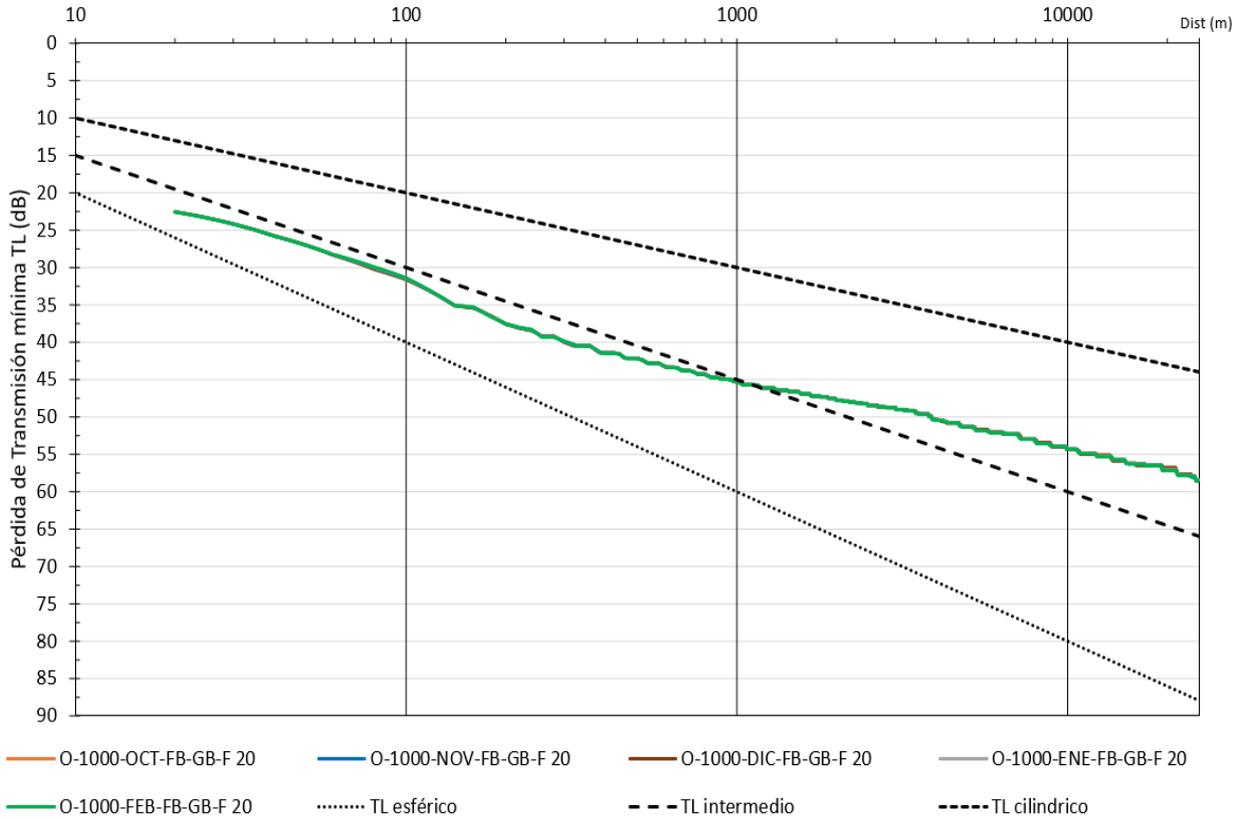
Se puede observar en los resultados, para todos los puntos de análisis, y todas las frecuencias que el perfil oceanográfico de Octubre resulta más conservativo. Las diferencias se producen en distancias en general superiores a unos 4 a 10 km según el punto y la frecuencia, dado que para distancias menores a 1 a 3 km los resultados son prácticamente idénticos

Este último hecho muestra que las diferencias en los resultados de TL se manifiestan recién en distancias del orden o superiores a la profundidad de agua, dependiendo entonces mucho más del tipo de suelo que de los perfiles oceanográficos.

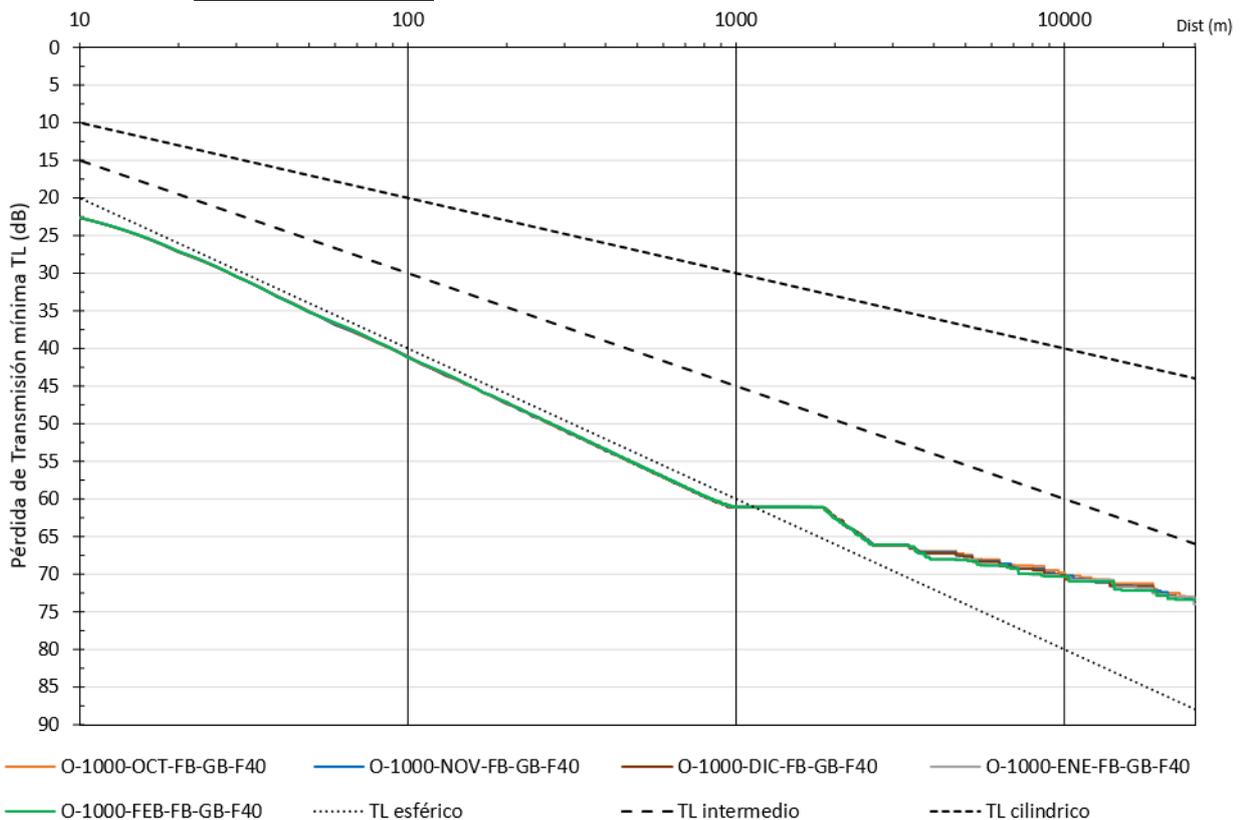


1. Punto O. Profundidad 1000 m

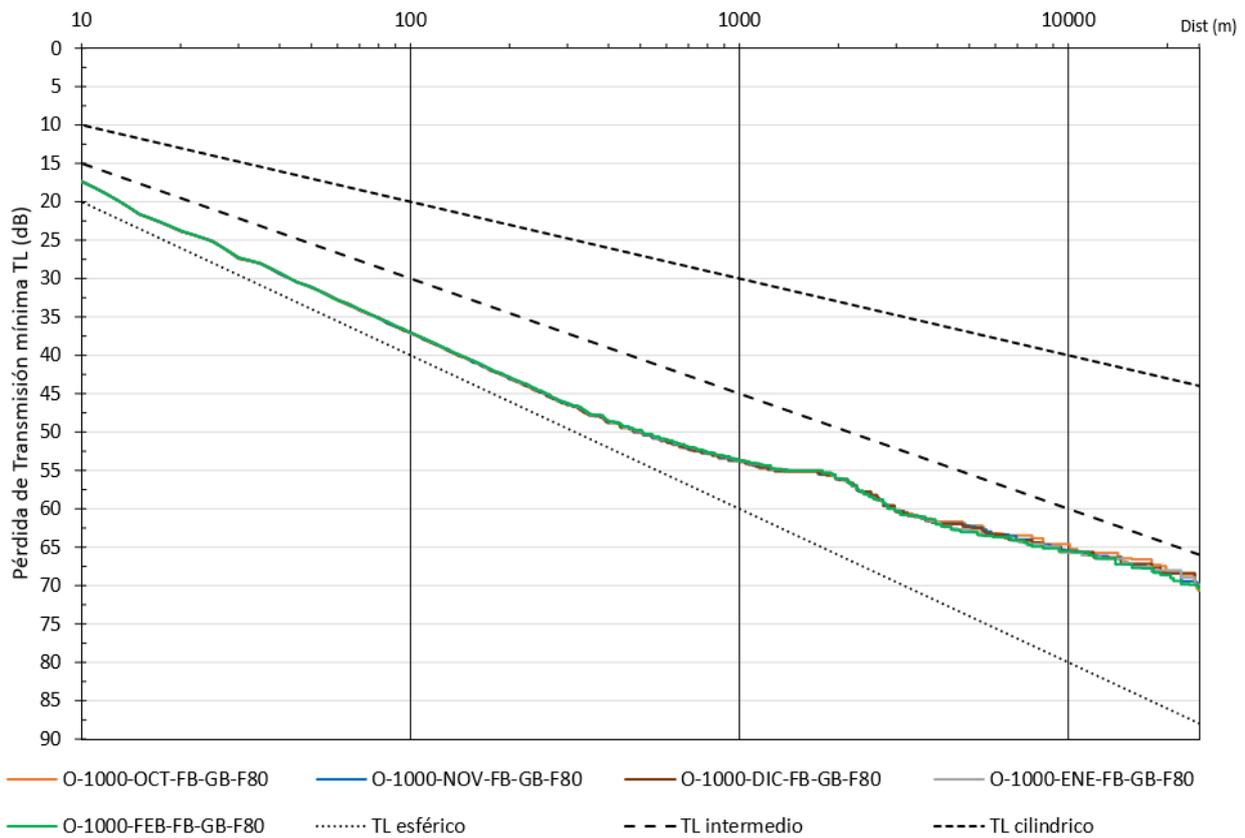
a. Frecuencia 20 Hz.



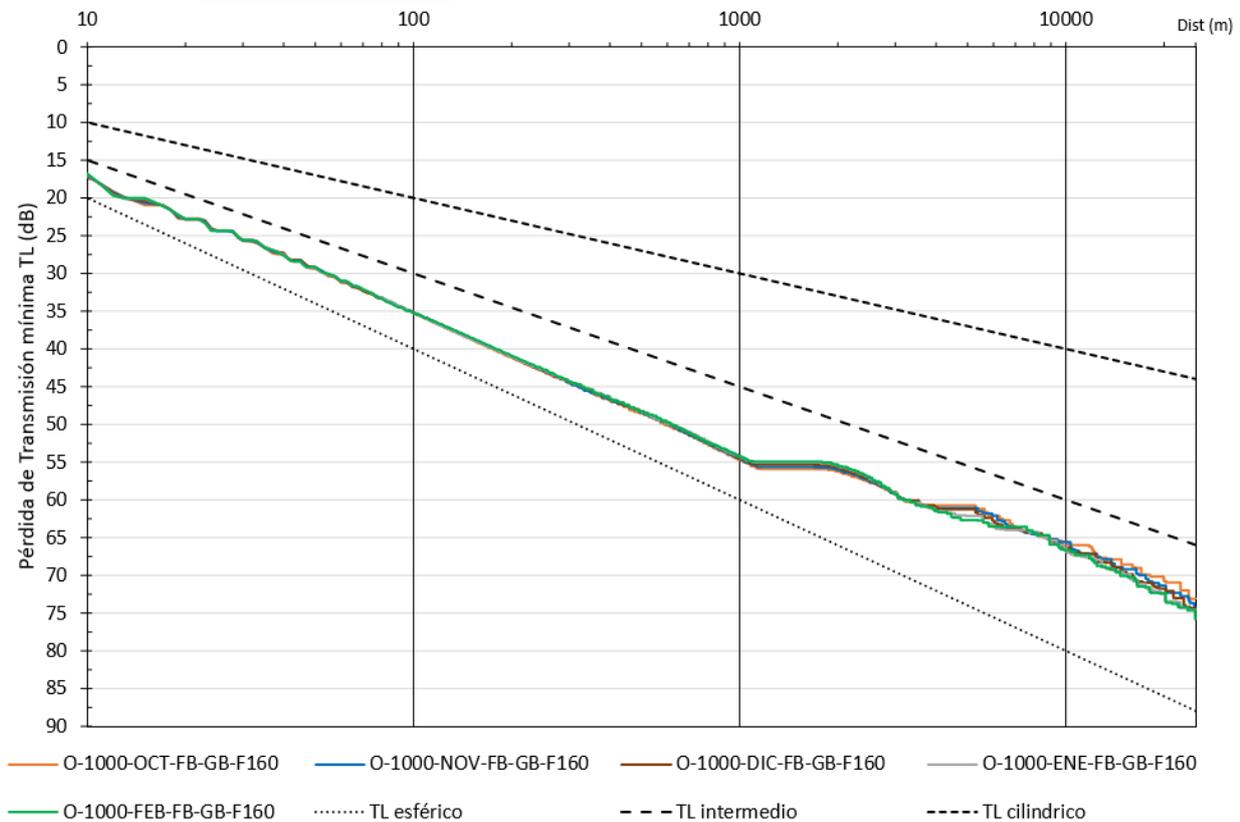
b. Frecuencia 40 Hz.



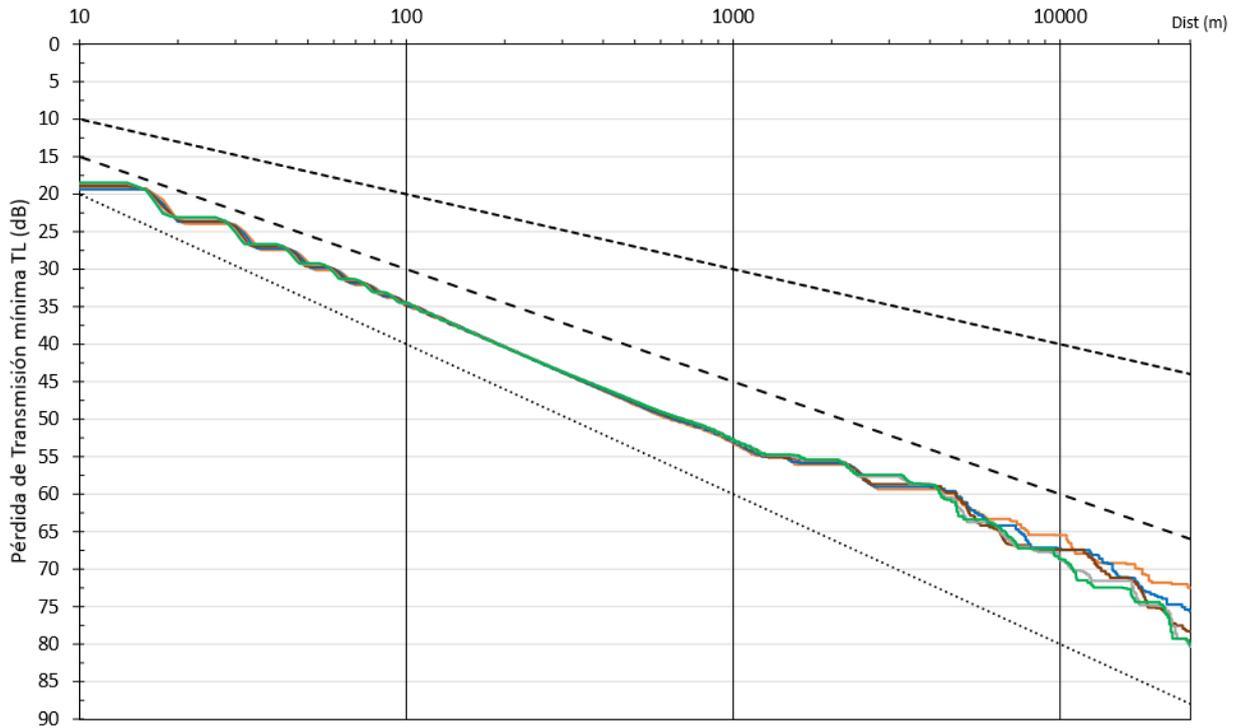

c. Frecuencia 80 Hz.



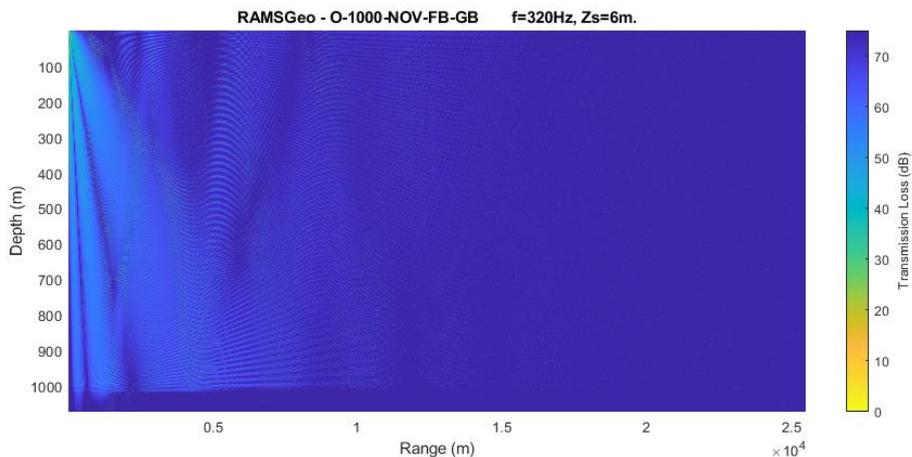
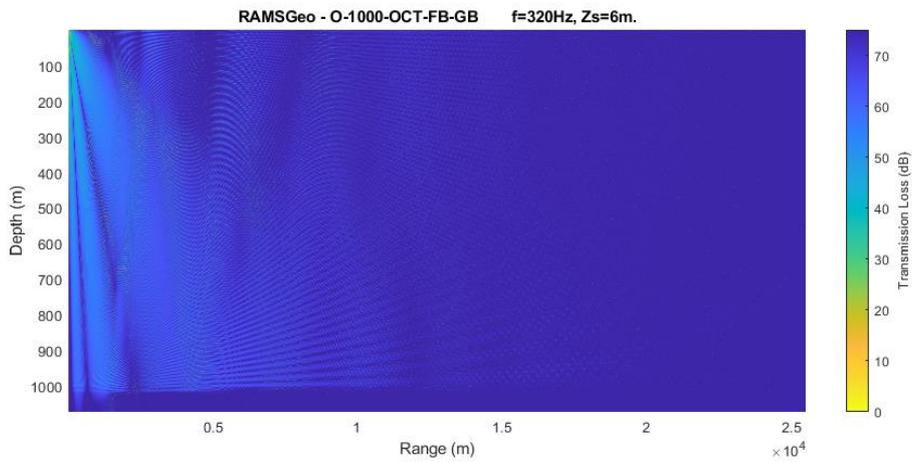
d. Frecuencia 160 Hz.

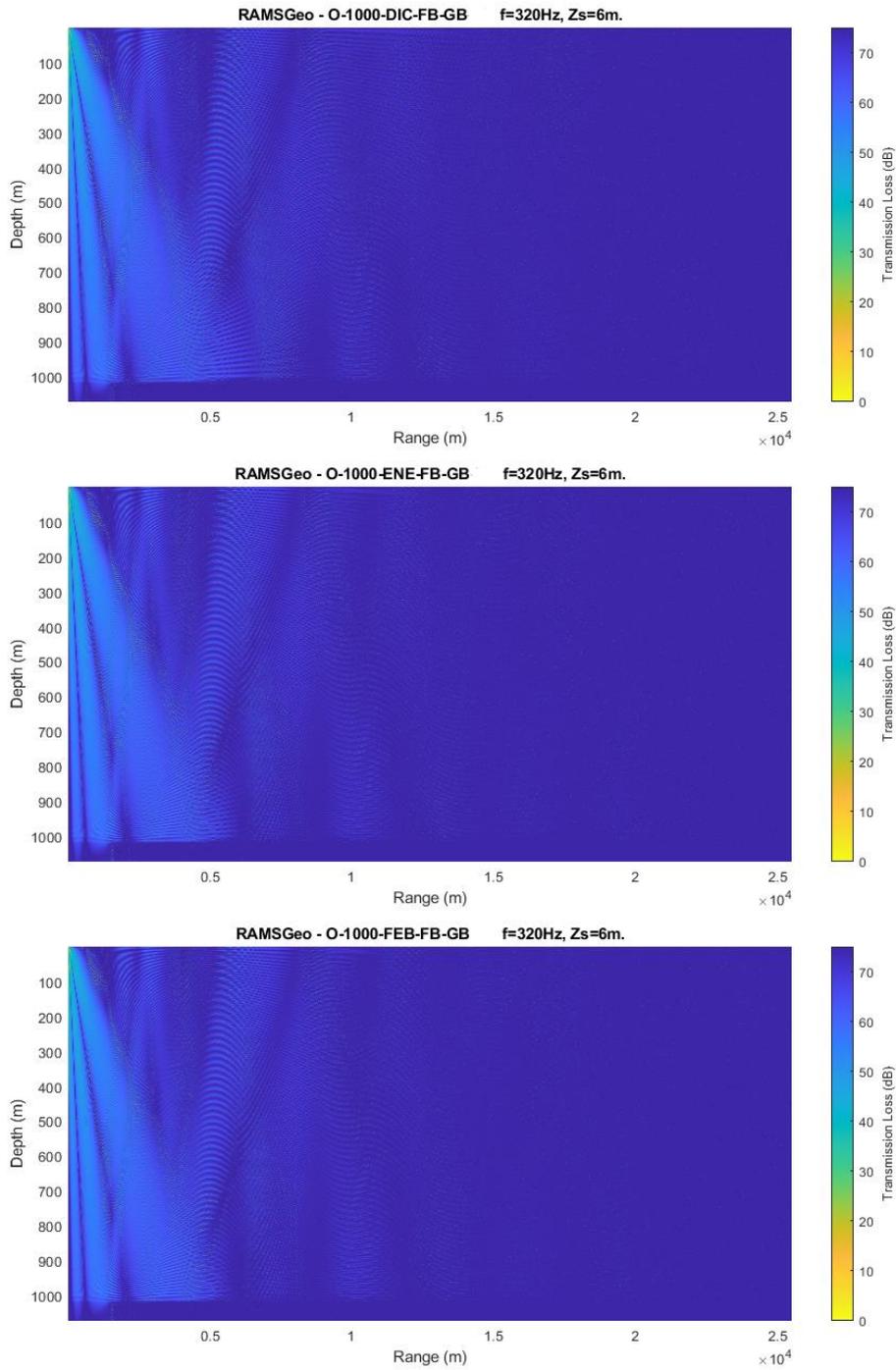



e. Frecuencia 320 Hz.



