

# PANTALLAS ACÚSTICAS SUBMARINAS DE MATERIAL COMPUESTO MULTILAMINAR CON MATRIZ METÁLICA

REFERENCIA PACS: 43.30.Ky

V.Gallego\*, M.Laguna\* y A.J. Vázquez\*\*

\* ETS de Ingenieros de Armas Navales

Arturo Soria 287

28033 Madrid

\*\*Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM-CSIC)

Gregorio del Amo 8

28040 Madrid

## SUMMARY

Here we examine the possibilities of implementing some robust, light and low cost underwater acoustical barriers made with a new multilaminar composite material. A basic condition for this application is the very high resistance to corrosion of the material into the marine ambient. Using wideband signals, similar to underwater explosions, the FFT spectrum of attenuation for a simple barrier=s model has been investigated in a water=s tank.

## INTRODUCCIÓN

En este trabajo se exploran las posibilidades de implementación de un sencillo sistema de comunicación submarino. El medio de transmisión a emplear serán ondas acústicas propagándose por debajo de la superficie del mar en zonas de aguas poco profundas, especialmente en bahías y puertos. Tanto el emisor acústico (proyector) como el receptor acústico (hidrófono) estarían situados muy cerca del fondo marino pues nos interesan aplicaciones de transmisión de datos o de detección de objetos en ese área.

Esta circunstancia limita desde el principio la operatividad del sistema a zonas de fondos horizontales y poco escarpados (Afondos suaves@). Las ventajas del esquema propuesto en esta comunicación son la simplicidad, fiabilidad y bajo costo del equipo.

## REQUISITOS DEL CANAL ACÚSTICO

Se deben tener presentes unas condiciones básicas cuando se intenta crear un sistema de comunicación o de transmisión de datos por medio de ondas acústicas en aguas superficiales:

### Directividad del proyector

La fuente de sonido debe poseer un alto índice de directividad, o en otras palabras, proyectar un haz acústico lo más estrecho o concentrado posible. Si empleásemos una fuente multidireccional el sonido sufriría una fuerte dispersión en tiempo y en frecuencia, la señal se distorsionaría en exceso al propagarse según los distintos modos que permite la solución al clásico problema de una guía de ondas limitada por sus fronteras espaciales.

Si observamos la Figura nº 1 veremos las posibilidades que permite el uso de una fuente muy direccional. Se tiene una capa de cincuenta metros de aguas aproximadamente isoterma y situamos un proyector dos metros por encima del fondo. Con un semiángulo máximo de salida de 0.5 grados apreciamos que a una distancia de 250 metros el haz tiene un diámetro de apenas cinco metros y su extremo inferior está empezando a tocar el fondo.