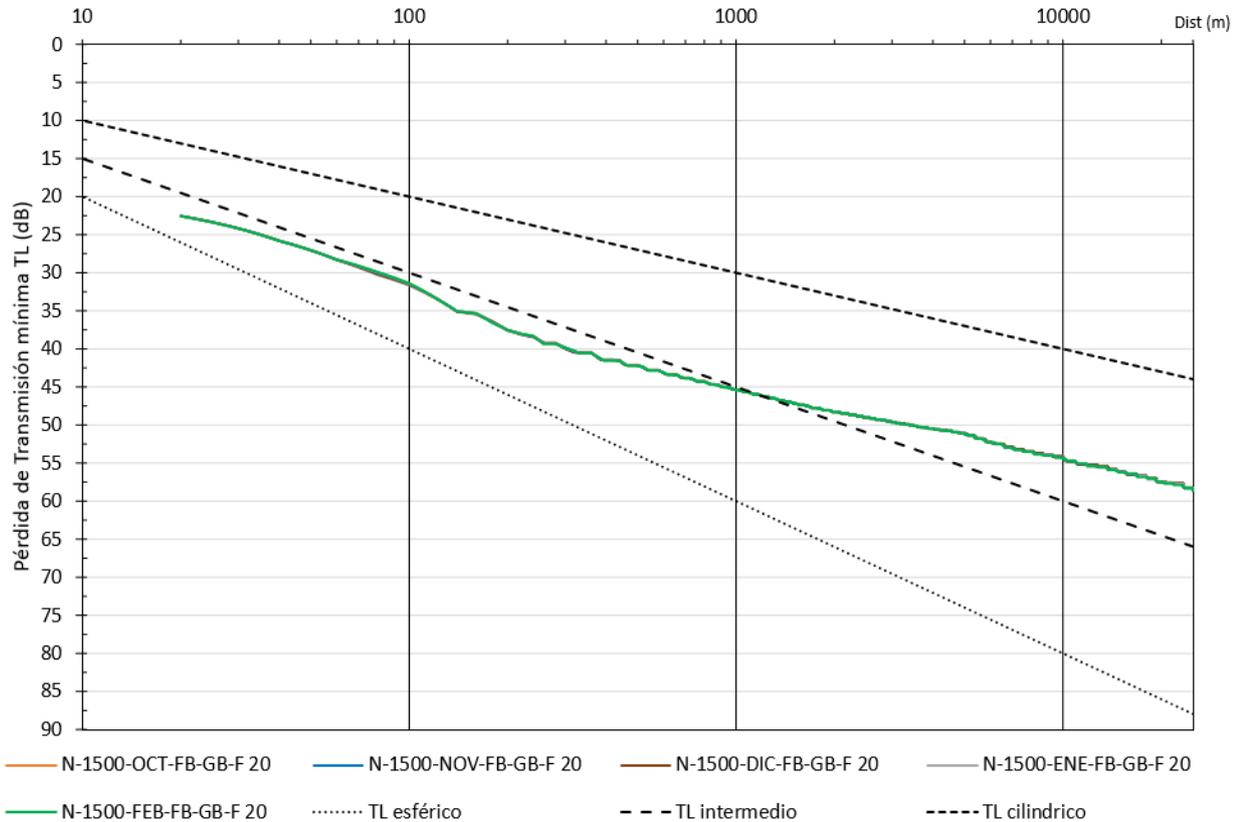
- O-1000-OCT-FB-GB-F320
- O-1000-NOV-FB-GB-F320
- O-1000-DIC-FB-GB-F320
- O-1000-ENE-FB-GB-F320
- O-1000-FEB-FB-GB-F320
- TL esférico
- TL intermedio
- TL cilíndrico



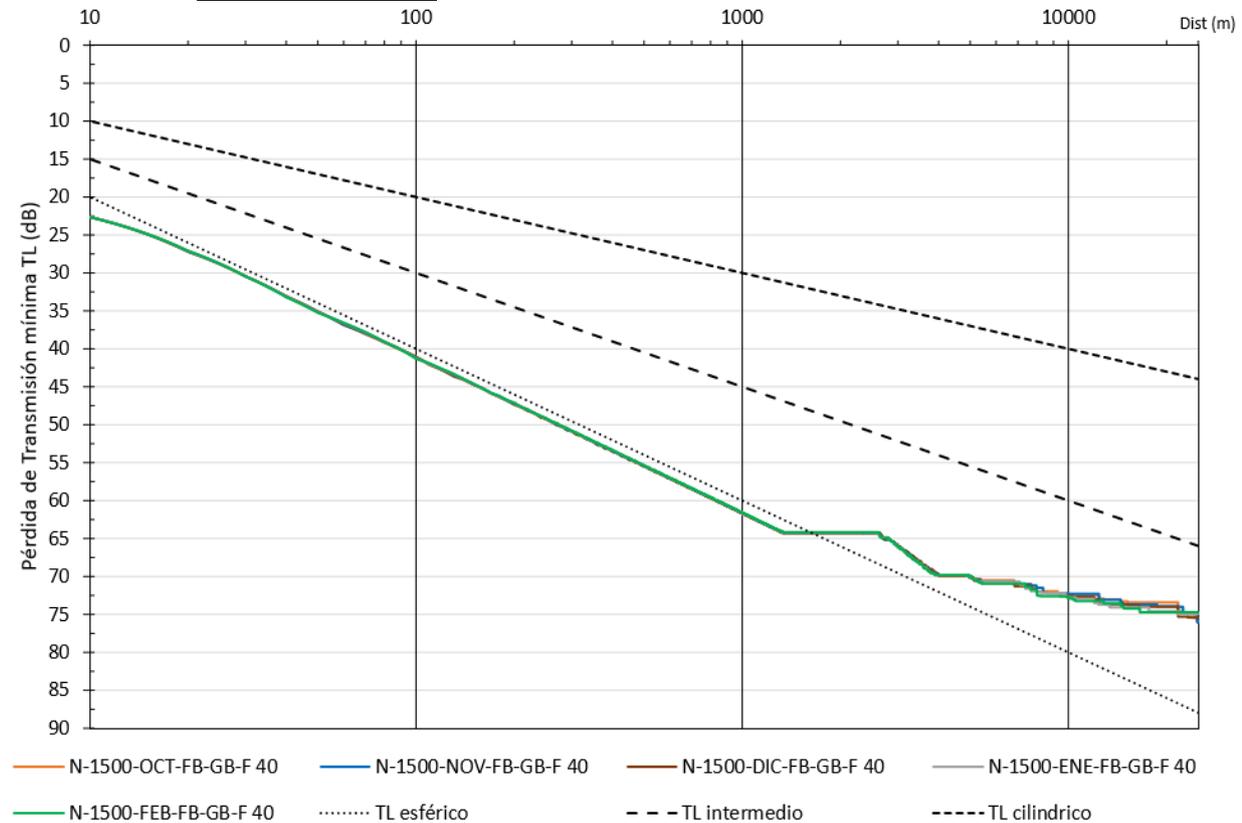


2. Punto N. Profundidad 1500 m

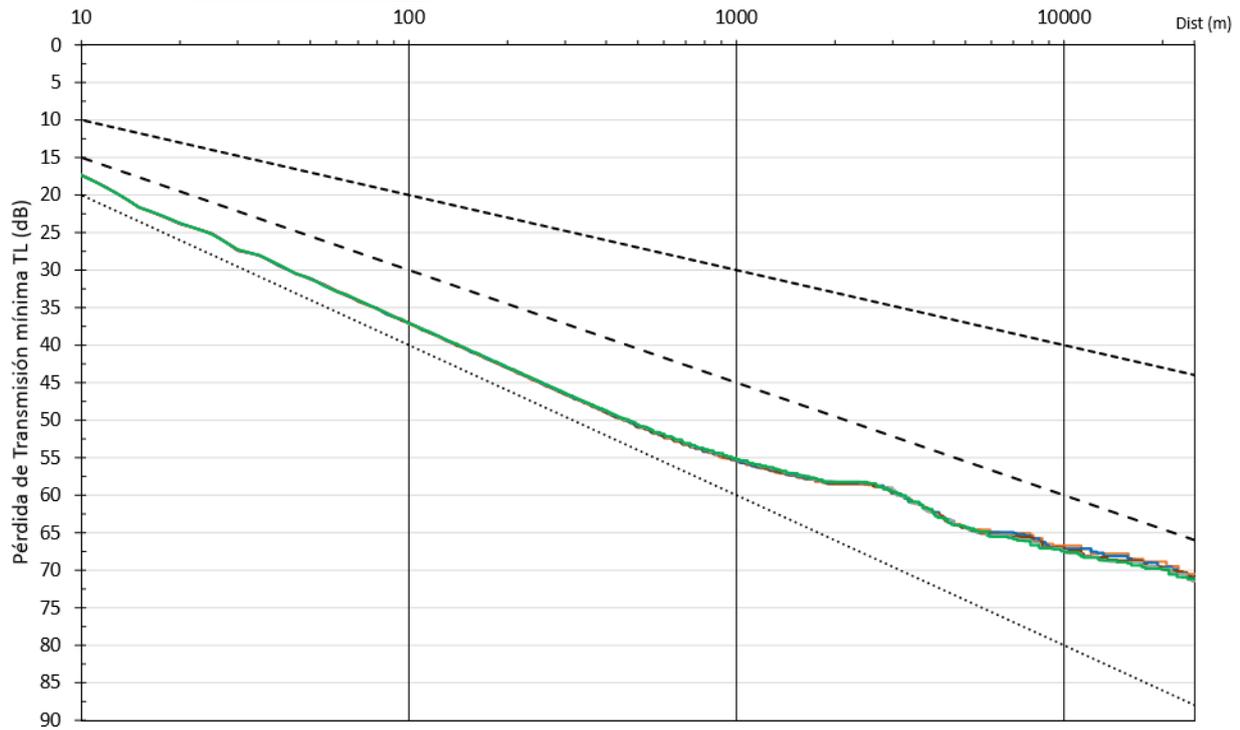
a. Frecuencia 20 Hz.



b. Frecuencia 40 Hz.

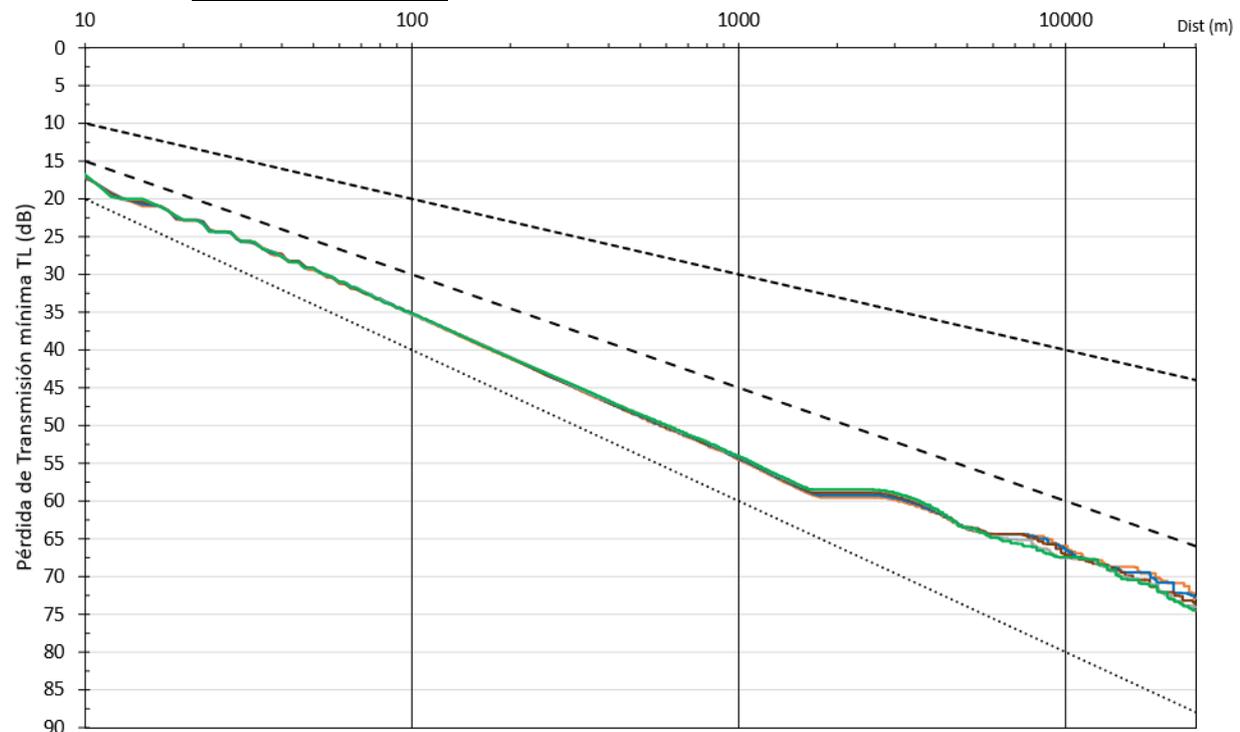



c. Frecuencia 80 Hz.



— N-1500-OCT-FB-GB-F 80 — N-1500-NOV-FB-GB-F 80 — N-1500-DIC-FB-GB-F 80 — N-1500-ENE-FB-GB-F 80
— N-1500-FEB-FB-GB-F 80 ⋯ TL esférico - - - TL intermedio - - - - TL cilíndrico

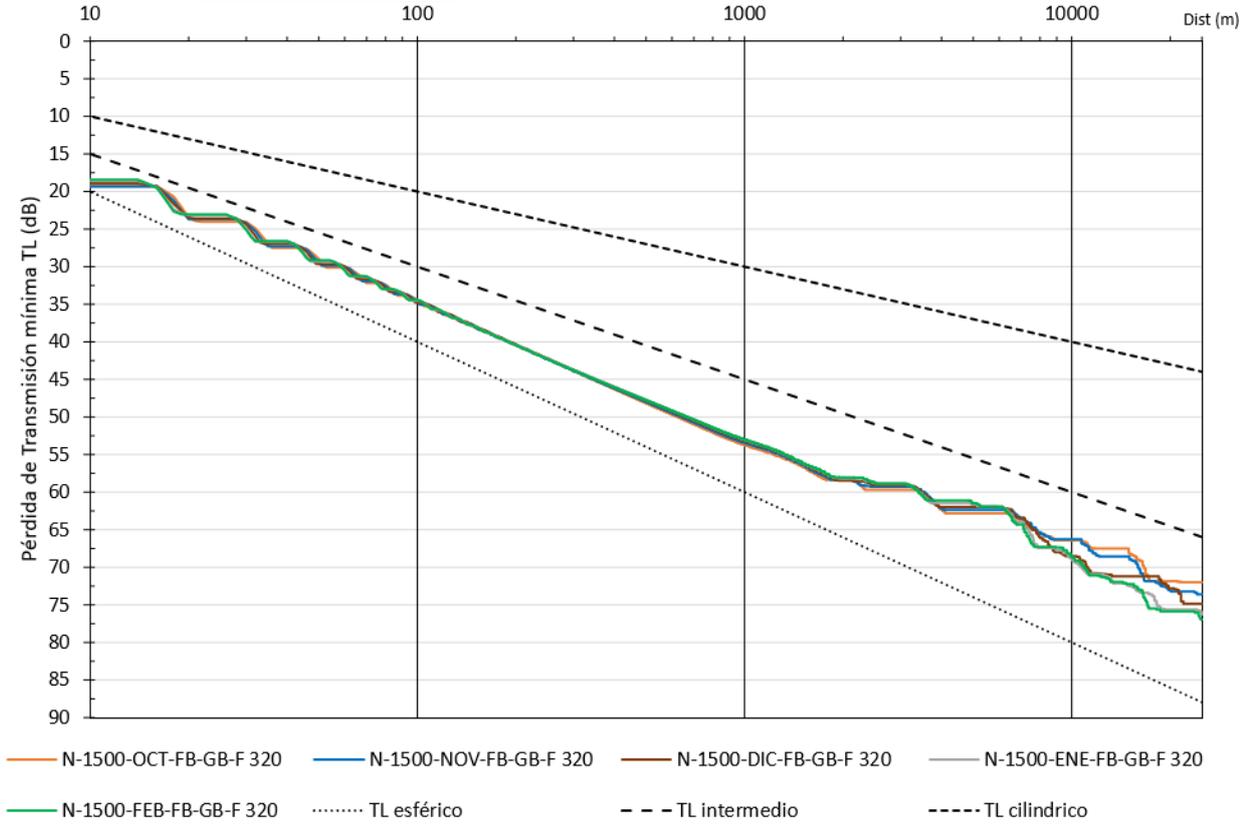
d. Frecuencia 160 Hz.



— N-1500-OCT-FB-GB-F 160 — N-1500-NOV-FB-GB-F 160 — N-1500-DIC-FB-GB-F 160 — N-1500-ENE-FB-GB-F 160
— N-1500-FEB-FB-GB-F 160 ⋯ TL esférico - - - TL intermedio - - - - TL cilíndrico

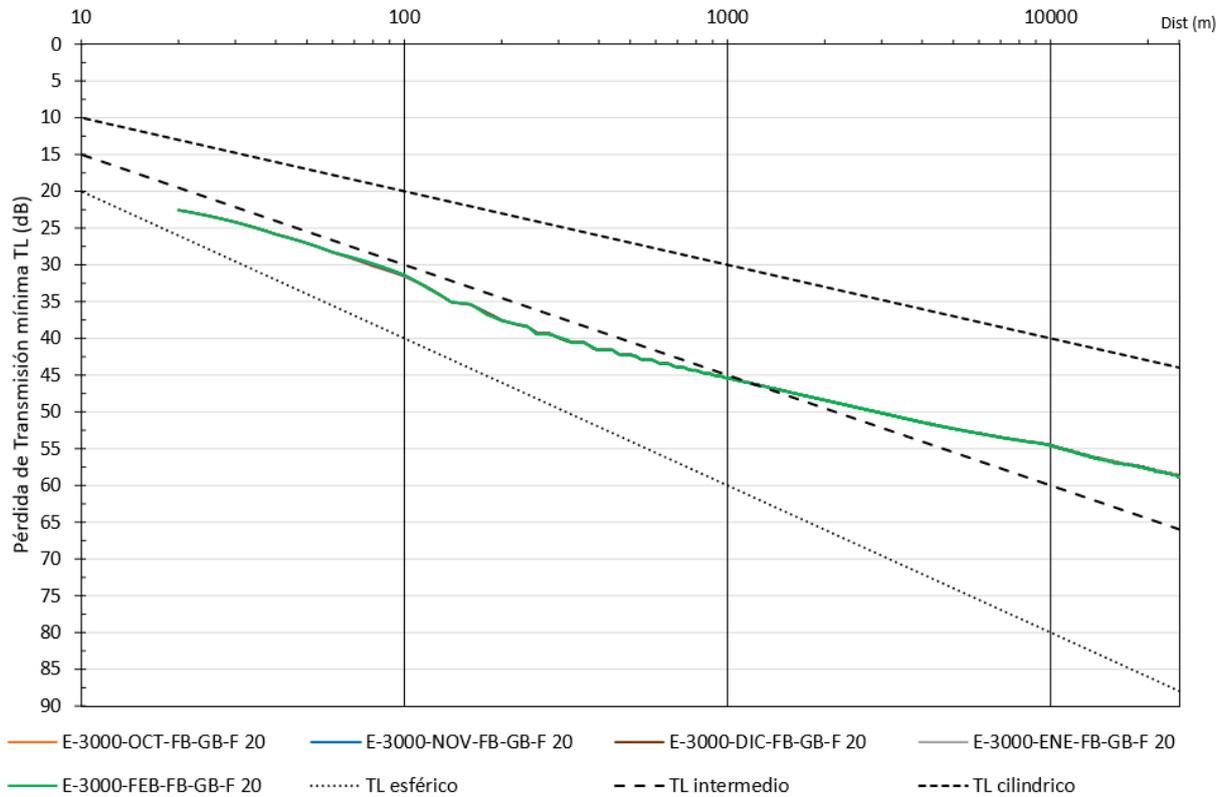


e. Frecuencia 320 Hz.

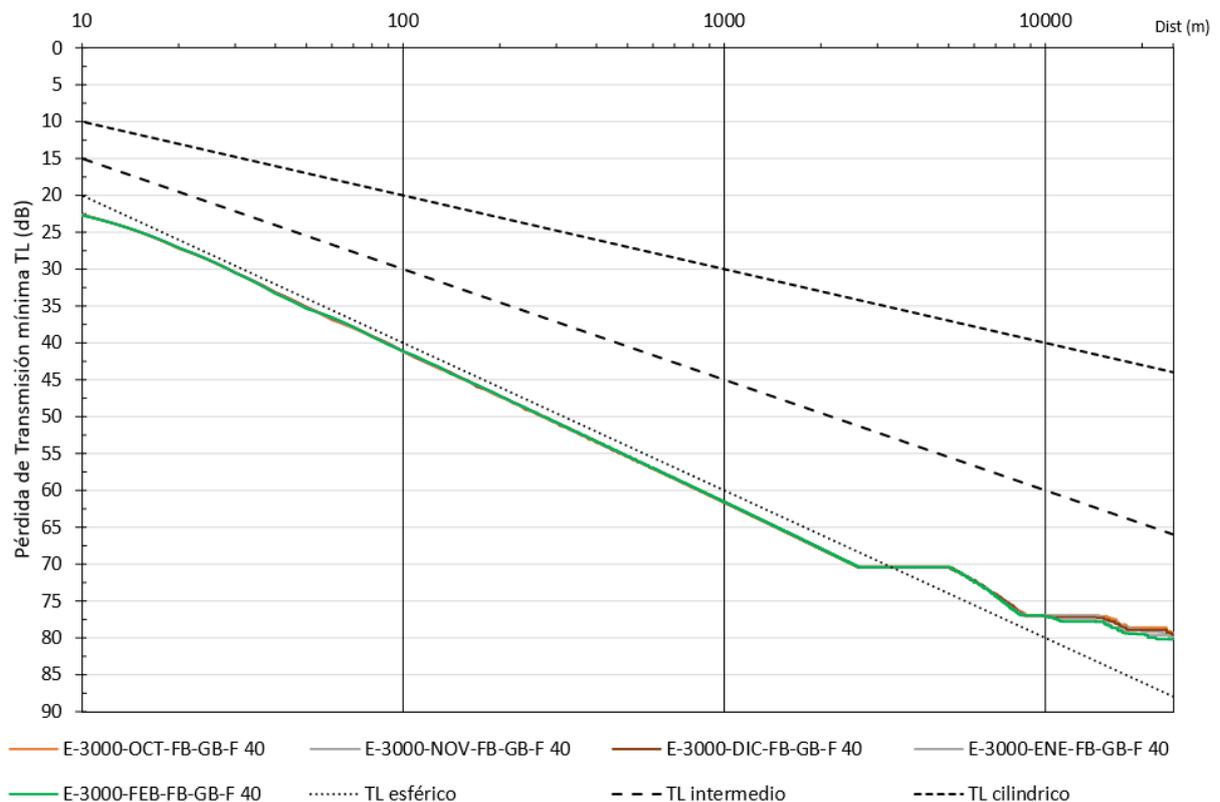



3. Punto E. Profundidad 3000 m

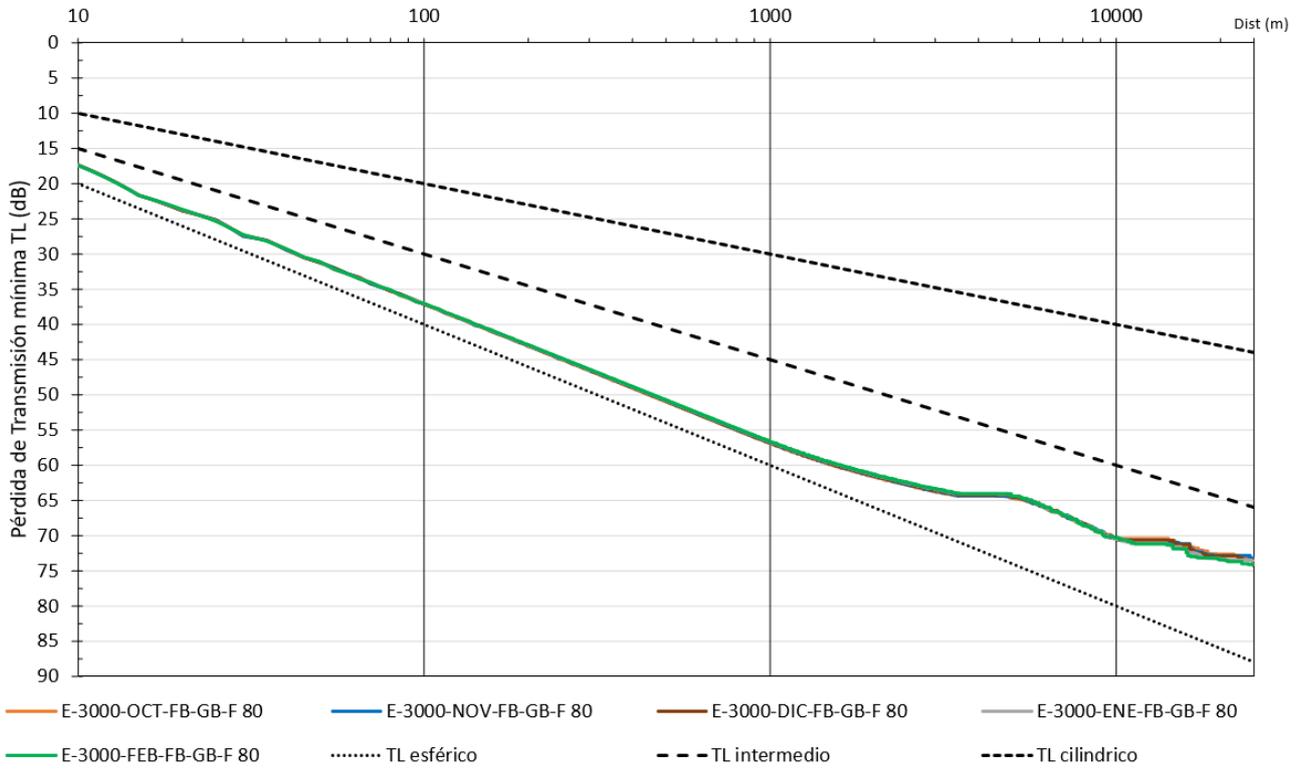
a. Frecuencia 20 Hz.



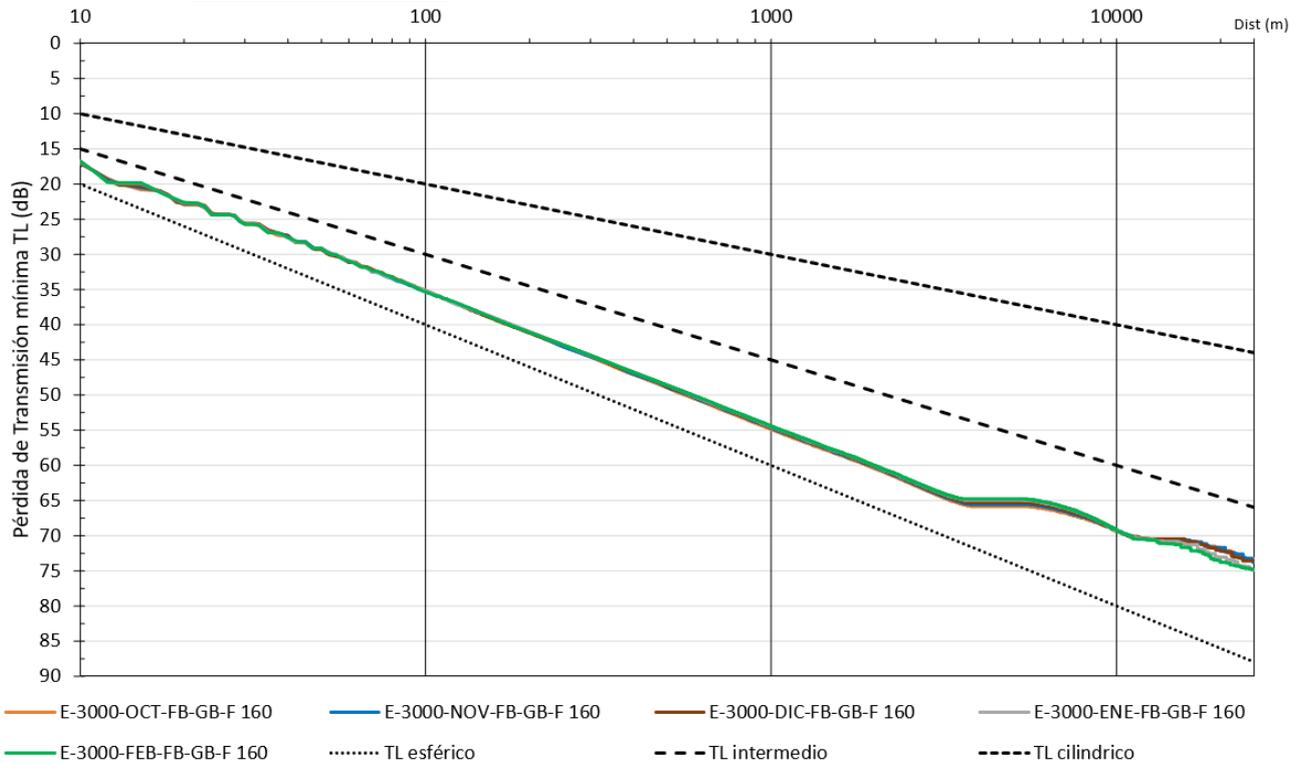
b. Frecuencia 40 Hz.



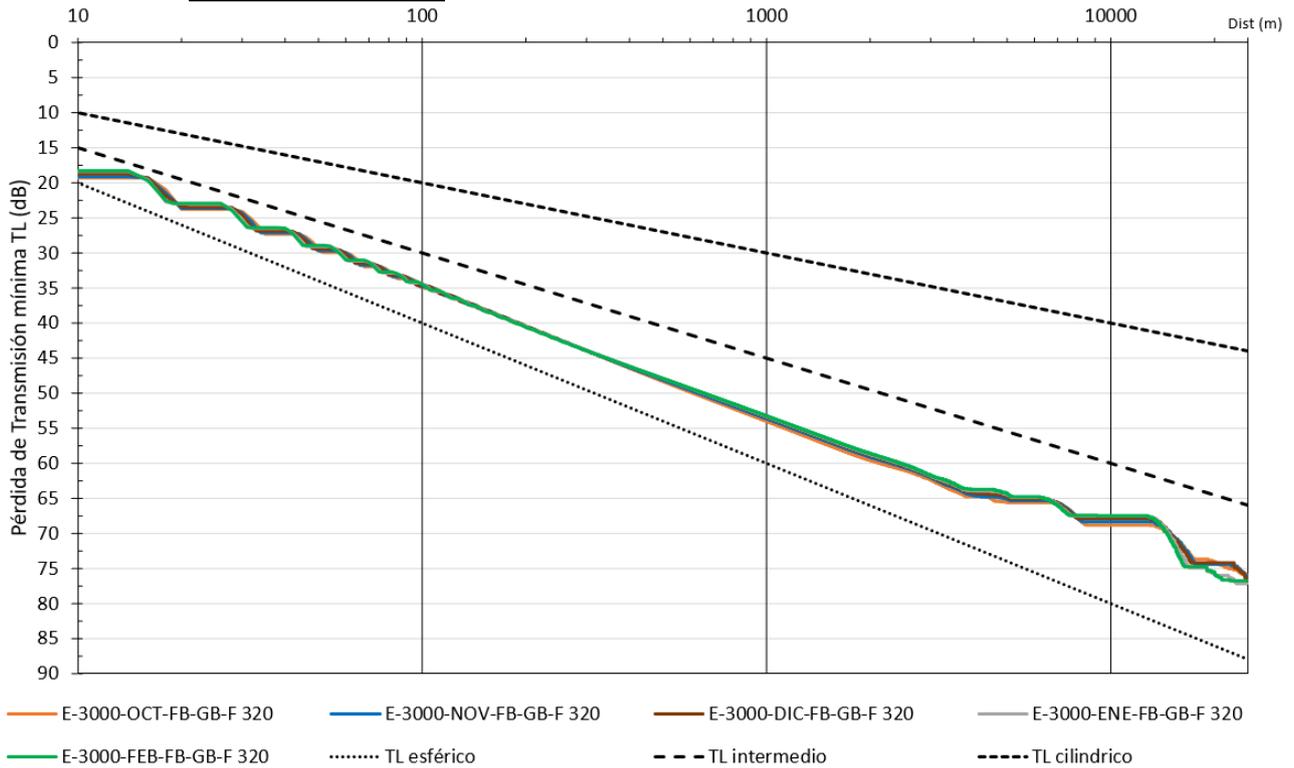

c. Frecuencia 80 Hz.



d. Frecuencia 160 Hz.

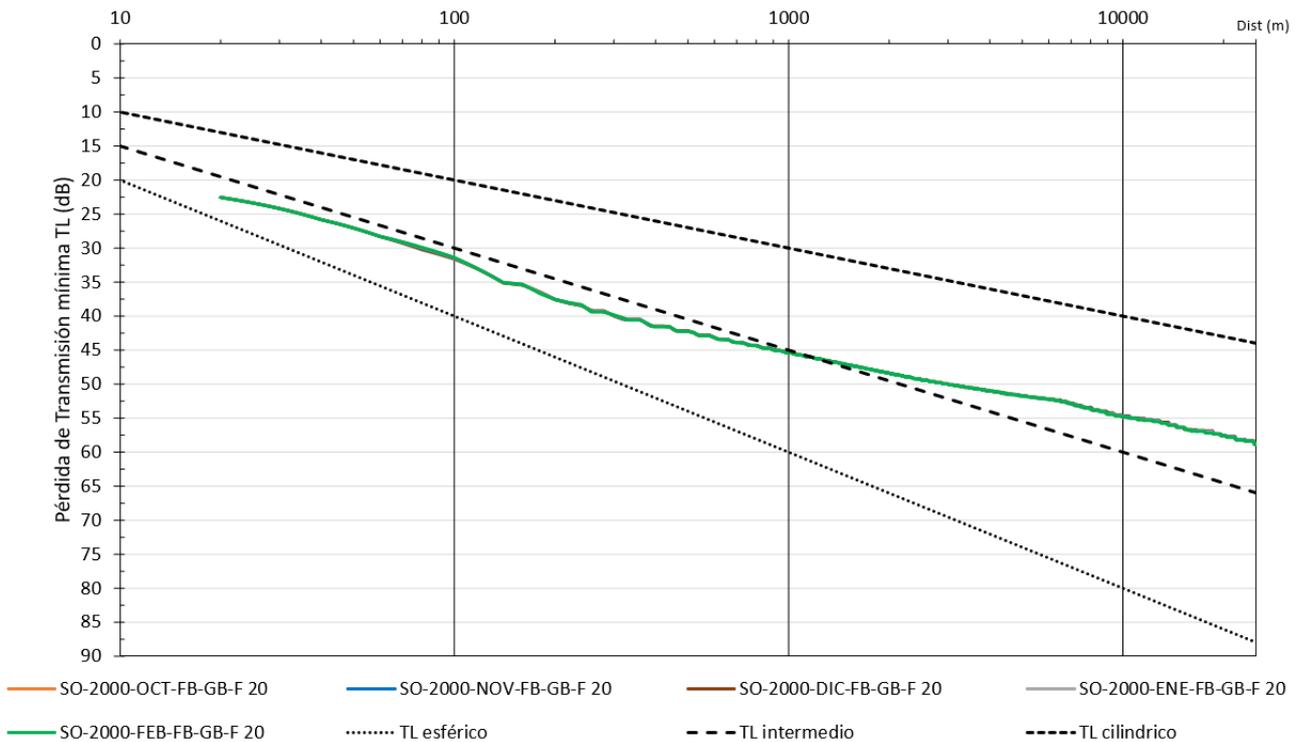



e. Frecuencia 320 Hz.

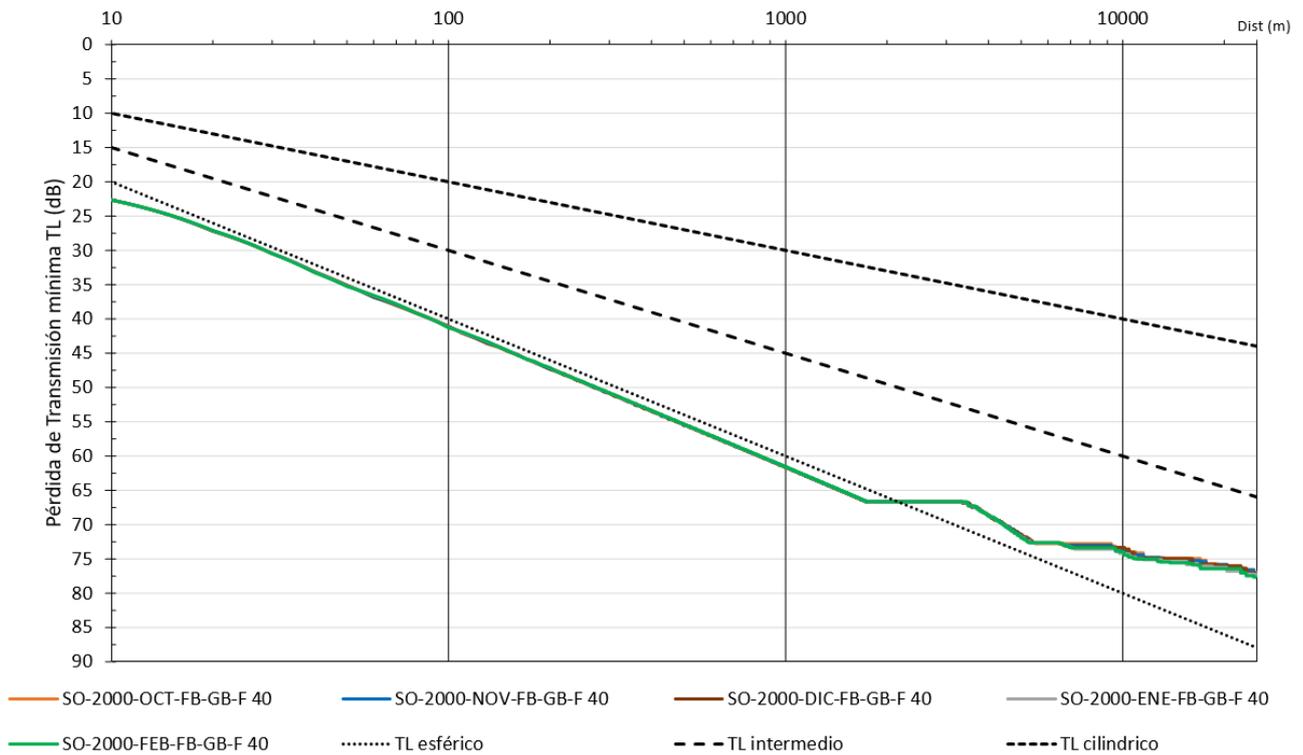


4. Punto SO. Profundidad 2000 m

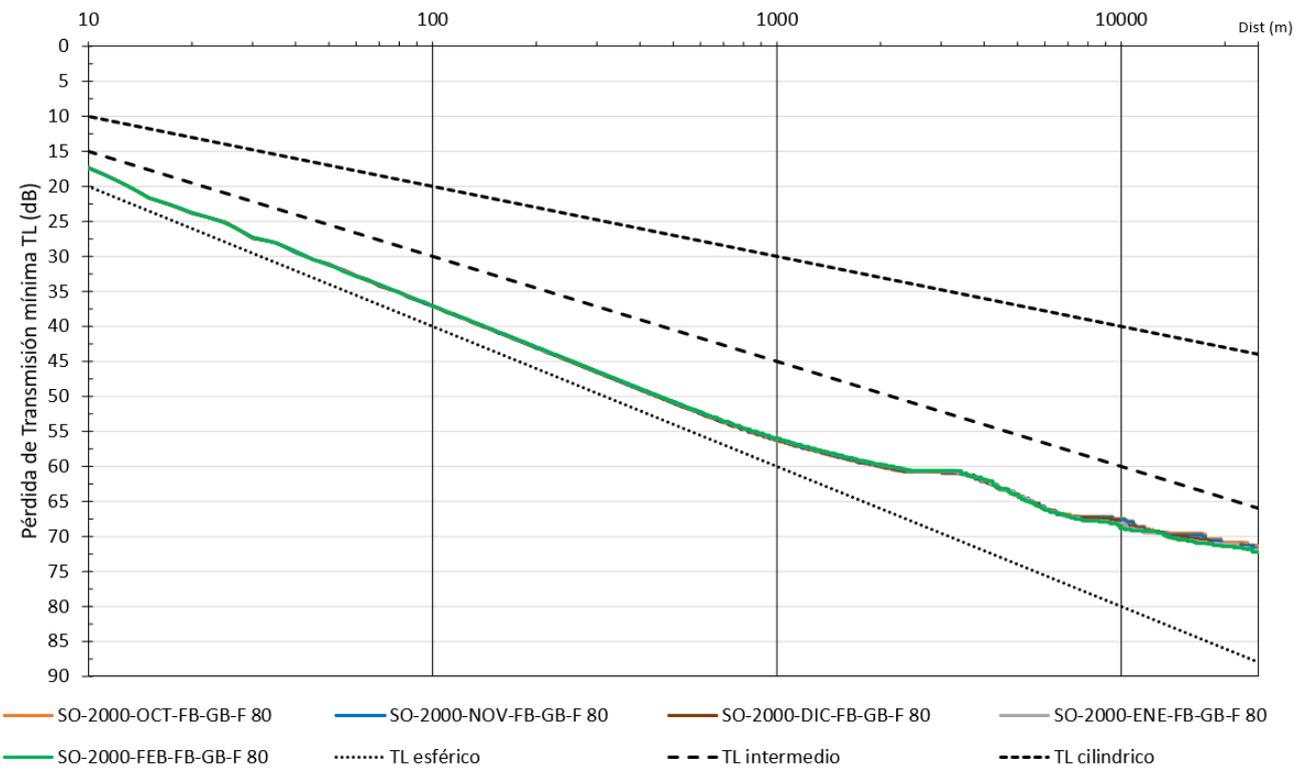
a. Frecuencia 20 Hz.



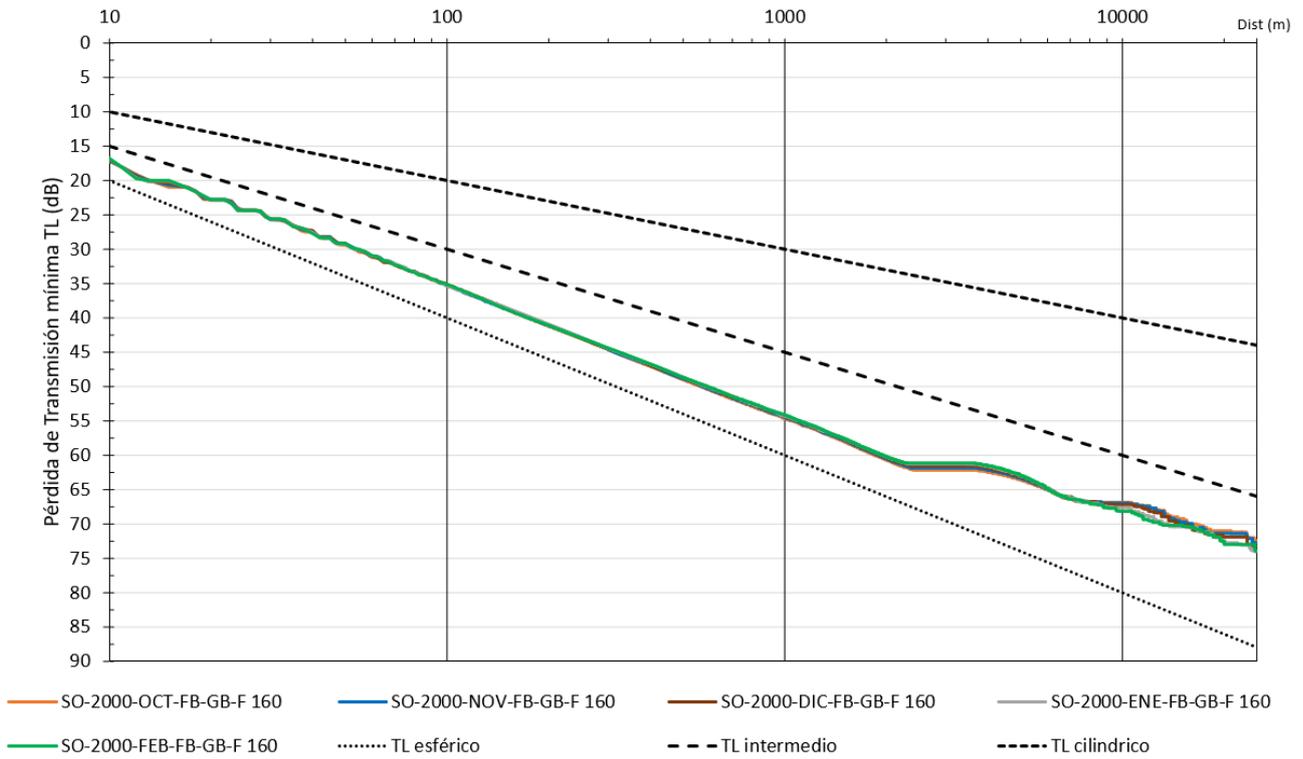

b. Frecuencia 40 Hz.



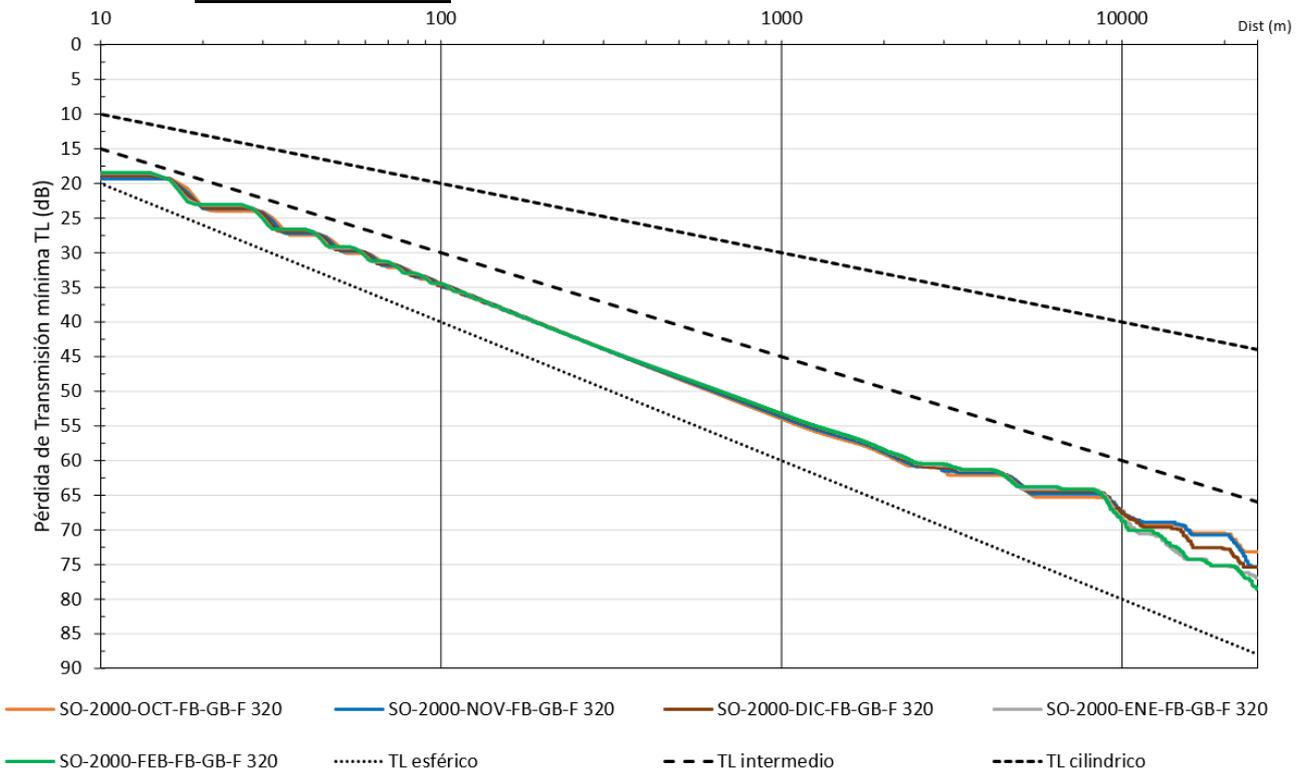
c. Frecuencia 80 Hz.




d. Frecuencia 160 Hz.

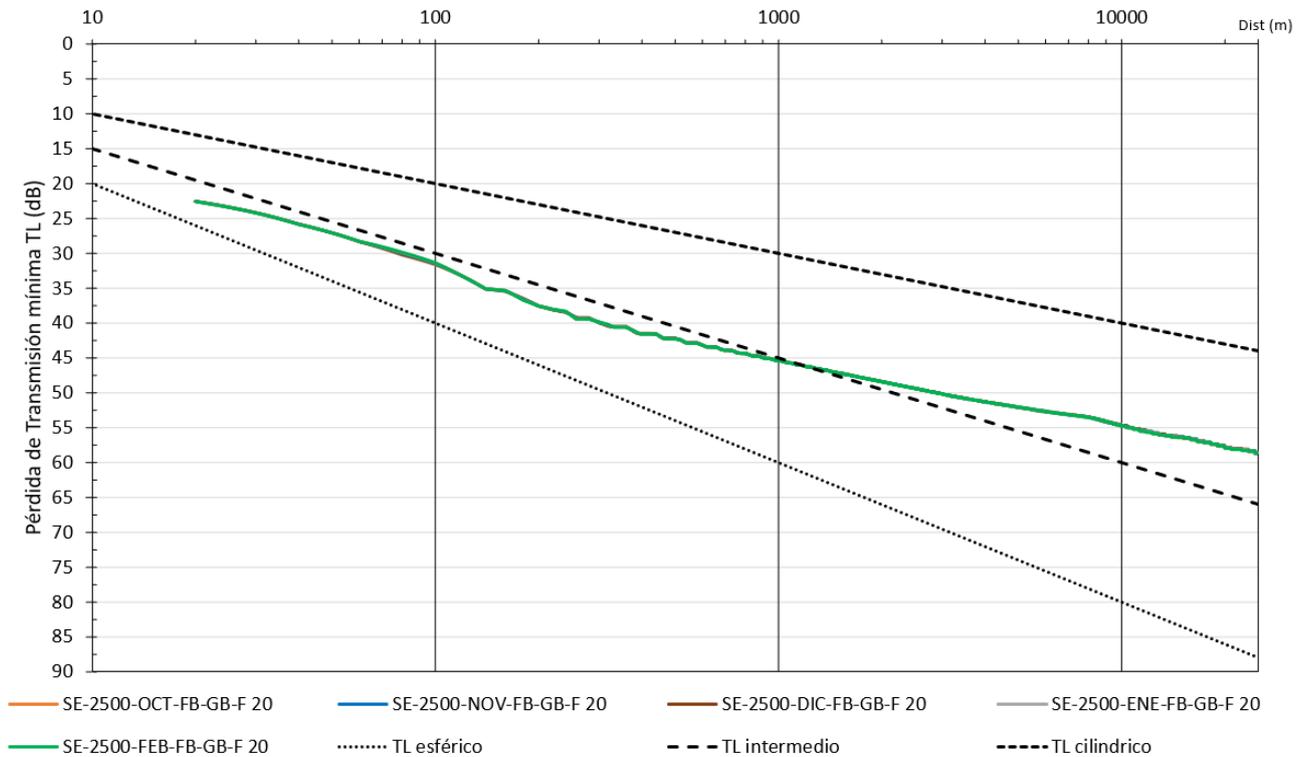


e. Frecuencia 320 Hz.