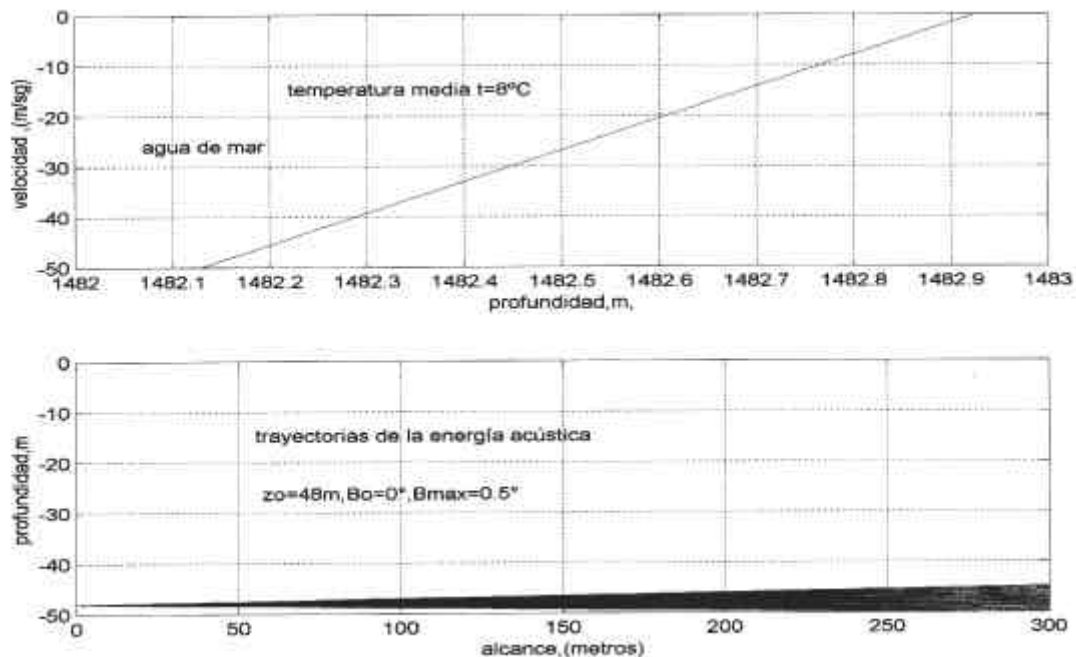


Figura nº 1

El fundamento para una buena directividad de salida, y esto suele ser válido para cualquier tipo de proyector submarino, es que la relación de dimensiones entre la apertura efectiva de emisión y la longitud de onda de la señal radiada sea lo más grande posible. Como nuestra idea básica es la simplicidad del equipo a emplear, en lugar de pensar en un array emisor de grandes dimensiones, se optaría por un proyector direccional sencillo que emitiese sonido de muy alta frecuencia. Desde el punto de vista de la acústica submarina o de los sistemas de sonar la banda elegida, con límites desde  $f = 20 \text{ KHz}$  hasta  $f = 80 \text{ KHz}$ , se puede calificar como banda de muy alta frecuencia.

#### Pérdidas por absorción

En un medio fluido real, esto es, viscoso, las ondas mecánicas sufren una amortiguación o pérdida de intensidad debido al efecto de la viscosidad y, en el caso del agua de mar, atenuación suplementaria debida a procesos de relajación iónica de algunas sales y ácidos disueltos en ella. Estas pérdidas son proporcionales en una primera aproximación al cuadrado de la frecuencia de la señal acústica. En otro tipo de sistemas acústicos submarinos que trabajan con frecuencias más bajas y tienen alcances superiores predominan las pérdidas de intensidad por la difusión espacial de la onda (esférica, cilíndrica, etc) sobre aquellas provocadas por la viscosidad o por la relajación. Pero en nuestro caso, con alcances muy limitados y con una difusión geométrica mínima, son estas últimas las que limitan el funcionamiento del sistema. Se pueden esperar pérdidas muy elevadas en distancias pequeñas entre (3 dB/Km) para  $f = 20 \text{ KHz}$  y (30 dB/Km) para  $f = 80 \text{ KHz}$ .

#### Ruido de la superficie

El ruido generado por la superficie en aguas poco profundas puede ser muy alto si las condiciones meteorológicas son adversas. En concreto podemos pensar en las perturbaciones generadas por el viento sobre la superficie del mar o en el fenómeno de la lluvia más o menos intensa. Los estudios y medidas experimentales realizados demuestran la existencia de una componente de ruido con incidencia cercana a la vertical que es bastante importante en la zona del espectro en la que deseamos utilizar el sistema.

#### Características del fondo

Volviendo al análisis de la Figura nº 1 se advierte fácilmente que para distancias superiores a las representadas el sonido incidirá sobre la superficie del fondo con ángulos rasantes muy pequeños. El comportamiento posterior de la onda dependerá de las características específicas de dicho fondo. Para analizar el proceso se puede utilizar un modelo que trata el subsuelo marino como un fluido homogéneo y viscoso caracterizado acústicamente por una densidad y por una velocidad del sonido determinadas (por su impedancia acústica, en resumen).

Si el fondo es de tipo rocoso, con alta impedancia acústica, las señales de alta frecuencia y bajos ángulos de incidencia rasante son reflejadas con muy pocas pérdidas pero con un cambio de fase cercano a los 180 grados. Según esto la parte del haz acústico reflejado podría interferir de modo destructivo con el haz directo en ciertas zonas del trayecto; esto sería especialmente perjudicial en el área próxima al hidrófono detector.