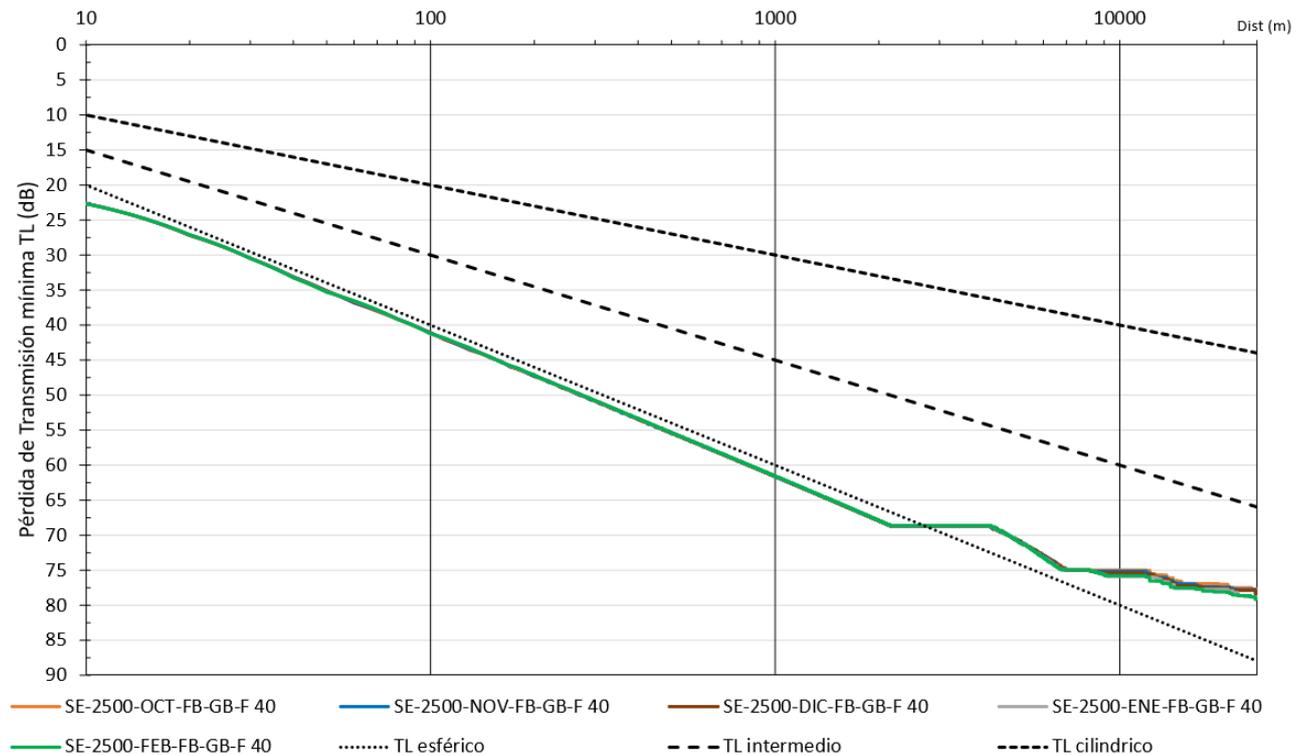



5. Punto SO. Profundidad 2000 m

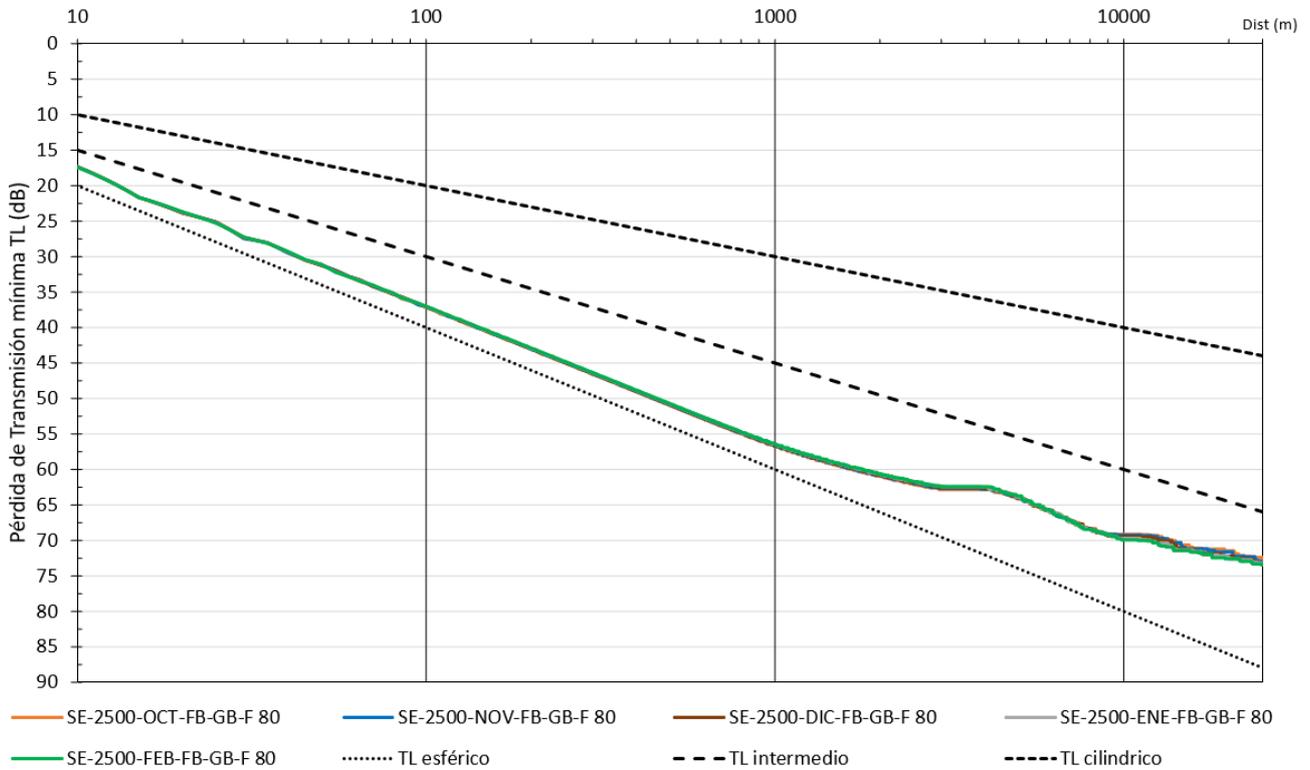
a. Frecuencia 20 Hz.



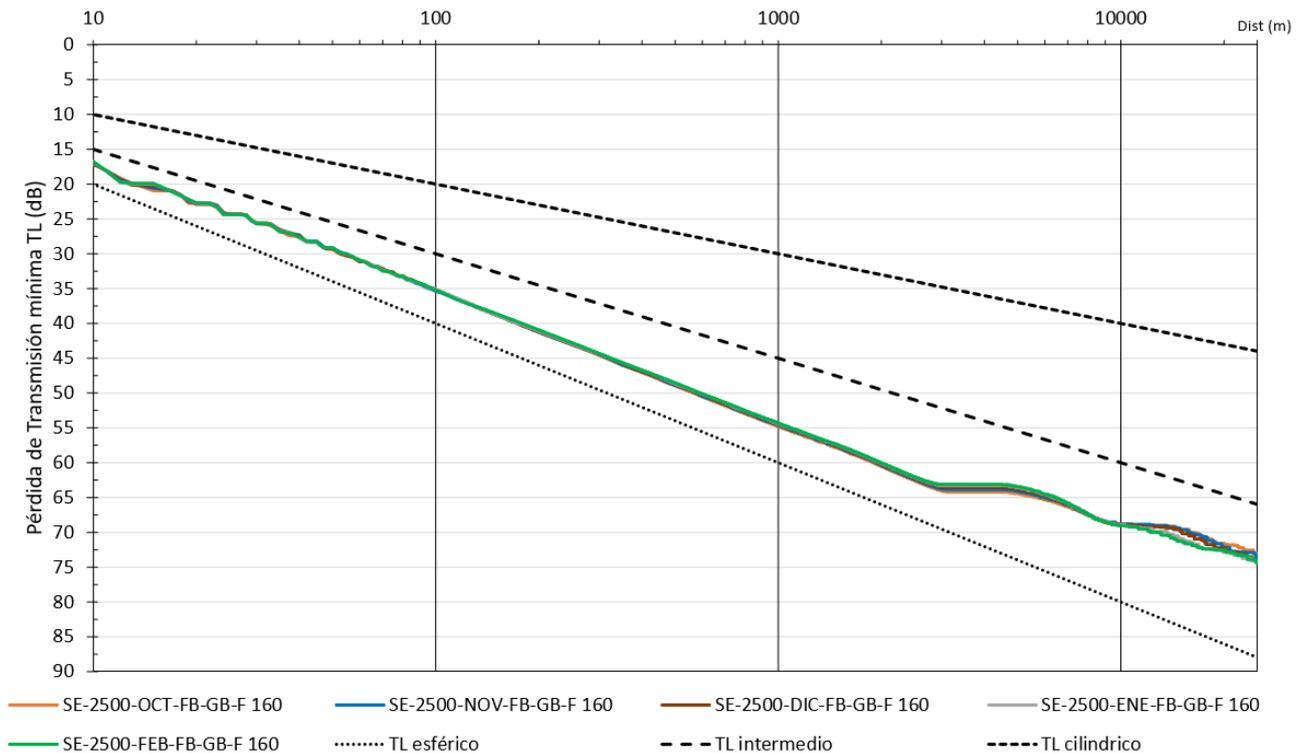
b. Frecuencia 40 Hz.



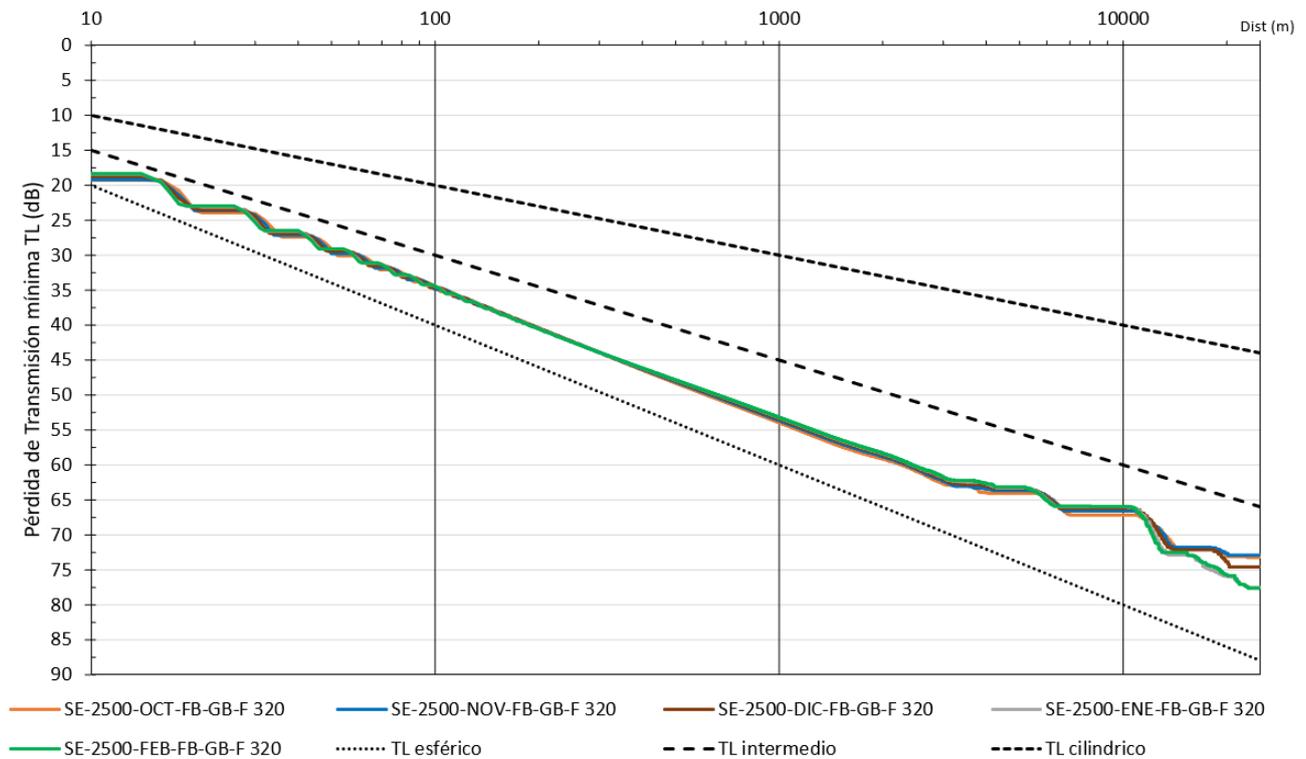

c. Frecuencia 80 Hz.



d. Frecuencia 160 Hz.




e. Frecuencia 320 Hz.



2 SENSIBILIDAD AL PUNTO DE UBICACIÓN Y PROFUNDIDAD

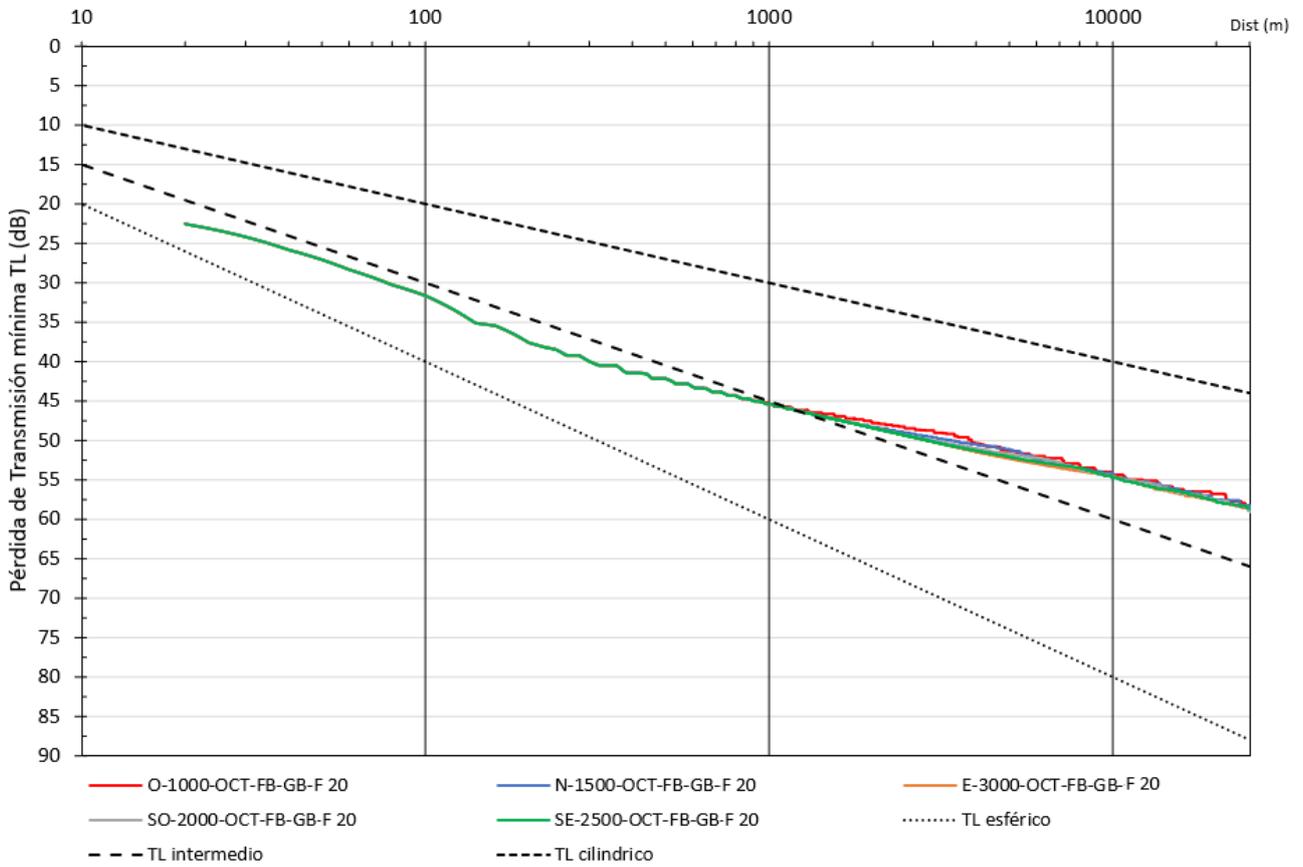
A continuación se analizó la sensibilidad respecto al punto de ubicación y su profundidad, considerando el perfil oceánico mas conservativo de velocidad del sonido y densidad.

Se puede observar que para todas las frecuencias la condición mas conservativa resulta el punto O con profundidad 1000 m, y perfil oceanográfico de Octubre (O-1000-OCT), salvo para la frecuencia 320 Hz a mas de 10 km, donde se vuelve del mismo orden que para los puntos N y SO.

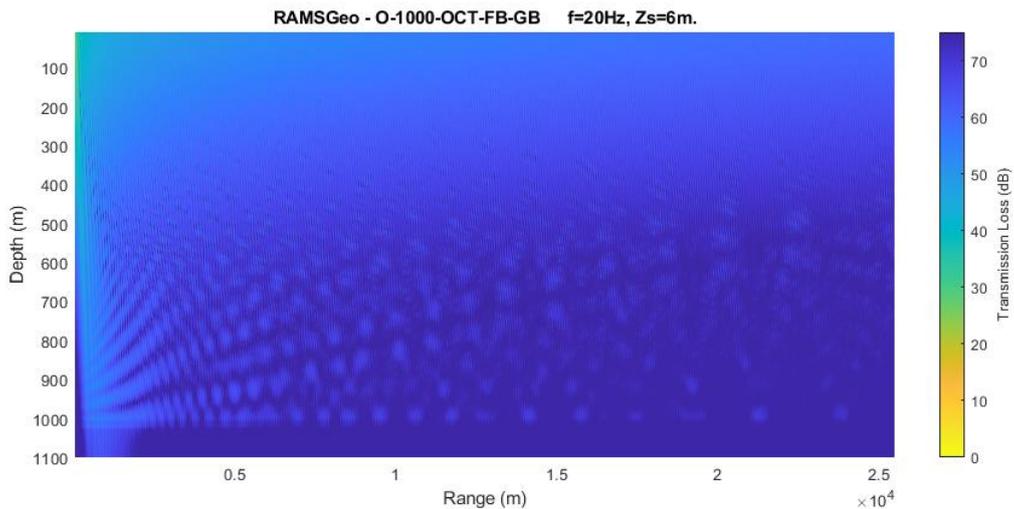


FB-GB: Fango- Grava

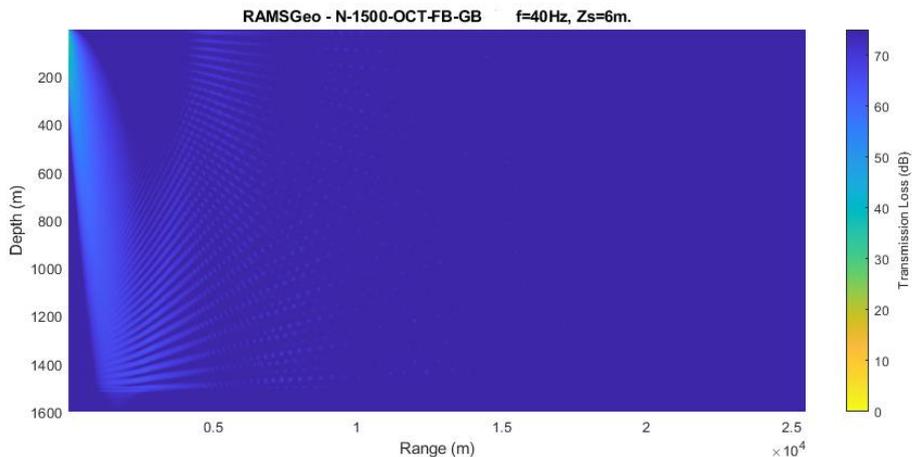
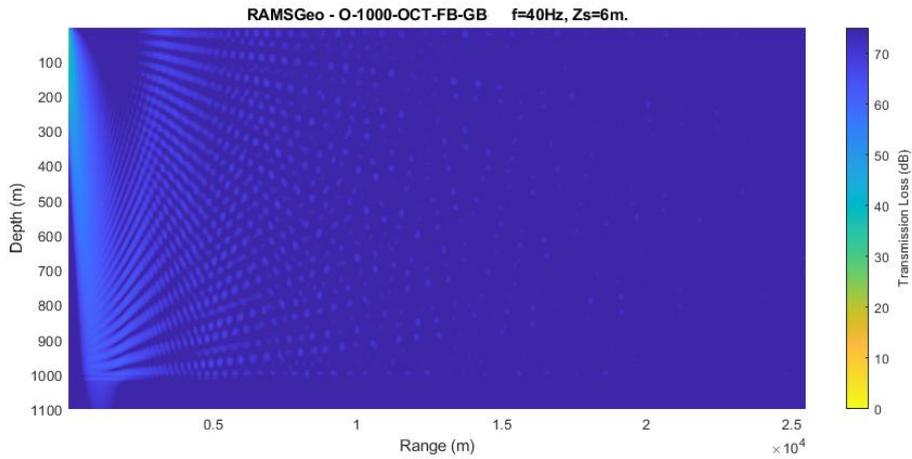
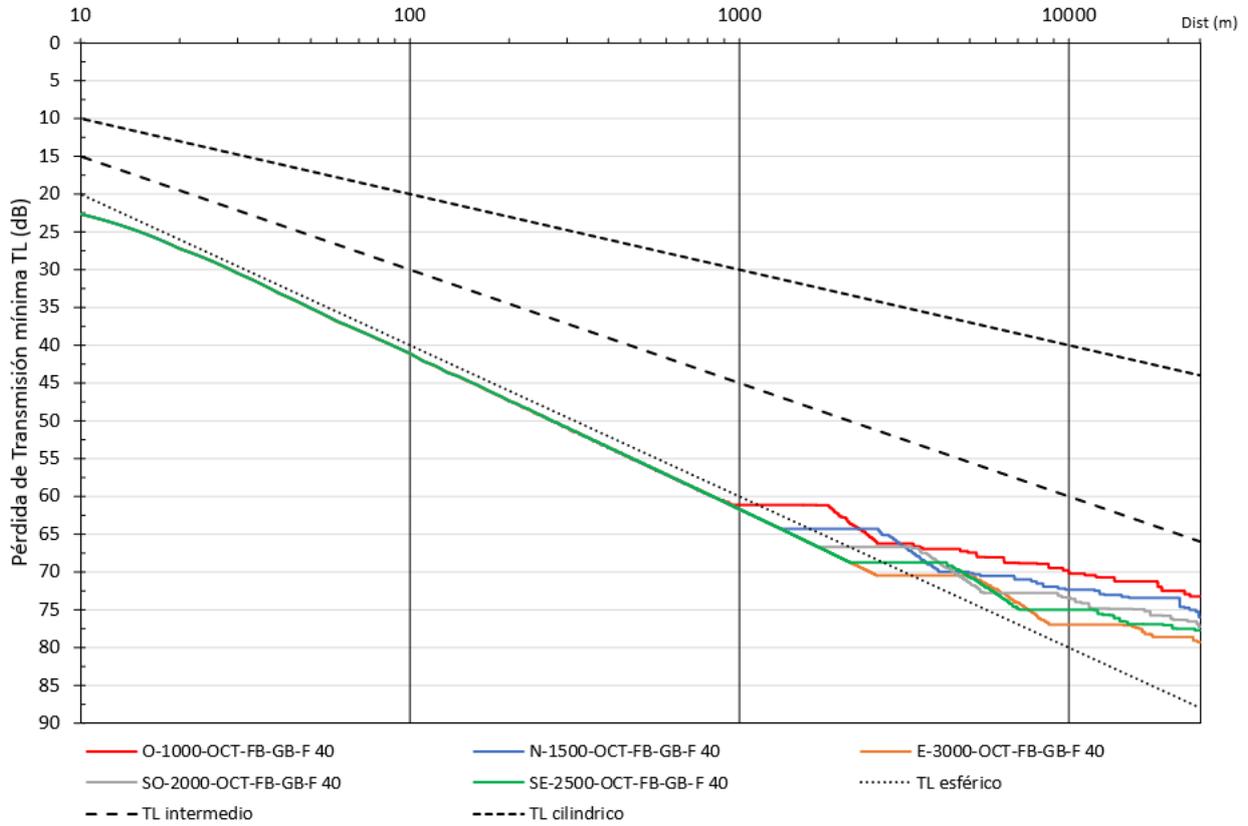
a. Frecuencia 20 Hz.

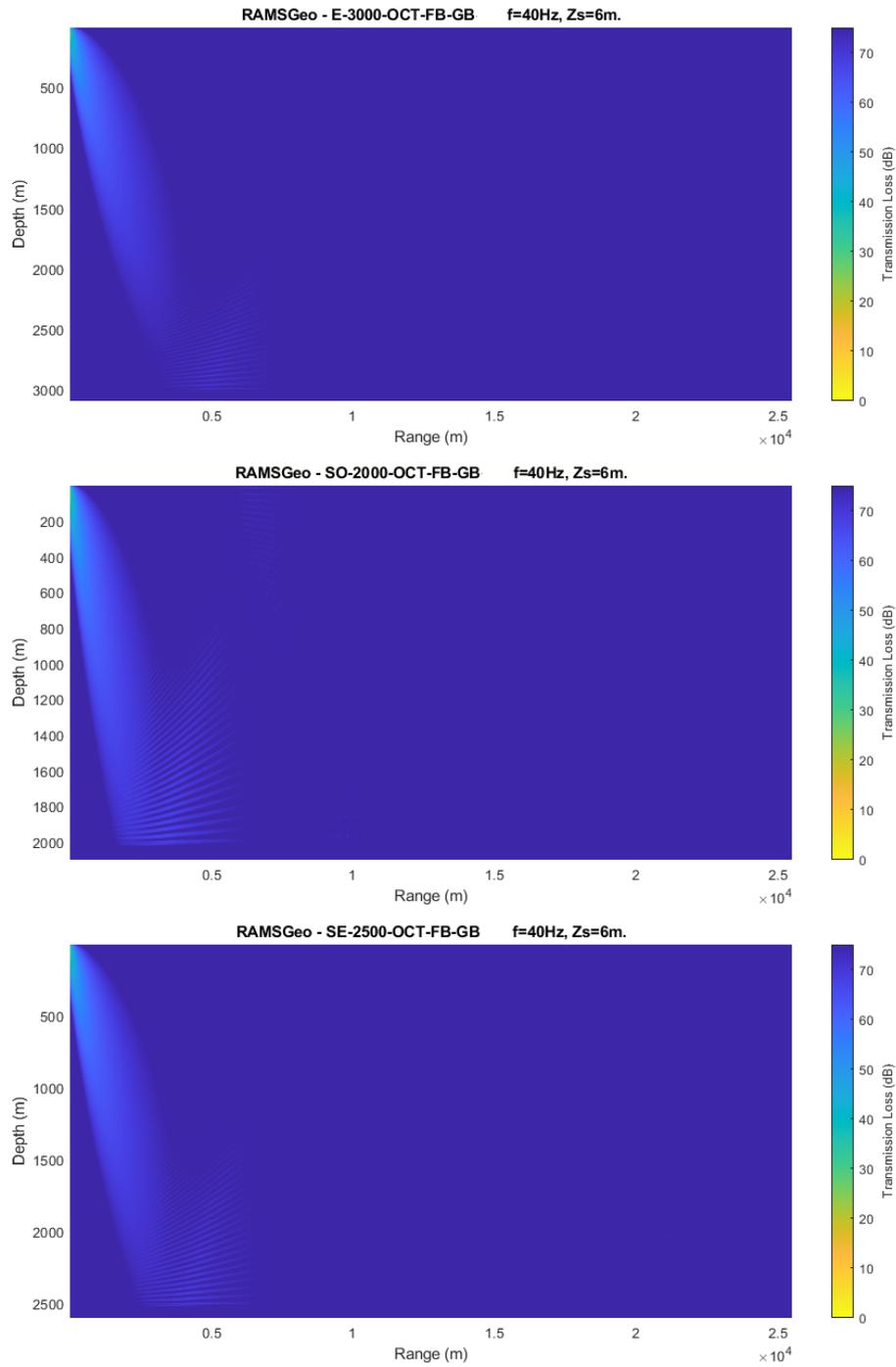


Se presenta una sola imagen pues son todas muy similares para 20 Hz.

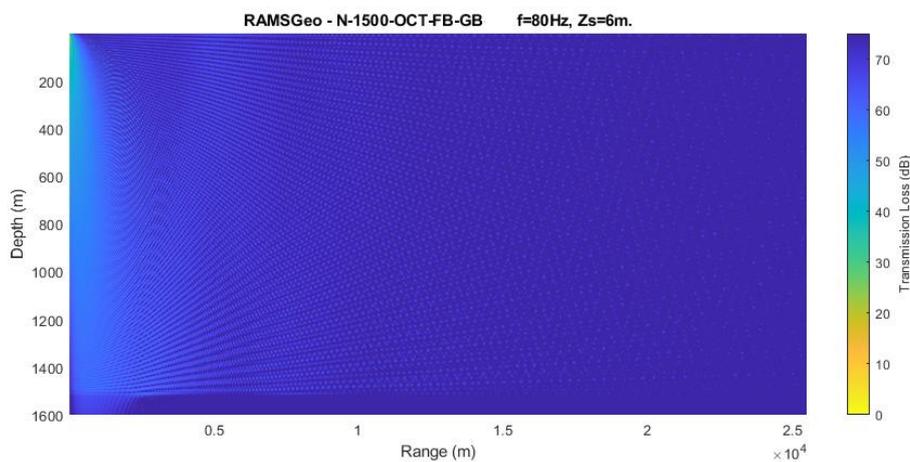
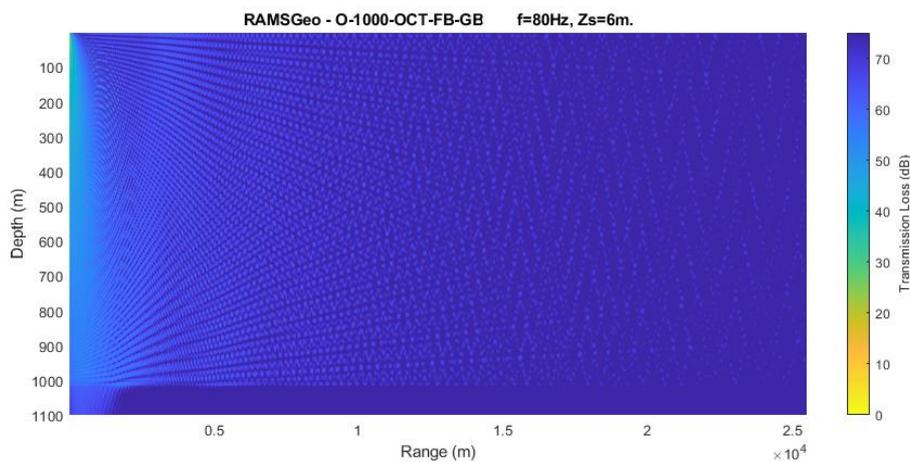
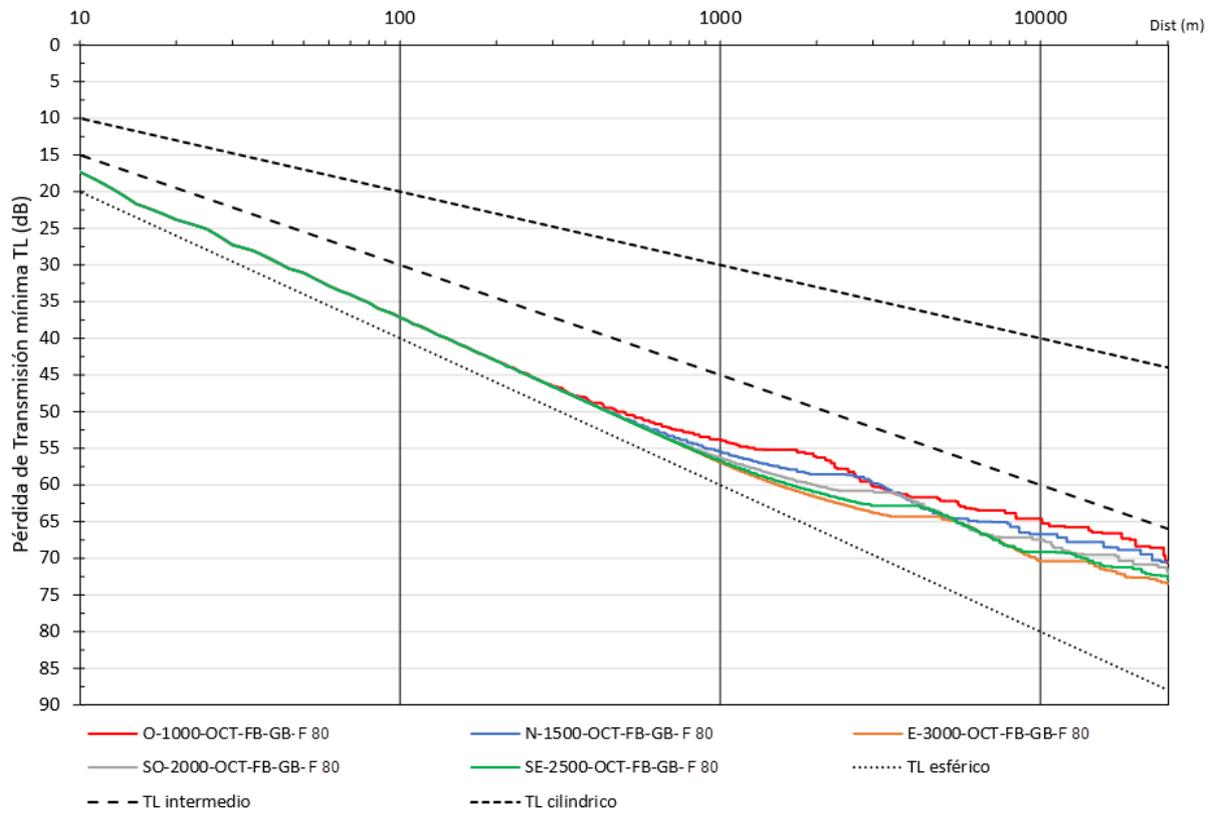


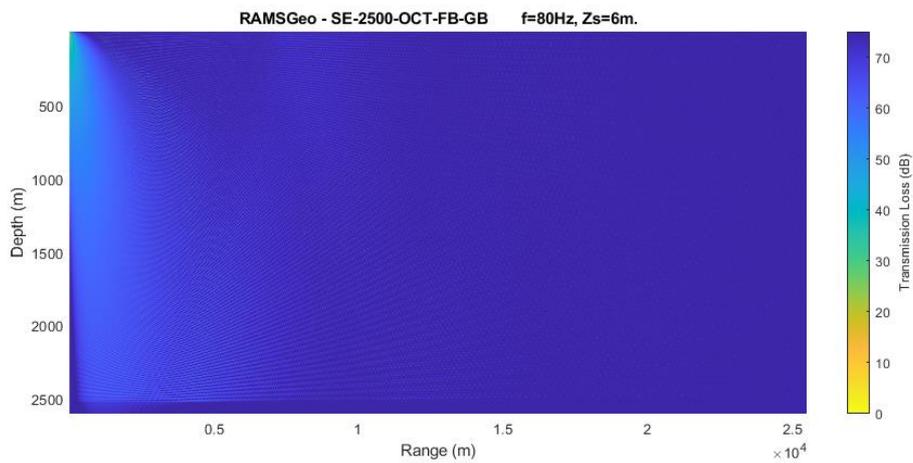
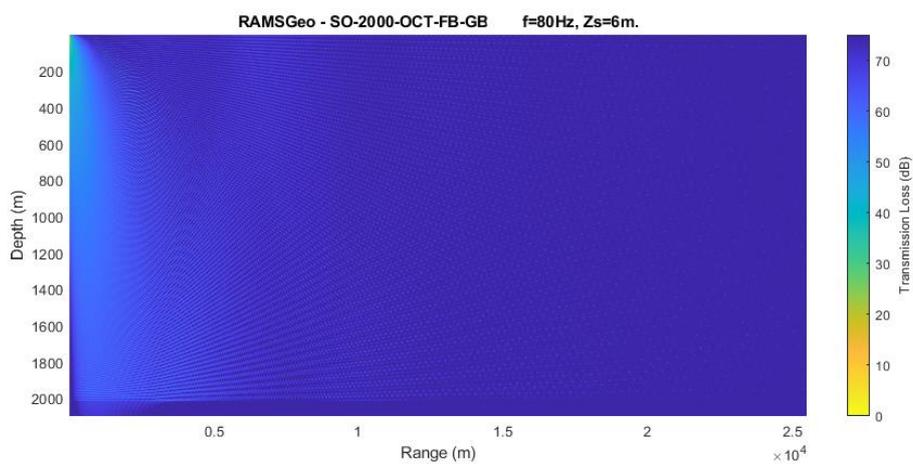
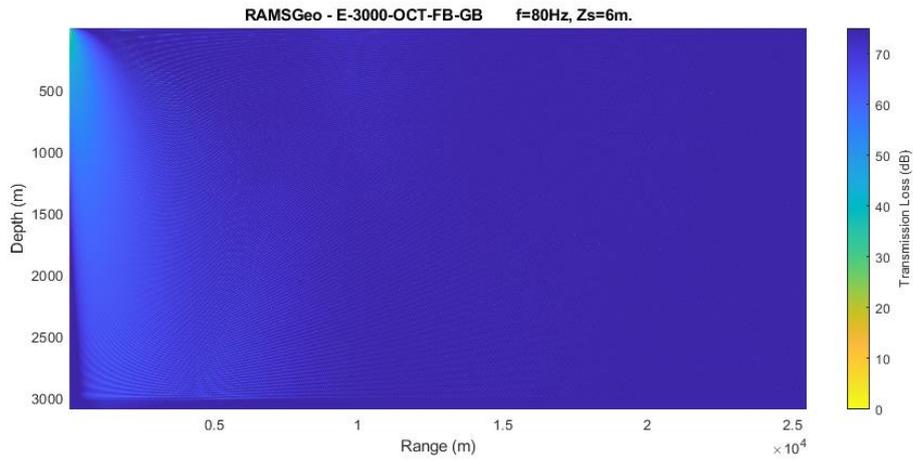

b. Frecuencia 40 Hz.



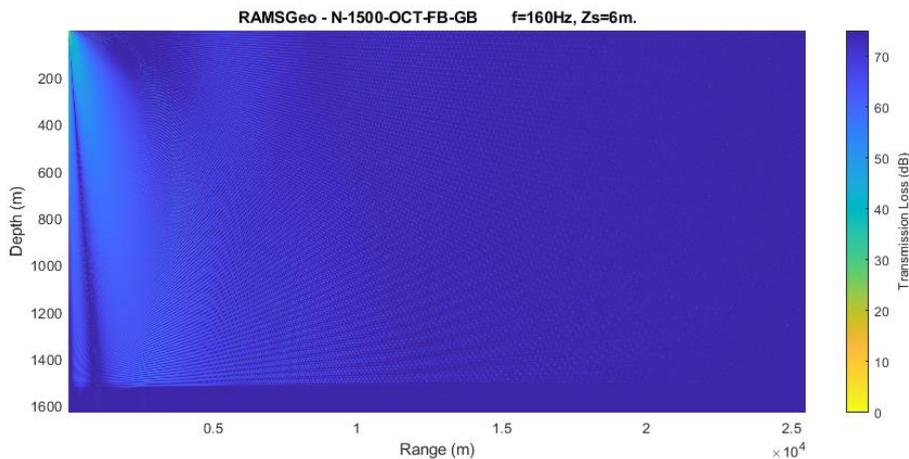
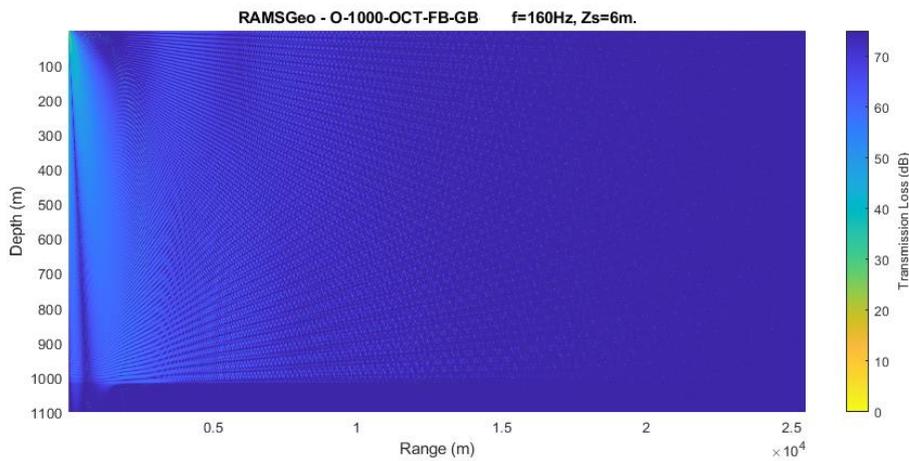
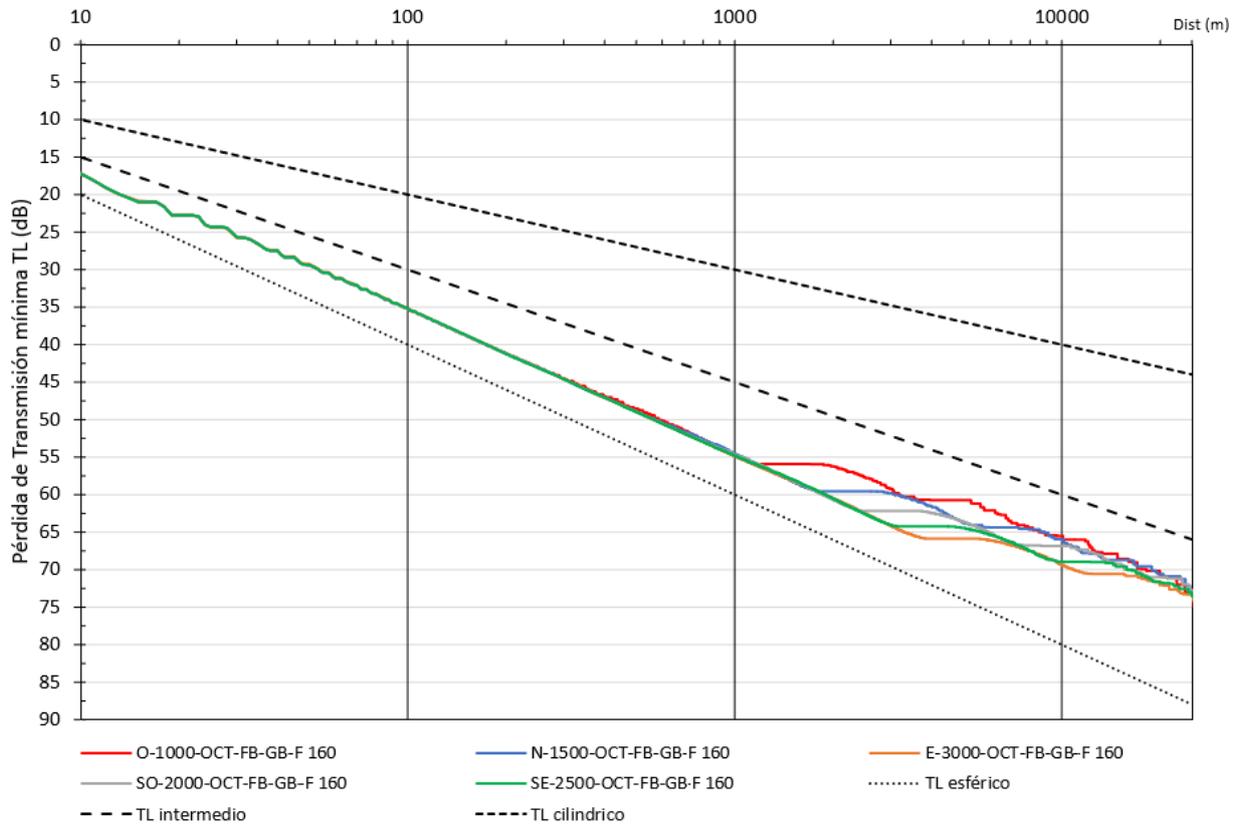



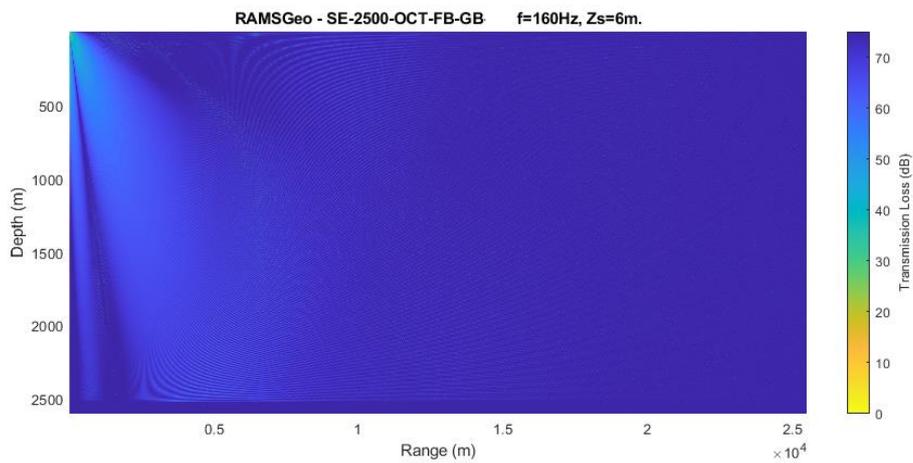
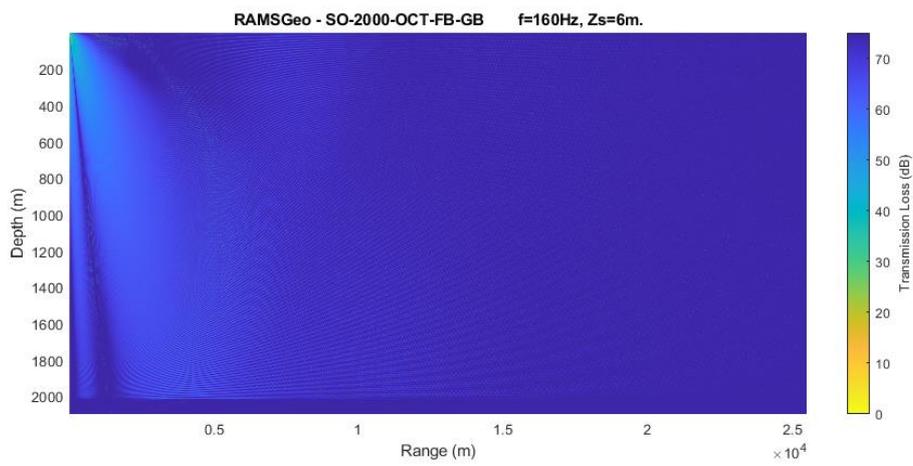
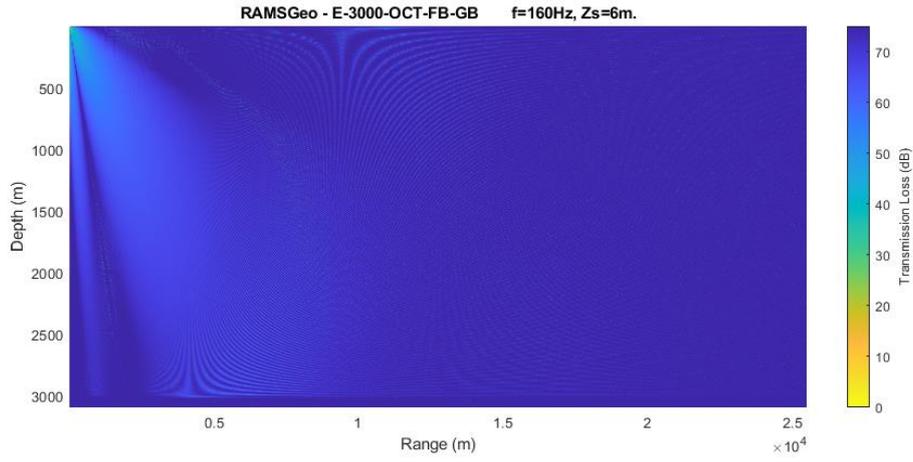
c. Frecuencia 80 Hz.



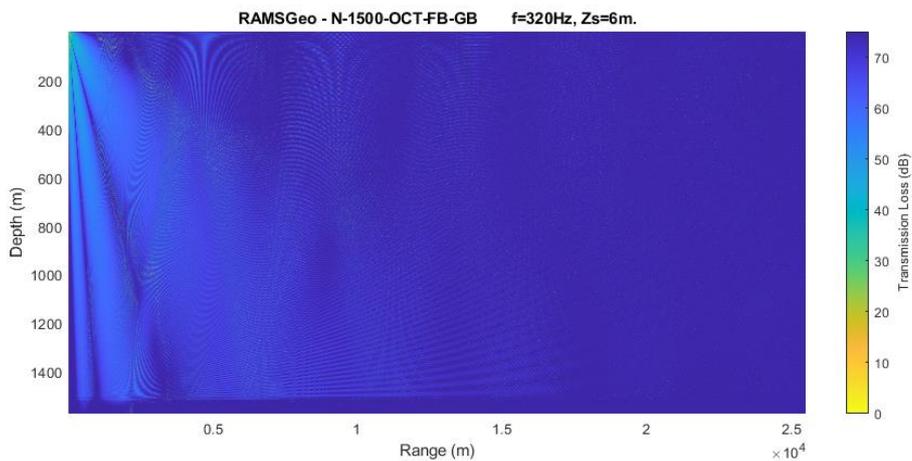
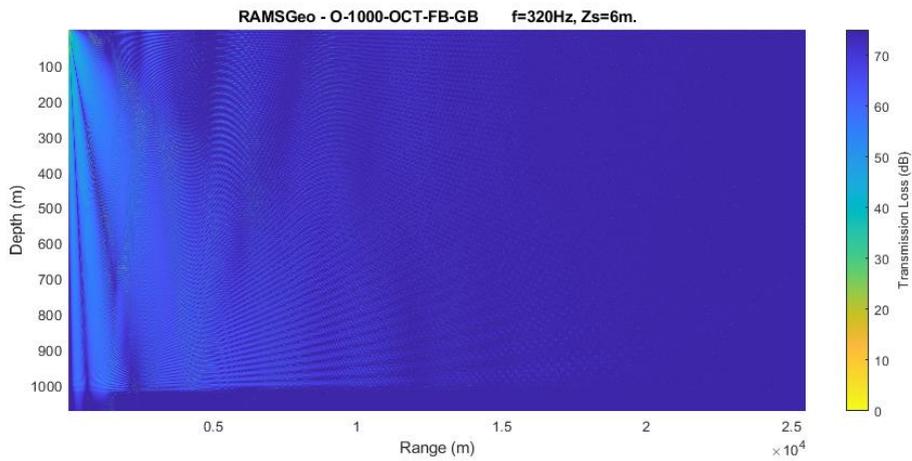
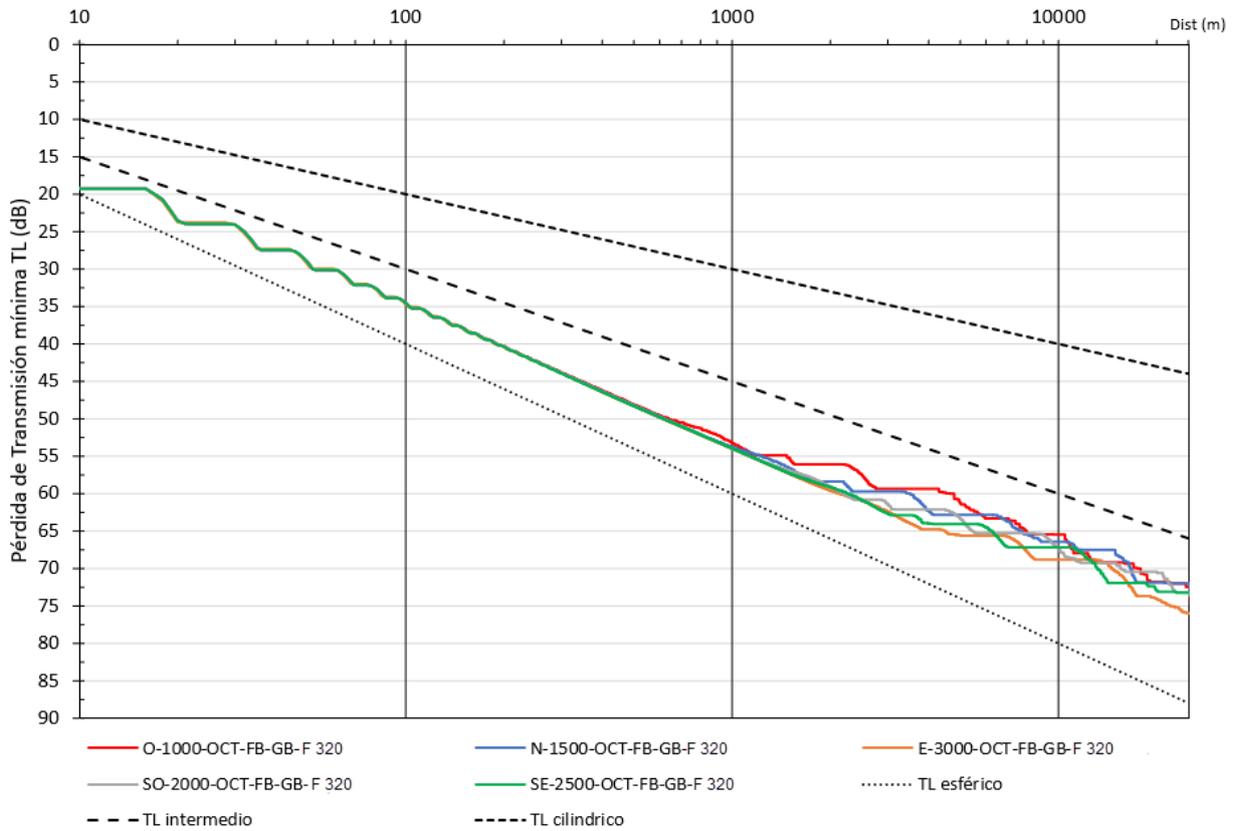