En el caso de un fondo menos reverberante se perdería bastante más señal en la reflexión pero el problema de la interferencia podría ser despreciable y además, para distancias no muy elevadas siempre quedaría suficiente potencia contenida en el haz directo que llega hasta el hidrófono. Esto hace que nos inclinemos por un tipo de fondo relativamente Ablando@, acústicamente hablando, como más adecuado para esta aplicación concreta.

En resumen, un canal acústico submarino fiable no tendrá un alcance muy elevado si se desea una buena directividad. Para poder competir con otros diseños para transmisión de datos (utilización de cable submarino) o para conseguir aplicaciones genuinas en el área de la detección acústica de posibles discontinuidades del canal (blancos) se debería poder incrementar la distancia de operación o alcance. Una posible alternativa es reducir el nivel de ruido de alta frecuencia en el entorno del hidrófono detector. Con esto el sistema podría trabajar con menores niveles de señal, o sea, tener un mayor alcance.

## **UTILIZACIÓN DE PANTALLAS ACÚSTICAS SUBMARINAS**

Así surgió la idea base con la que se ha trabajado en el tanque de agua del Laboratorio de Acústica Submarina de la ETSIAN: la interposición entre la superficie del mar y el hidrófono receptor de una pantalla o barrera horizontal fijada al fondo por encima del transductor de modo que atenuase lo más posible el ruido de la superficie que llega en direcciones próximas a la vertical. Para ello se han empleado unas placas o láminas fabricadas por el CENIM con un nuevo material cuyas características principales se reseñan a continuación.

Está constituido por varias láminas de acero unidas entre sí por cinc fundido (o por una aleación de plomo/estaño en un segundo diseño). Estos materiales se fabrican introduciendo simultáneamente en la masa de metal fundido varias láminas de acero adecuadamente preparadas para que se forme el recubrimiento. Extraídas conjuntamente y comprimidas antes de que la capa externa de metal fundido solidifique, se consigue que al hacerlo se obtenga el material compuesto multilaminar.

La existencia del cinc o del plomo/estaño intermedio entre las láminas le confiere una elevada resistencia a la corrosión hasta el punto de no producirse la separación de las láminas después de su introducción en ácido clorhídrico aunque, evidentemente, el cinc del exterior de las láminas se ha disuelto completamente. Junto a esta ventaja, el material tiene un procesado bastante sencillo y susceptible de hacerse en lámina continua lo que implica la posibilidad de un notable abaratamiento de costes de proceso.

Hay que destacar la gran resistencia a la corrosión que presumiblemente presenta este material ya que al efecto de la galvanización sobre la monocapa, hay que sumarle la contribución de la matriz no férrea (Zn), que garantiza el mantenimiento de esta resistencia durante toda la vida en servicio del producto.

## **MÉTODO EXPERIMENTAL**

Véase la figura nº 2 para la descripción que sigue:

Después de algunos ensayos iniciales se optó por la utilización de una barrera doble compuesta por dos placas unidas de modo que formasen un filtro de tipo interferencial. La separación entre las dos placas o láminas se podía variar continuamente entre  $d = 1$  cm y  $d = 8$  cm. A unos 30 cm de la primera pantalla y alineado con el centro geométrico de la misma se dispuso un proyector acústico multidireccional. El bloque electrónico de emisión se programó para emitir ráfagas de disparos o señales pulsadas de corta duración que se enviaban a dicho proyector.

De este modo nos asegurábamos condiciones de campo libre (evitar ecos de reverberación de paredes y fondo del tanque así como de la superficie) por un lado y por otra parte disponíamos de señales incidentes de banda ancha que simulasen dentro de lo posible las características espectrales del ruido de superficie.

Justo al otro lado de la barrera, a unos 3 cm del centro de la segunda placa, estaba situado un hidrófono multidireccional de características similares al proyector. Las señales electrónicas enviadas por este transductor al sistema de recepción eran amplificadas, grabadas y caracterizadas espectralmente por medio de un módulo de análisis FFT incorporado a uno de los osciloscopios de recepción.