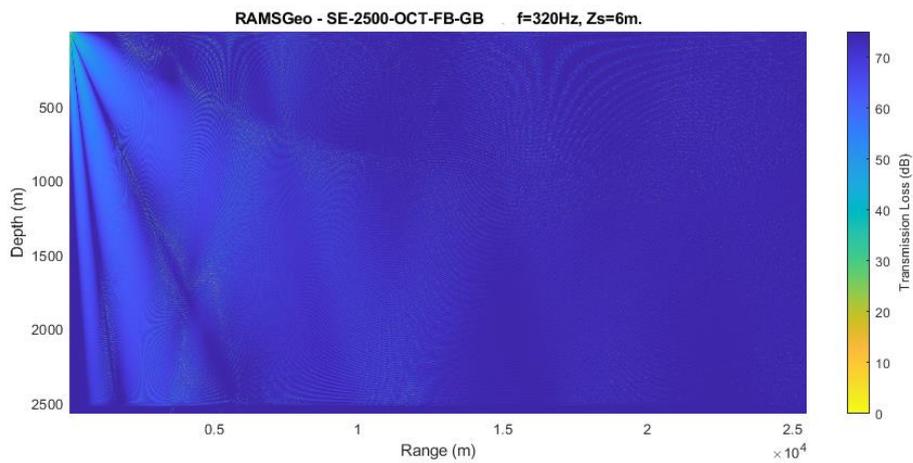
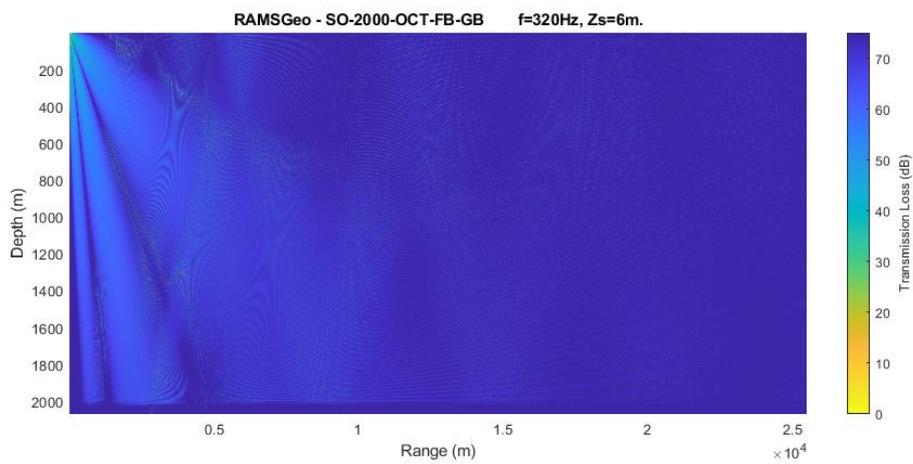
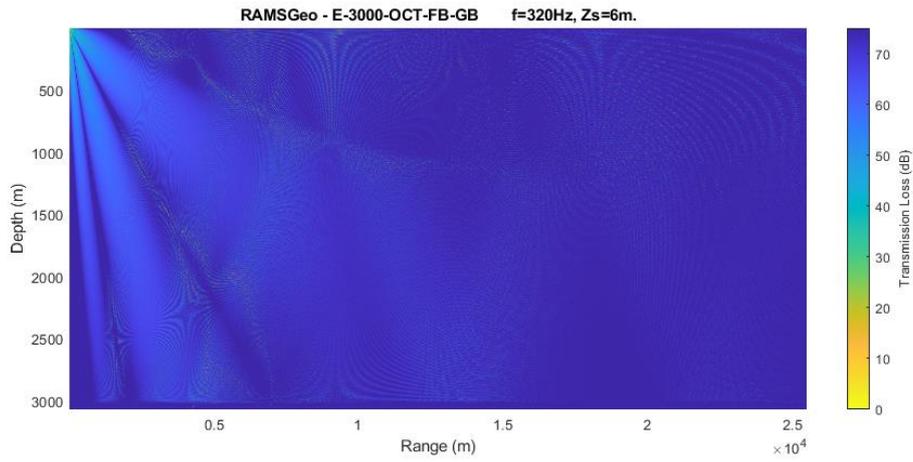
d. Frecuencia 160 Hz.





e. Frecuencia 320 Hz.



3 SENSIBILIDAD A LA BATIMETRÍA VARIABLE

Se efectuó también un análisis de sensibilidad, respecto a la variabilidad de la batimetría en la zona de estudio. En la Figura 2, se muestra la batimetría de la zona junto a los puntos seleccionados, en la cual se han marcado un perfil en sentido NW-SE, representativo de la zona de estudio. La cota de lecho del perfil batimétrico se presenta en la Figura 3.

En la Figura 4 se muestra la selección de los distintos tramos y dirección del perfil representativo.

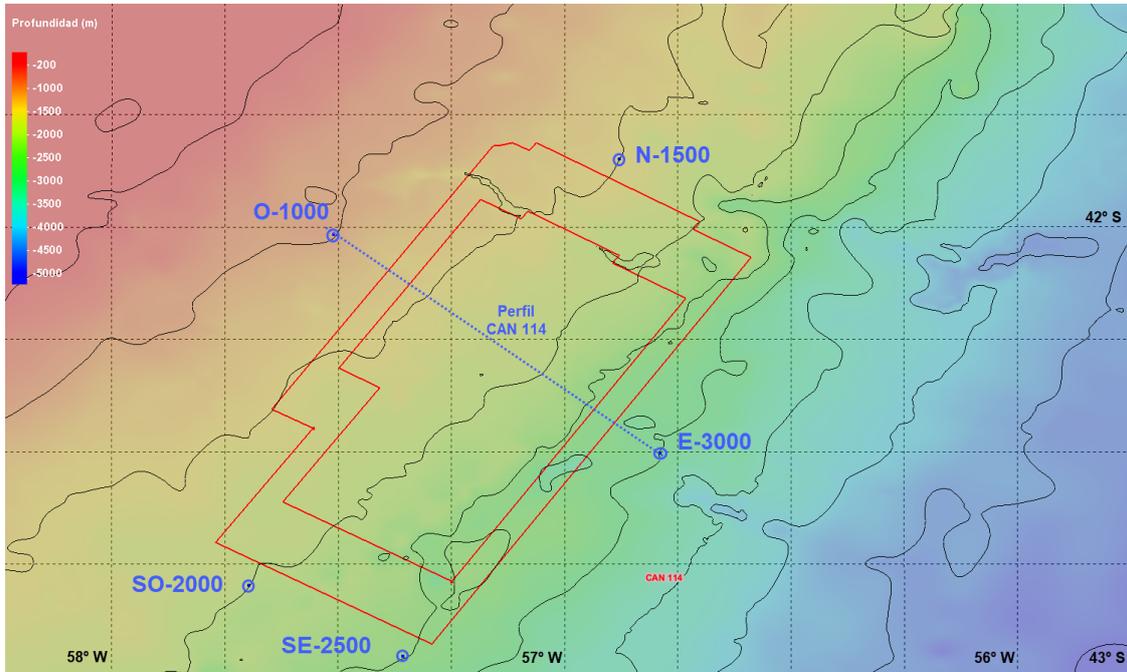


Figura 2. Batimetría de la zona de estudio y perfil para análisis de sensibilidad a la variabilidad batimétrica.

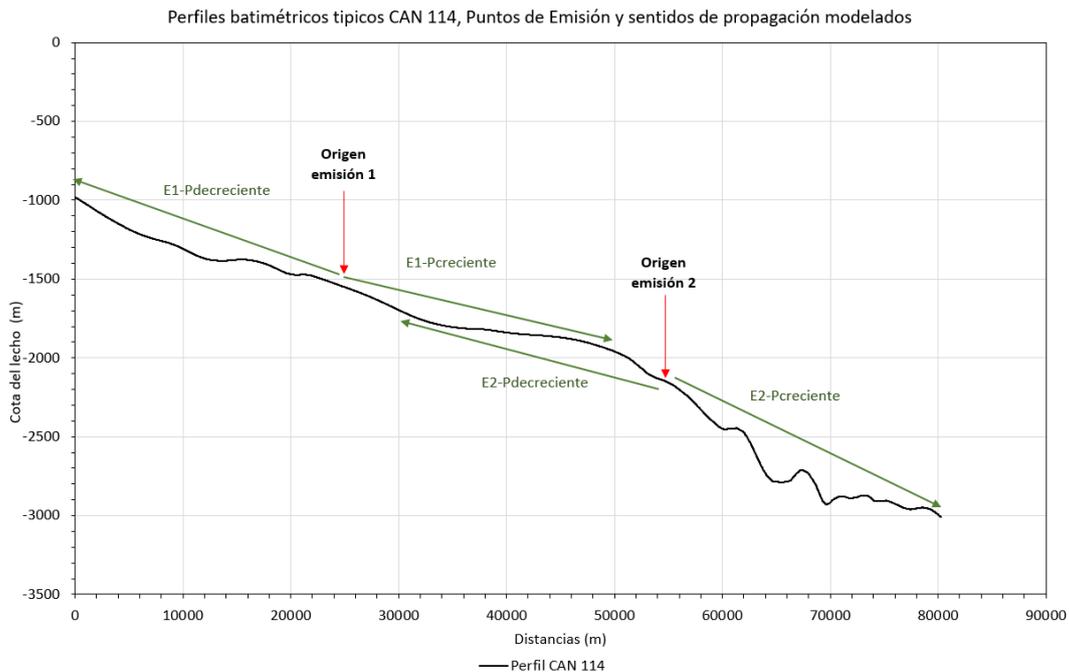


Figura 3. Perfil batimétrico seleccionado para el análisis de sensibilidad a la variabilidad batimétrica.



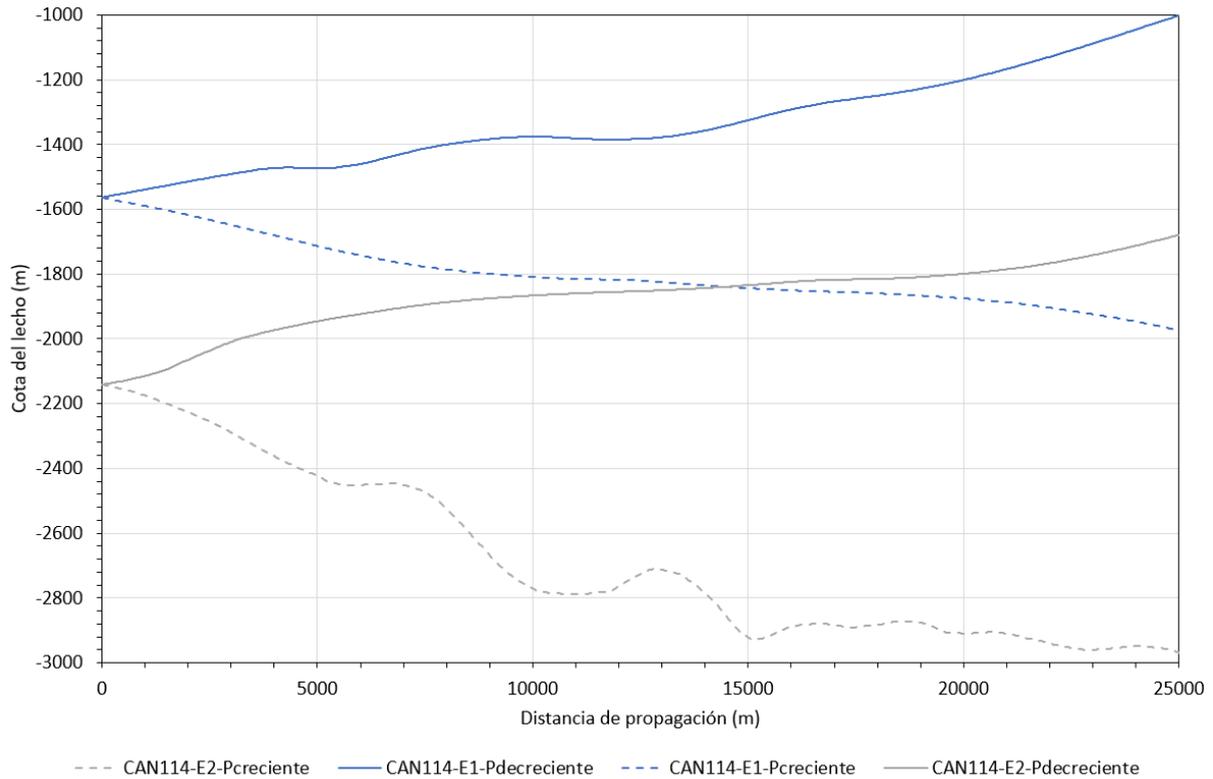


Figura 4. Secciones del perfil batimétrico seleccionado.

Se presentan en las figuras a continuación los resultados de las modelaciones de sensibilidad a los a la variabilidad batimétrica según frecuencia.

Se observa que en general la condición de profundidad constante 1000 m del punto SO (SO-1000) resulta más conservativa para todas las frecuencias comparada con las condiciones de batimetría variable.

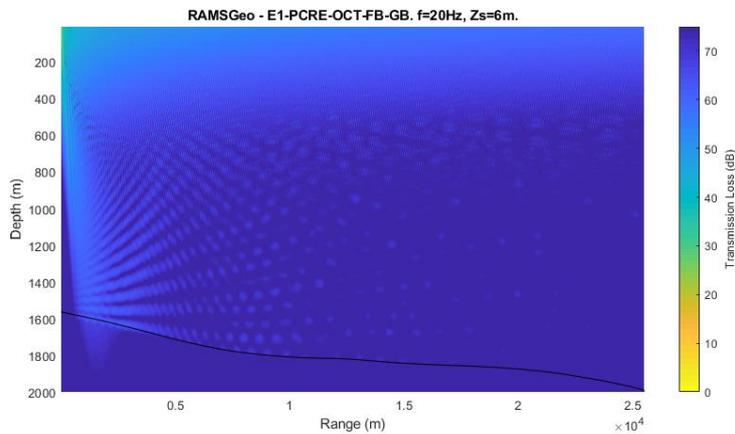
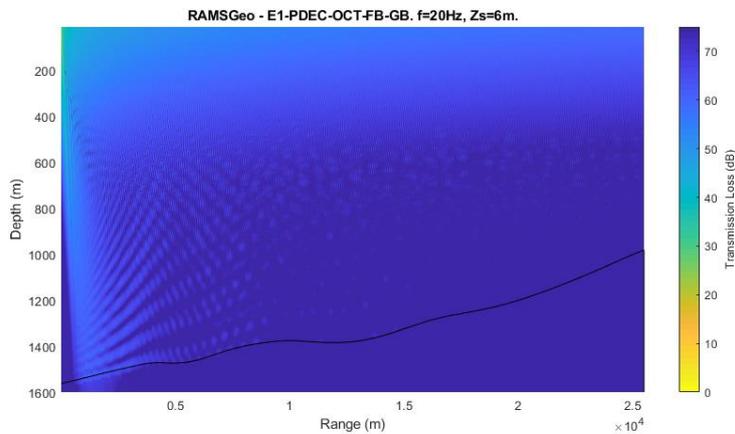
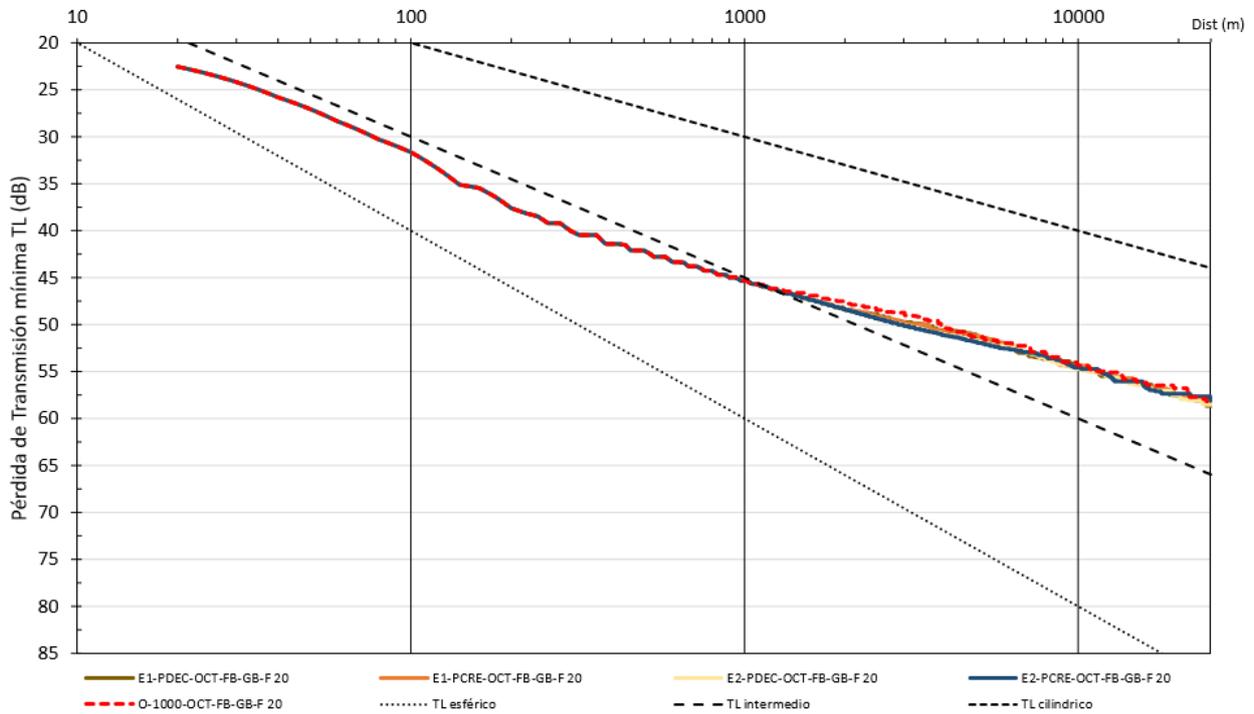
El perfil correspondiente al punto de emisión E2 con profundidad creciente (hacia el océano) es más conservativo para la frecuencia de 160 Hz, pero solamente a partir de unos 6 km de la fuente, donde la acumulación de SEL será significativamente menor que para distancias menores. Para la frecuencia de 320 Hz dicho perfil es ligeramente más conservativo que el de profundidad constante, recién a unos 10 km de la fuente.

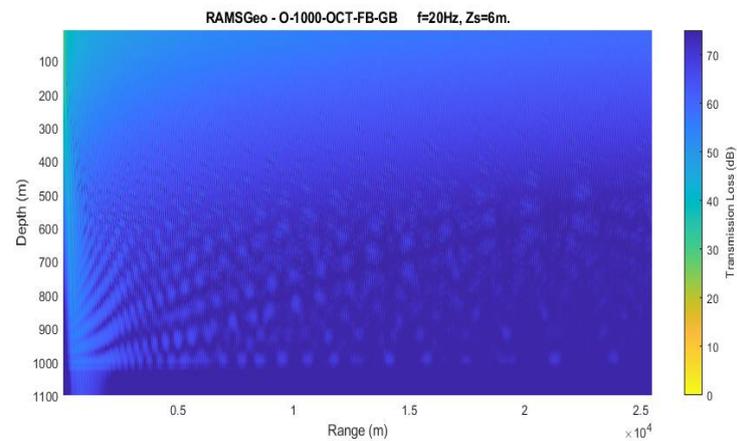
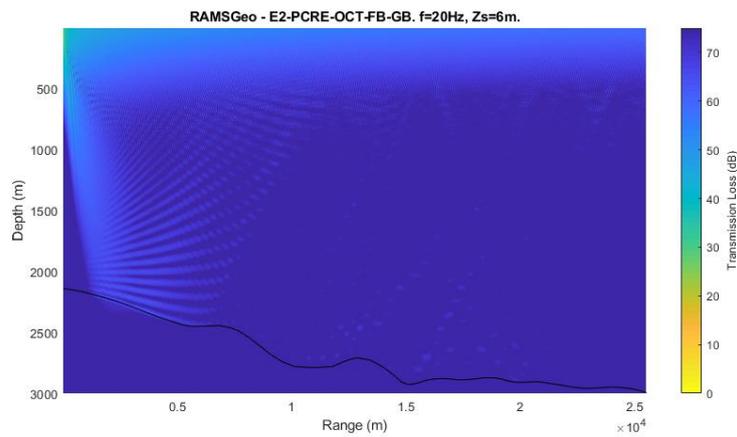
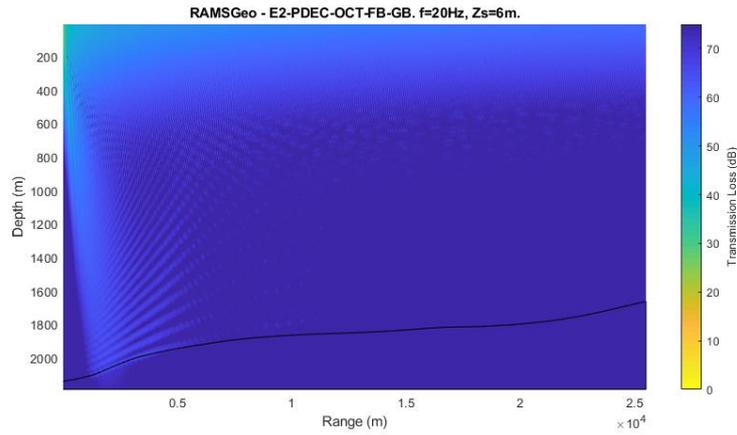
Se considera razonable adoptar la condición O-1000 (profundidad 1.000 m) como la globalmente más conservativa a los efectos de la determinación del SPL y SELcum.



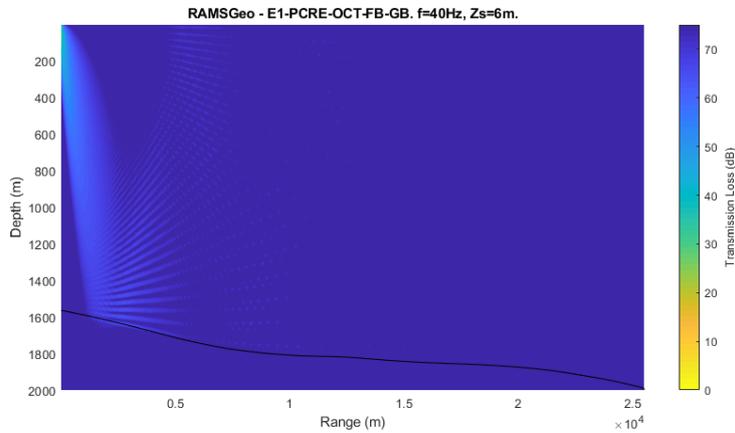
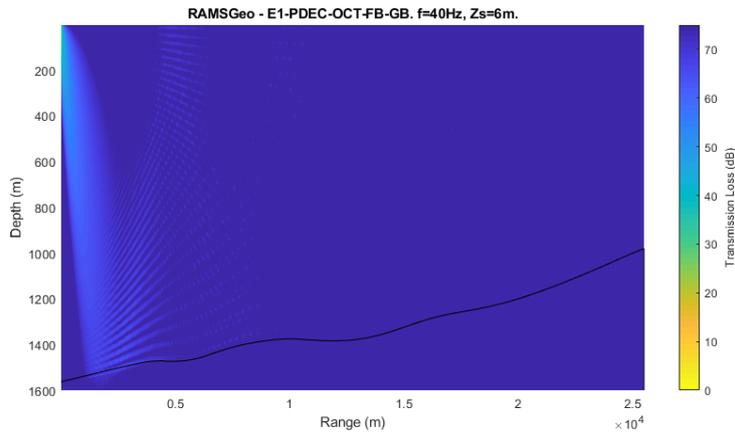
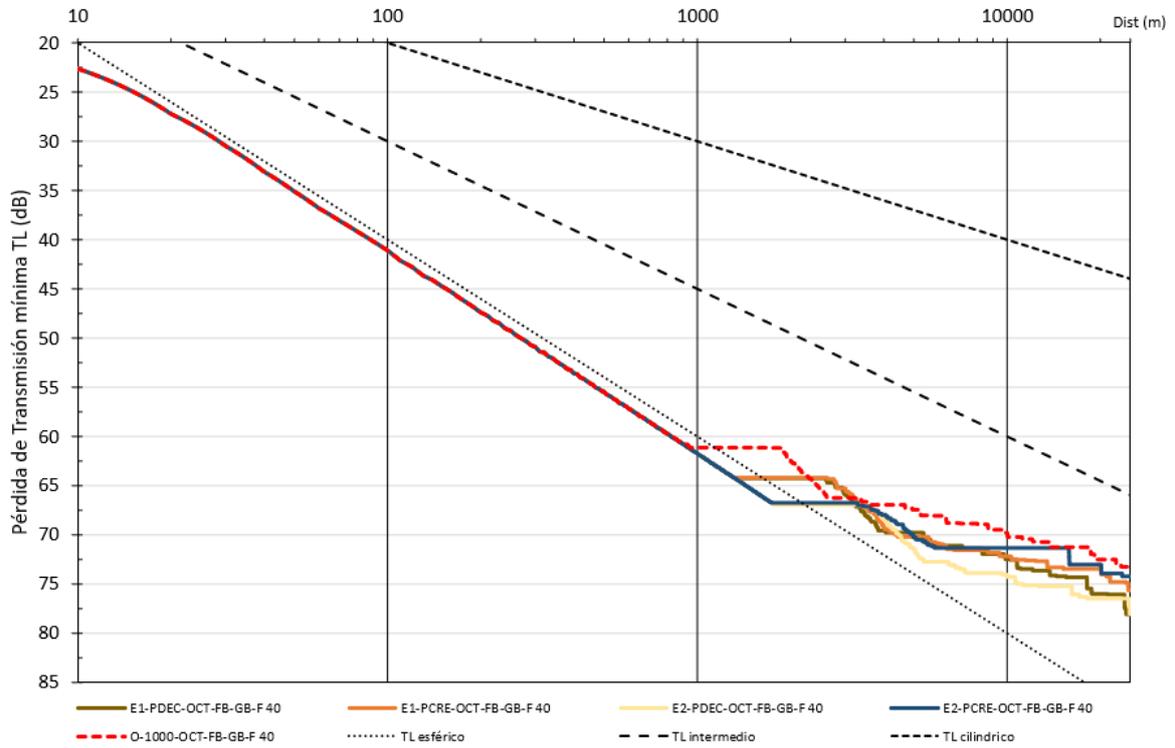
FB-GB: Fango- Grava

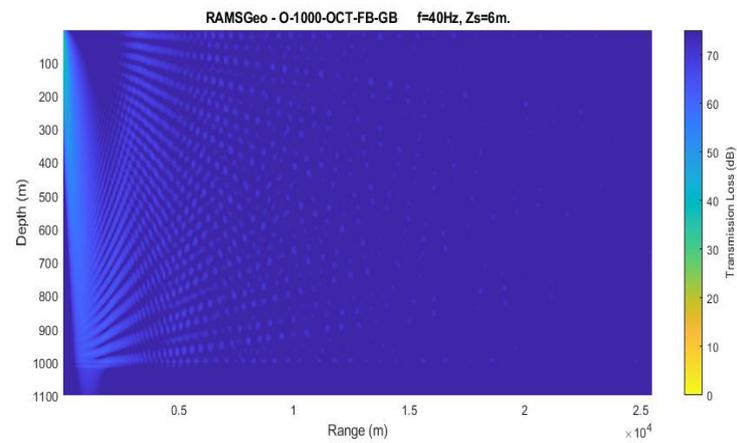
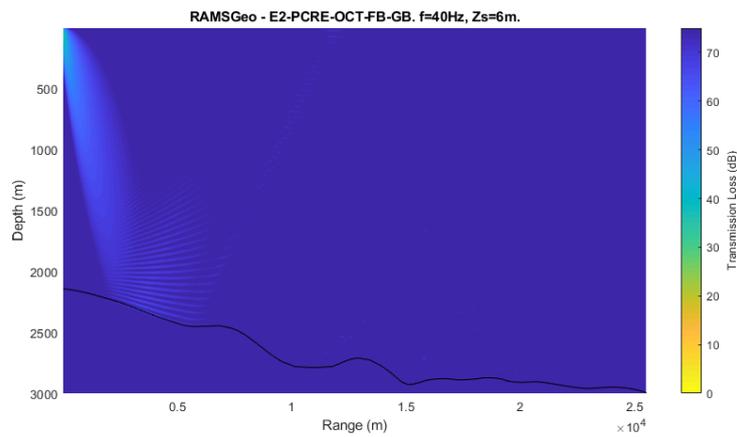
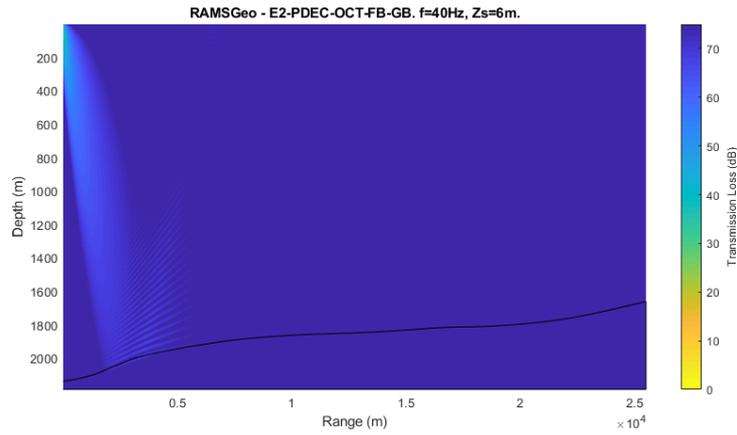
Frecuencia 20 Hz.



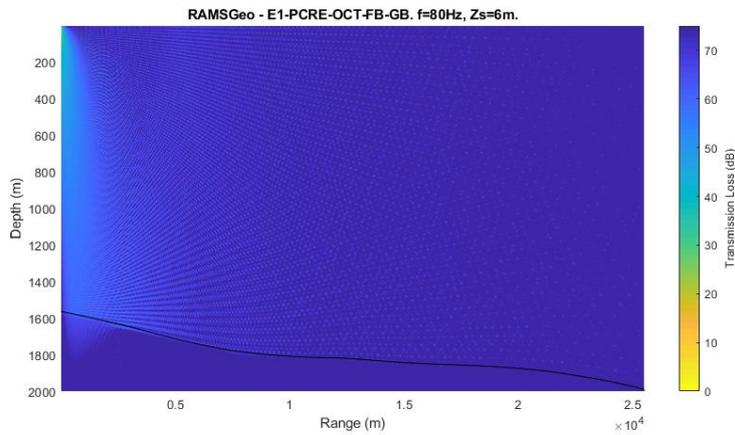
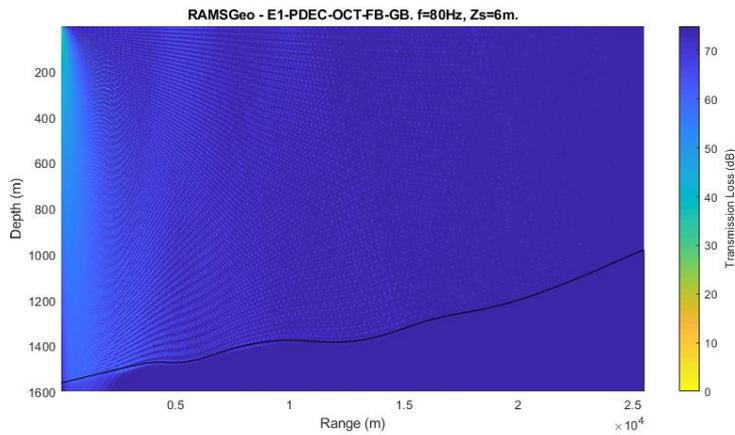
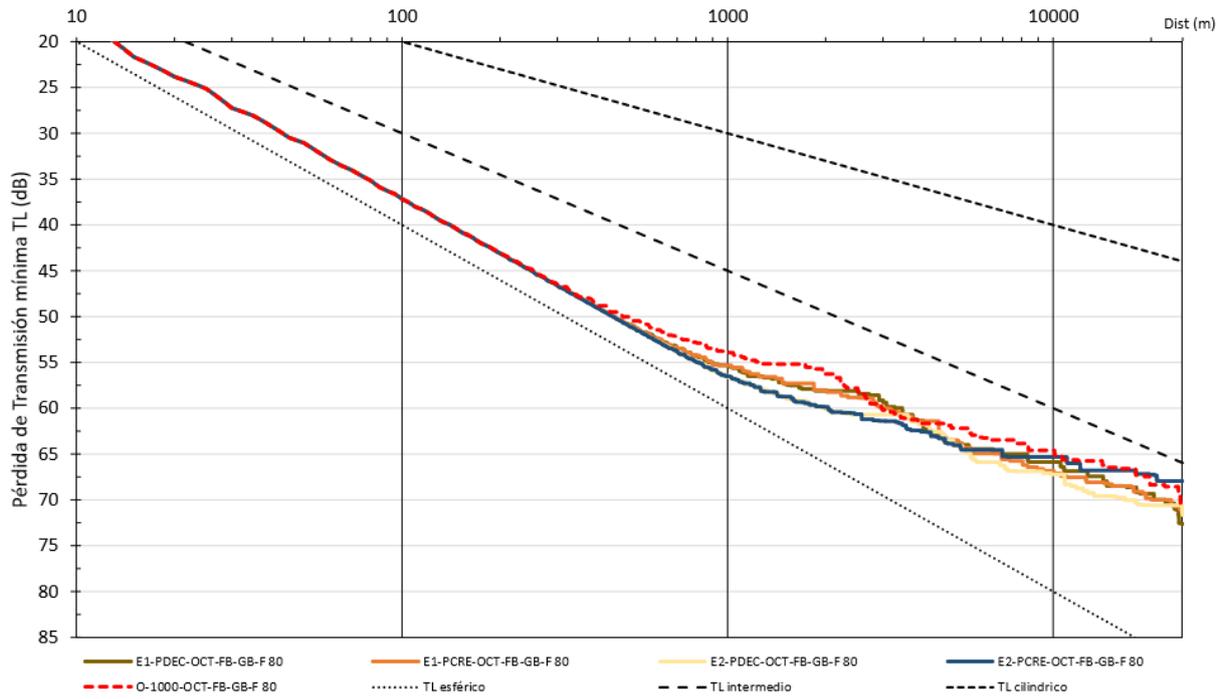



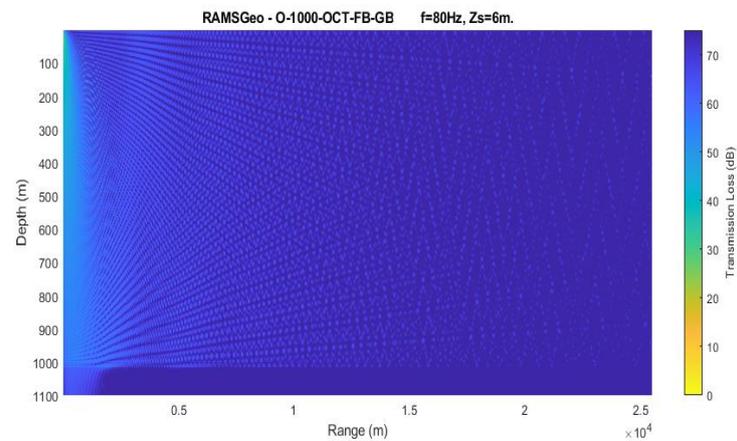
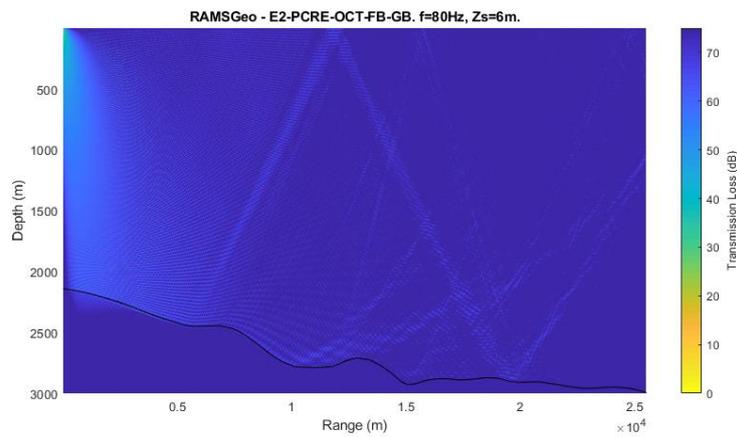
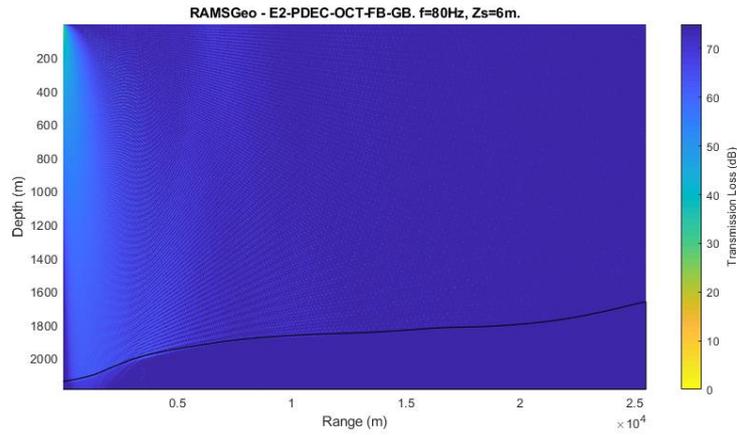
Frecuencia 40 Hz.



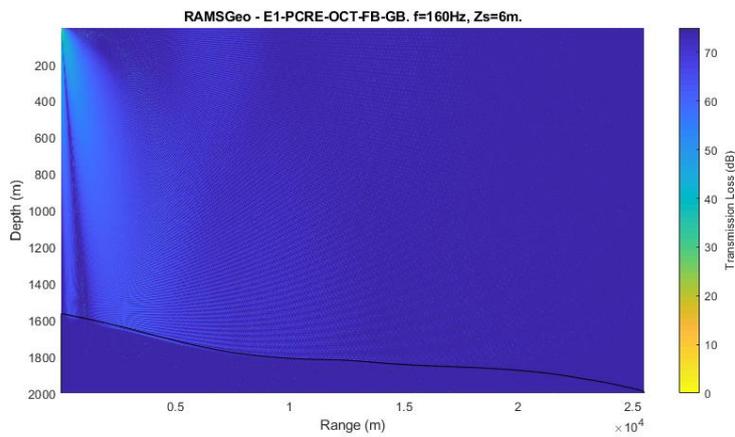
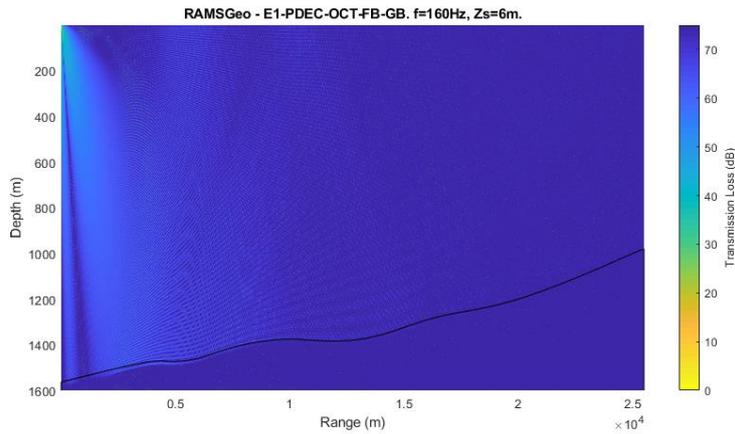
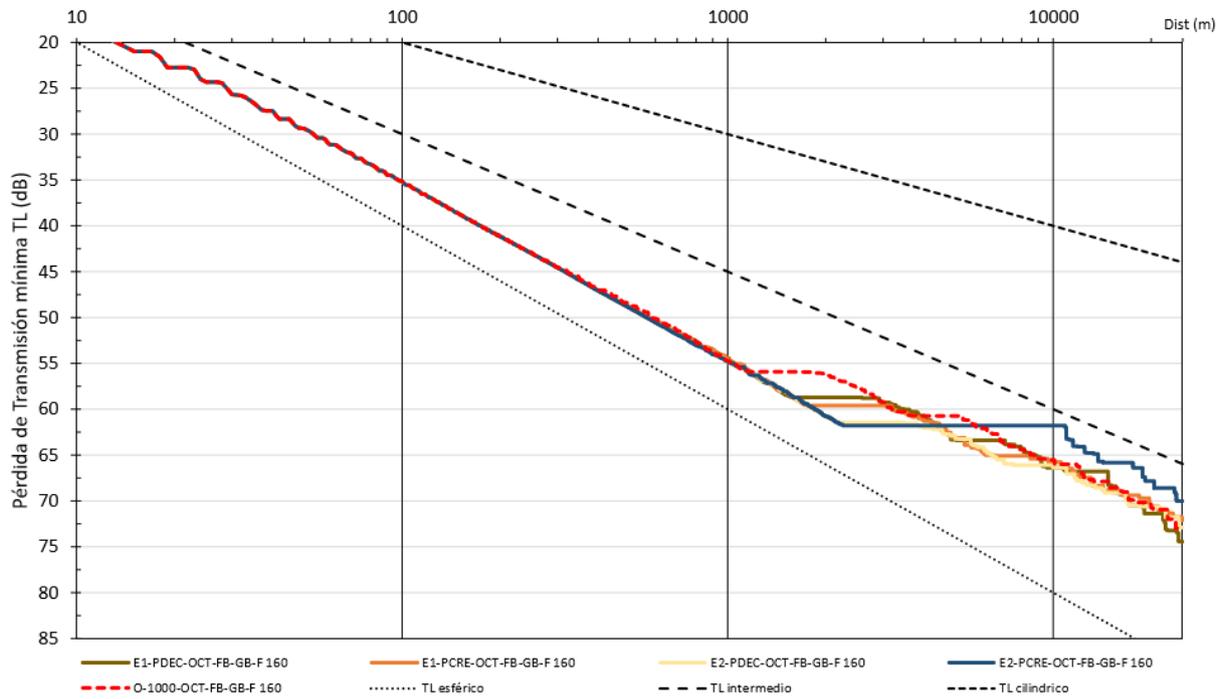


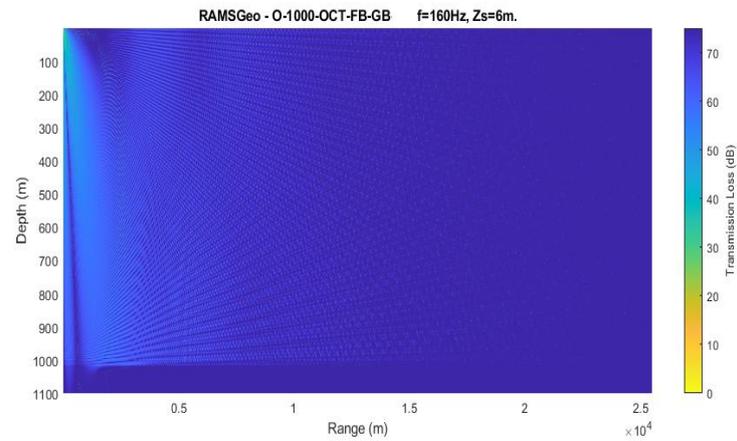
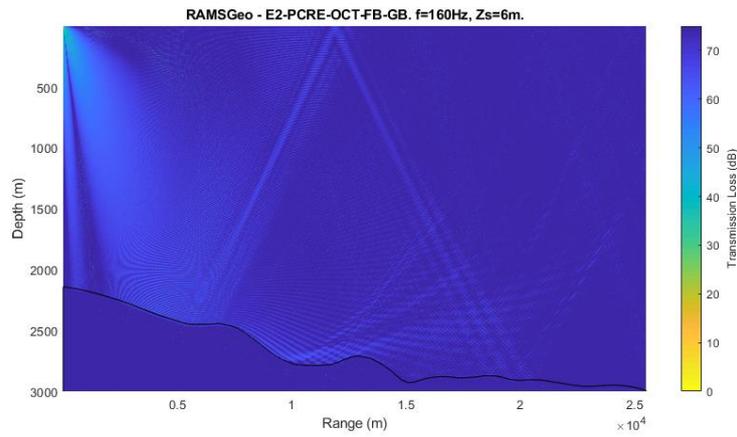
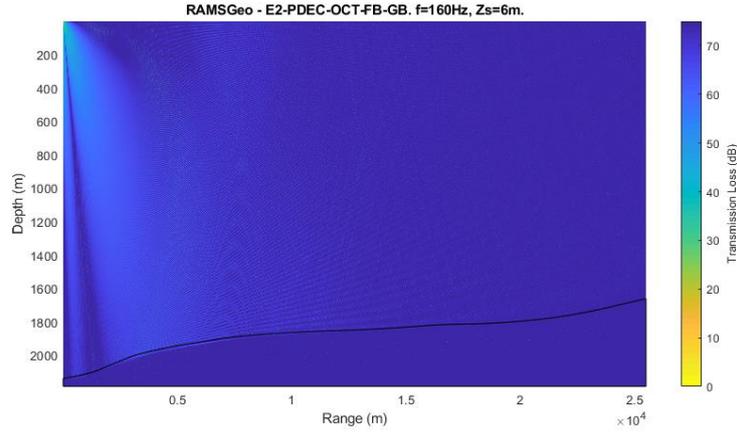
Frecuencia 80 Hz.



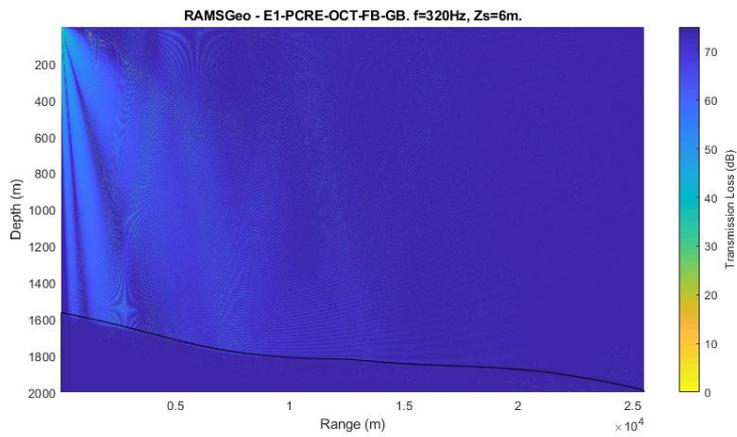
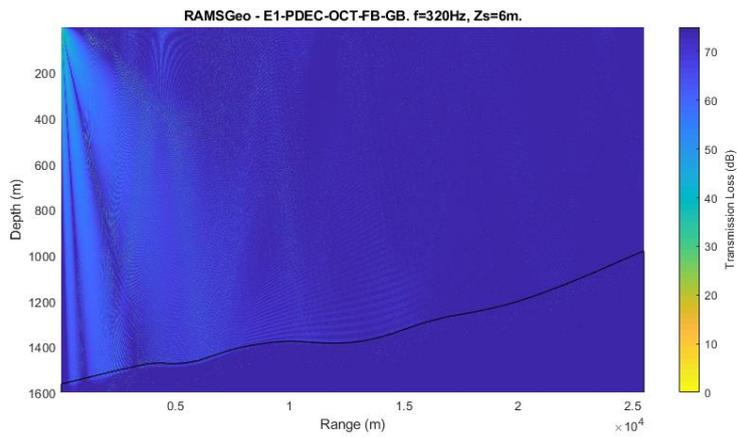
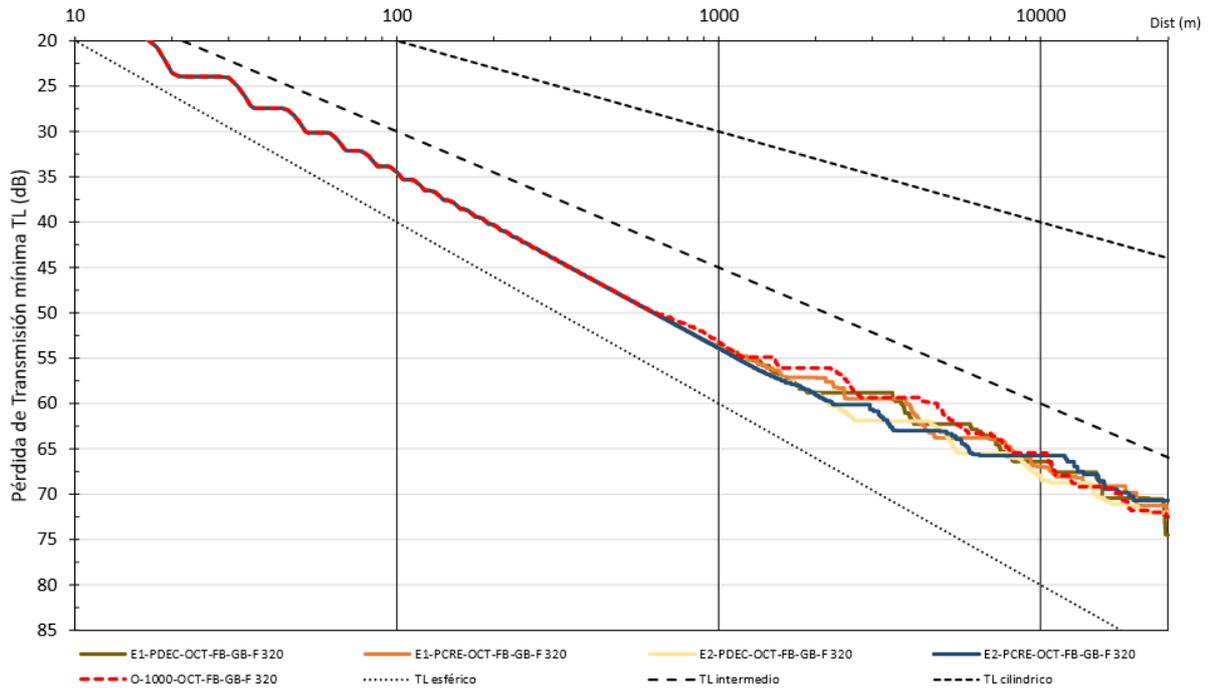



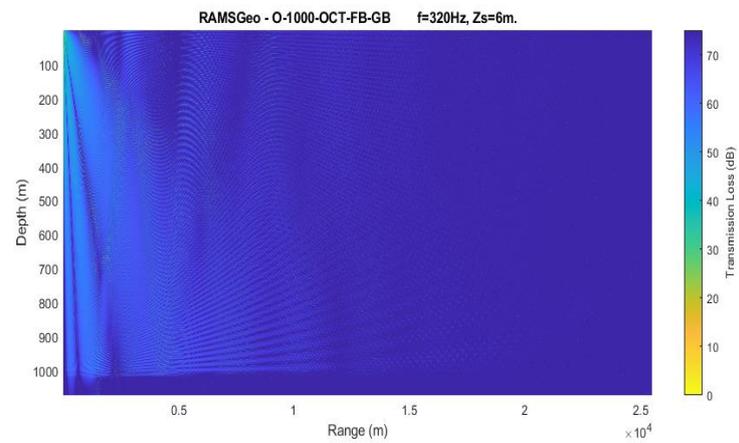
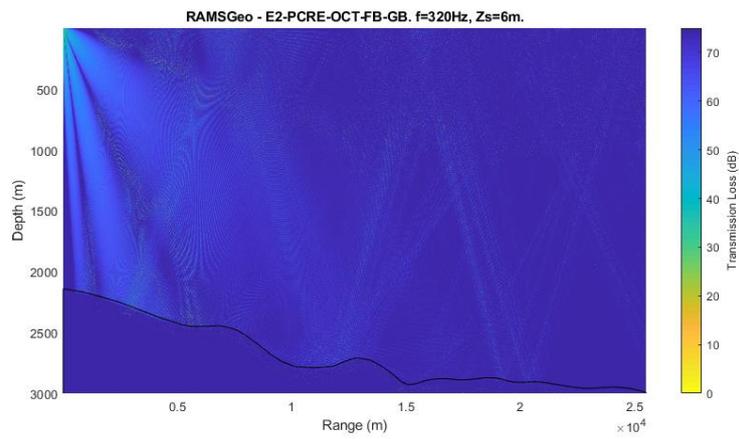
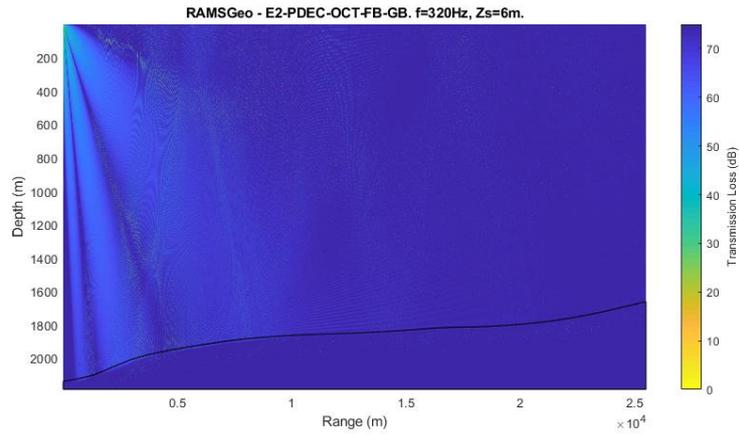
Frecuencia 160 Hz.



Frecuencia 320 Hz.



4 **SENSIBILIDAD A LOS PARÁMETROS DEL SUELO**

Finalmente, se realizó un análisis de sensibilidad respecto de los parámetros de suelo para lo cual se consideraron las siguientes variaciones de los parámetros del suelo, comparadas con los parámetros base FB-GB (Fangos sobre Gravas), empleando la condición más conservativa identificada previamente: Punto O-1000 en Octubre.

Identificación	F1	F2	F3	G1	G2	G3
Parámetro	Fangos superiores con			Gravas por debajo con		
	menor espesor Cs Hamilton	limos Cs Hamilton	limos Cs Silt (Jensen)	mayor espesor	menor espesor	mayor velocidad compresional y densidad
Espesor capa z (m)	10	15	15	42	15	30
C_p (m/s)	1.500	1.575	1.575	1.800	1.800	1.850
ρ (kg/m ³)	1.500	1.700	1.700	2.000	2.000	2.050
C_s (m/s)	163	186	248	552	406	499
C_s adoptado (m/s)	163	186	250	550	400	500
A_p (dB/ λ_p)	0,2	1,0	1,0	0,6	0,6	0,6
A_s (dB/ λ_s)	1,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5

Las consideraciones para la adopción de los parámetros presentados fueron las siguientes:

- La condición F1 únicamente reduce el espesor del suelo y por consiguiente el valor de la velocidad de corte C_s , a un mínimo razonable de 10 metros en función de la información disponible.
- La condición F2 tiene en cuenta que los fangos podrían tener características más limosas, por lo que se emplearon los parámetros de Silt de la tabla de Jensen, incluyendo los parámetros de atenuación, pero se mantuvo la ecuación de Hamilton para C_s .
- La condición F3 considera lo mismo que F2, pero se incrementa C_s empleando la ecuación propuesta por Jensen.
- La condición G1 implica un aumento del valor de C_s para las gravas obtenido mediante un incremento del espesor de la capa, acercándolo al correspondiente a las morenas, que son materiales más densos y compactos.
- La condición G2 reduce el espesor de gravas y por consiguiente el valor de C_s .
- La condición G3 implica un incremento en la densidad y la velocidad compresional que se asocia a este incremento.

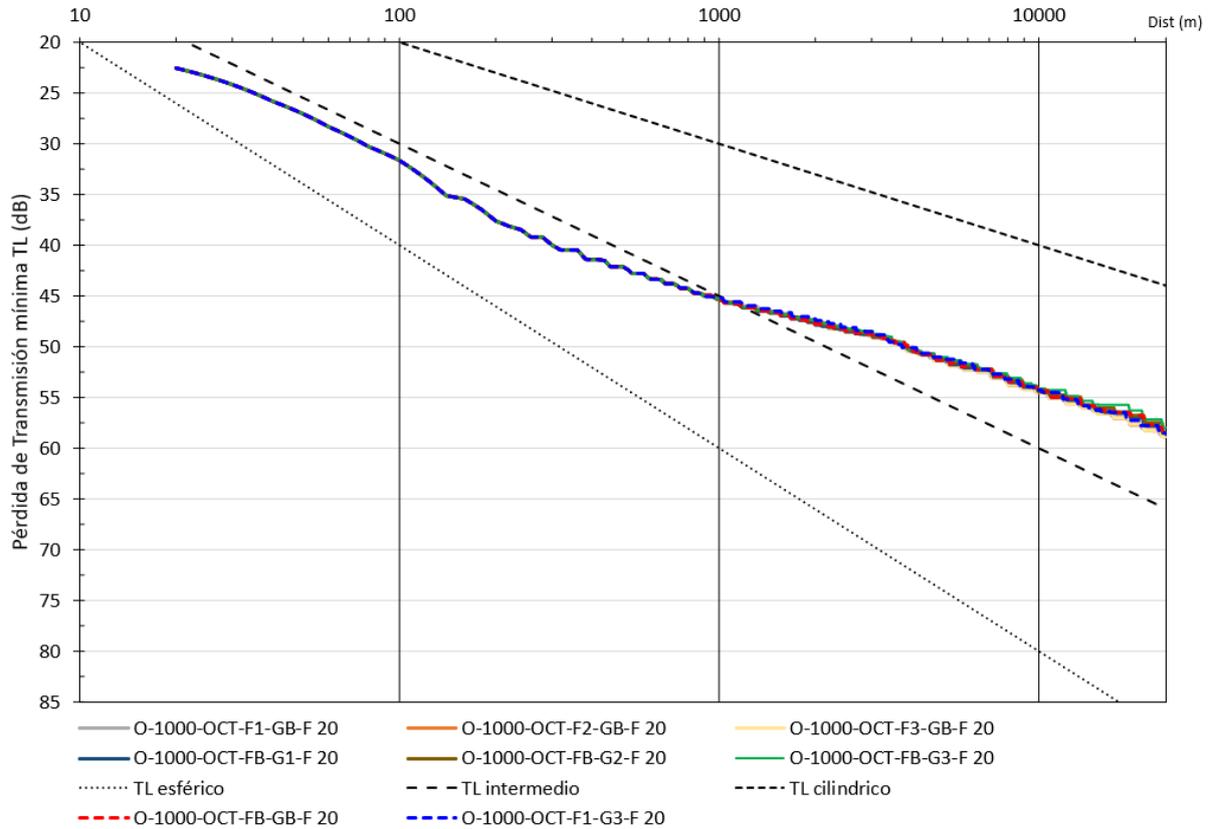
Cada una de estas variantes de parámetros de un suelo se combinó en primer lugar con la condición base del otro, resultando 6 alternativas, que fueron comparadas entre sí: F1-GB, F2-GB, F3-GB, FB-G1, FB-G2, FB-G3.

Como resultado de este análisis, se concluyó que los parámetros correspondientes a F1 (menor espesor de fangos) y G3 (mayor velocidad compresional y densidad de gravas), son los más conservativos, por lo que se realizó una última simulación combinando estas dos (F1-G3), la cual resultó la más conservativa de todas y fue seleccionada para las simulaciones sistemáticas por tercios de octavas desde 1 Hz a 1 kHz, cuyos resultados se presentan en el Capítulo 6.

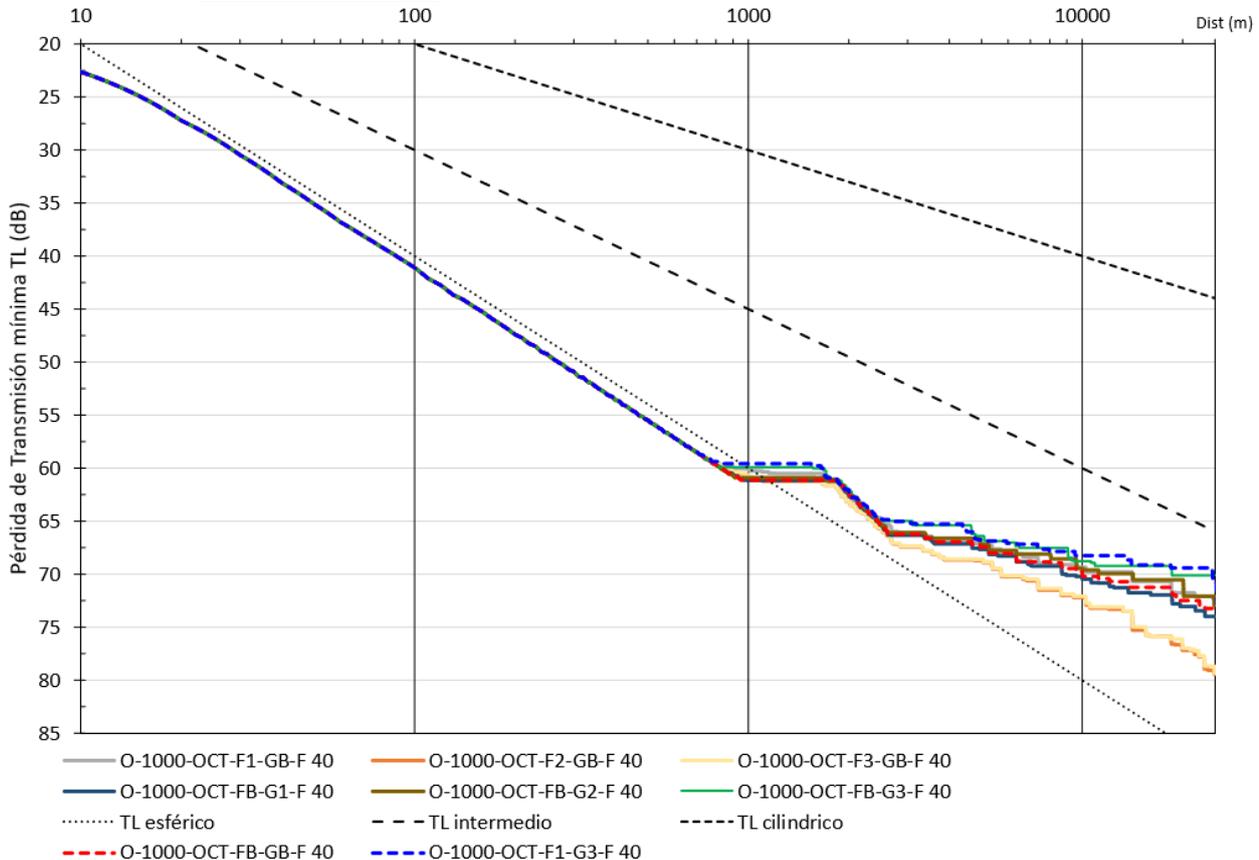


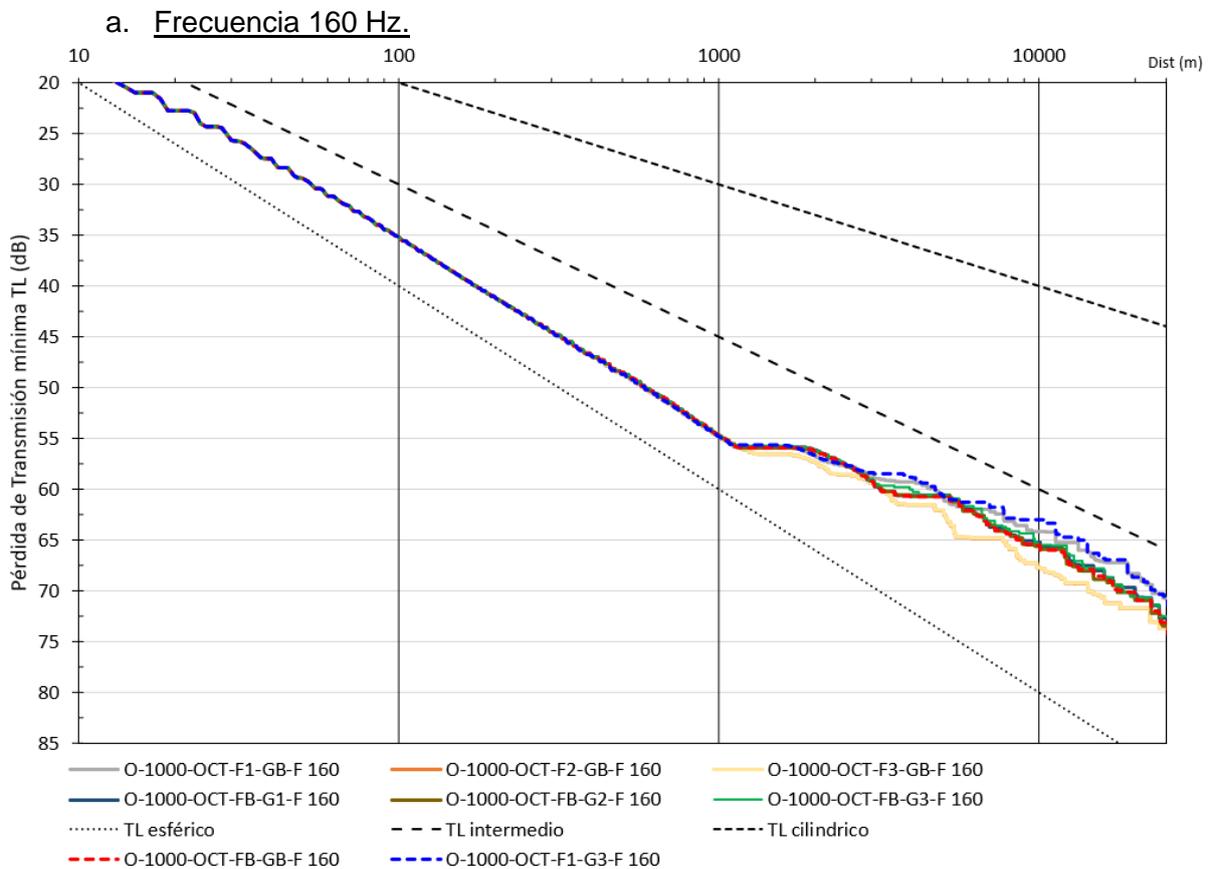
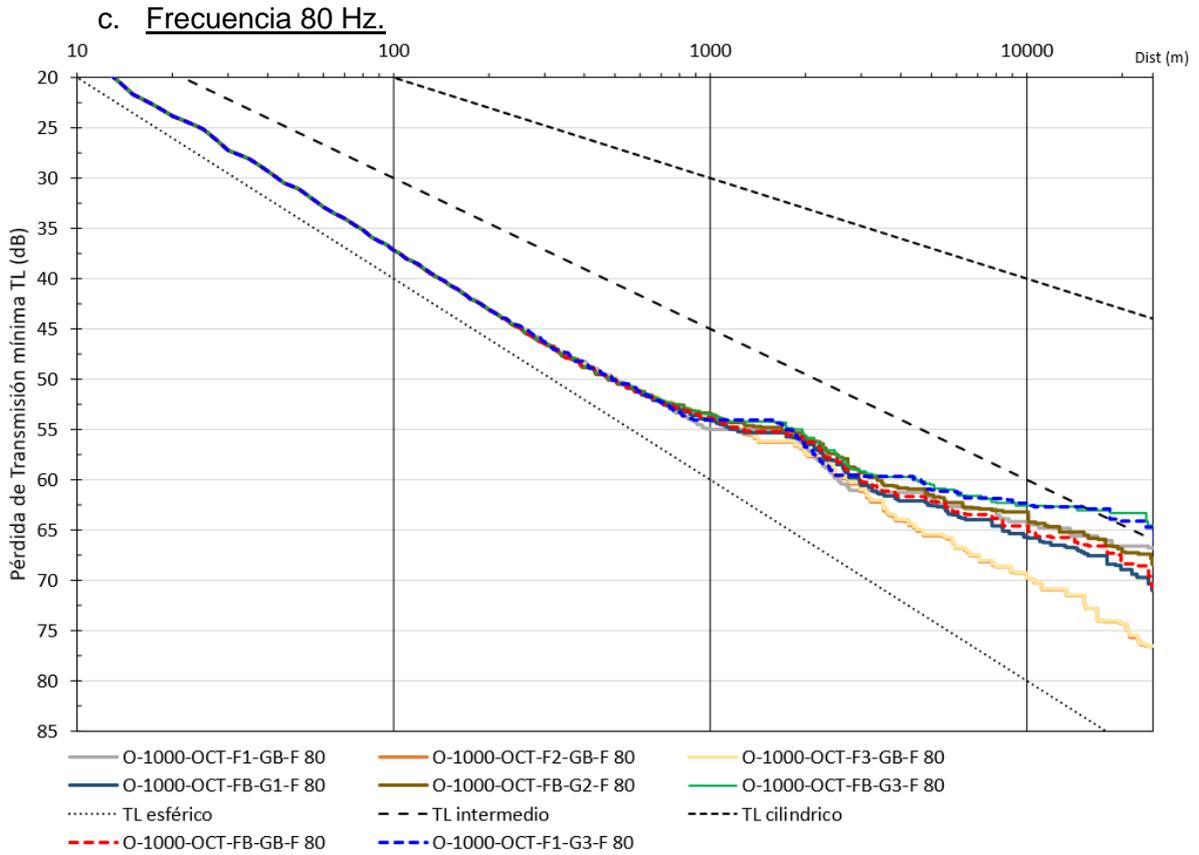
Punto O. Profundidad 1000 m.

a. Frecuencia 20 Hz.

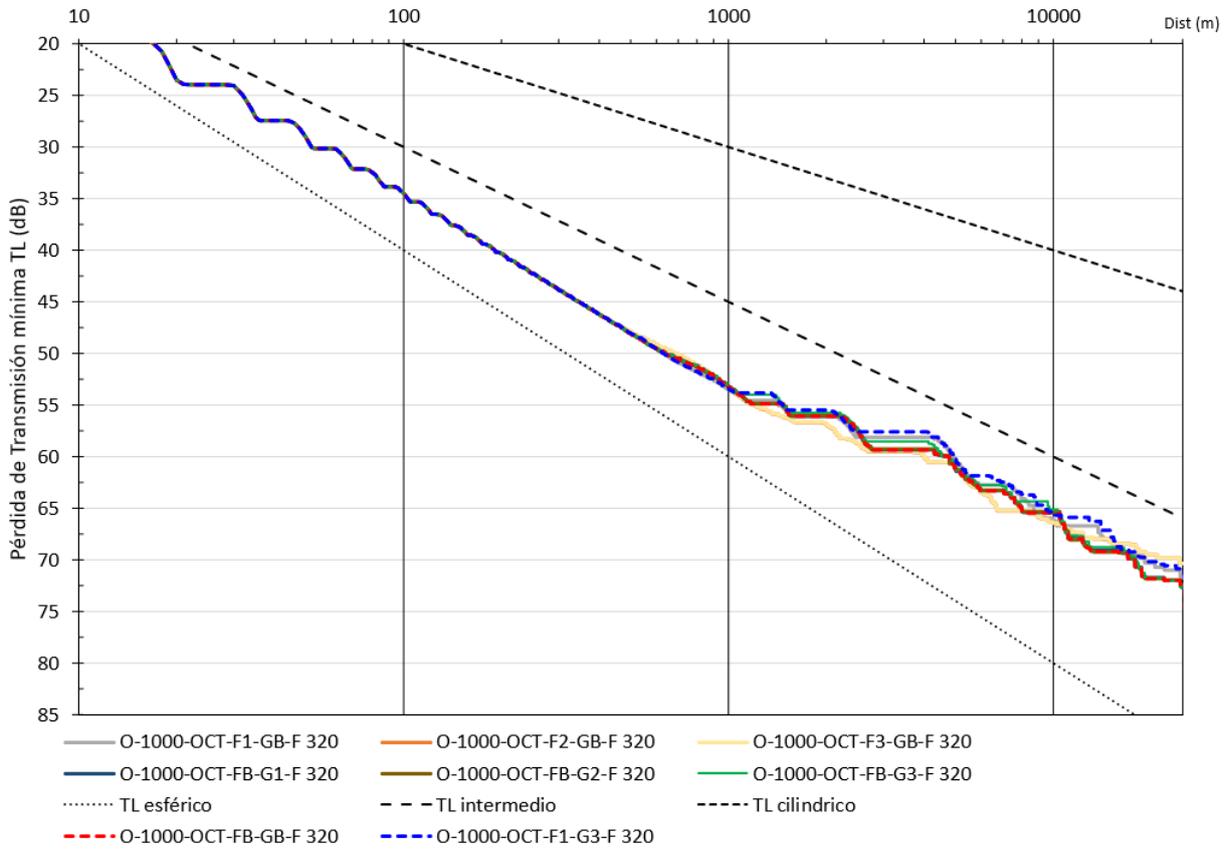


b. Frecuencia 40 Hz.




a. Frecuencia 320 Hz.




6 CONCLUSIONES

Se observó en los resultados, que para todos los puntos de análisis, y todas las frecuencias que el perfil oceanográfico de Octubre resulta más conservativo. Las diferencias se producen en distancias en general superiores a unos 4 a 10 km según el punto y la frecuencia, dado que para distancias menores a 1 a 3 km los resultados son prácticamente idénticos

Este último hecho muestra que las diferencias en los resultados de TL se manifiestan recién en distancias del orden o superiores a la profundidad de agua, dependiendo entonces mucho más del tipo de suelo que de los perfiles oceanográficos.

La sensibilidad al punto de ubicación y profundidad, mostró que para todas las frecuencias la condición más conservativa resulta el punto O con profundidad 1000 m, y perfil oceanográfico de Octubre (O-1000-OCT), salvo para la frecuencia 320 Hz a mas de 10 km, donde se vuelve del mismo orden que para los puntos N y SO.

En la evaluación de sensibilidad de la variabilidad de la batimetría, resultó el perfil correspondiente al punto de emisión E2 con profundidad creciente (hacia el océano) ser el más conservativo para la frecuencia de 160 Hz, pero solamente a partir de unos 6 km de la fuente, donde la acumulación de SEL será significativamente menor que para distancias menores. Para la frecuencia de 320 Hz dicho perfil es ligeramente más conservativo que el de profundidad constante, recién a unos 10 km de la fuente.

Por todo lo expuesto se considera razonable adoptar la condición O-1000 (profundidad 1.000 m) como la globalmente más conservativa a los efectos de la determinación del SPL y SELcum.

El análisis de parámetros de suelo concluyó que los parámetros correspondientes a F1 (menor espesor de fangos) y G3 (mayor velocidad compresional y densidad de gravas), son los más conservativos, por lo que se realizó una última simulación combinando estas dos (F1-G3), la cual resultó la más conservativa de todas y fue seleccionada para las simulaciones sistemáticas por tercios de octavas desde 1 Hz a 1 kHz , cuyos resultados se presentan en el Capítulo 6.