## RESULTADOS

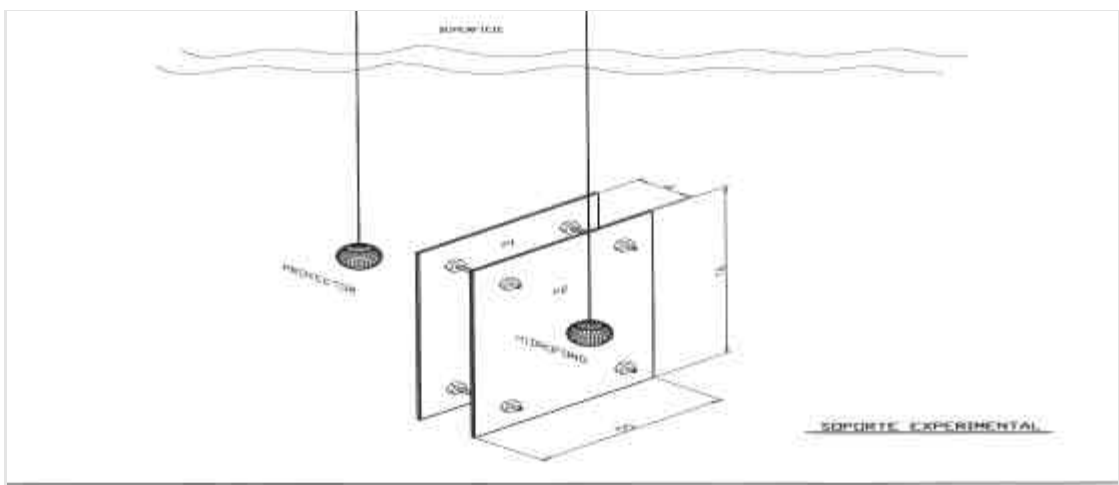
En la Figura nº 3 se muestran por grupos de tres gráficas los resultados obtenidos con el analizador de espectros FFT para cada uno de los casos estudiados: ( $d = 1$  cm,  $d = 2$  cm,  $d = 4$  cm,  $d = 6$  cm y  $d = 8$  cm). En la primera gráfica de cada grupo se representan a la vez el espectro de la señal de campo (recibida sin interposición de ningún tipo de barrera) y el espectro de la señal captada por el hidrófono receptor, la cual estará formada por componentes transmitidas y por partes difractadas.

En la segunda gráfica de cada grupo se presenta la diferencia entre los dos espectros anteriores. Éste será el espectro de atenuación de la barrera. La banda espectral representada es la banda de trabajo de los equipos electrónicos del laboratorio: desde el nivel de continua (dc) hasta  $f = 200$  KHz. En una tercera gráfica aparece este mismo espectro pero expandido entre  $f = 20$  KHz y  $f = 80$  KHz, banda espectral que consideramos de interés en este proyecto.

## CONCLUSIONES

A la vista de los espectros FFT obtenidos con el prototipo, y dentro de la limitada precisión alcanzable con los medios materiales disponibles, podemos aventurar un buen comportamiento de la pantalla en las distancias de separación entre planchas más elevadas. Observamos picos de atenuación superiores a 20 dB para frecuencias inferiores a 30 KHz; esto se produce en los casos

Figura nº 2



$d = 6$  cm y  $d = 8$  cm. Estos picos no son muy anchos en frecuencia.

Para las separaciones más pequeñas, como  $d = 1$  cm, la atenuación es muy alta y con variaciones menos abruptas para frecuencias bastante más altas ( $f > 50$  KHz).

Parece posible lograr una importante reducción del ruido por encima del receptor en frecuencias no demasiado altas desde el punto de vista de las pérdidas, susceptibles de ser utilizadas como portadoras en distintos tipos de modulación, para señales con anchos de banda moderados. En un sistema de transmisión de datos la velocidad es un factor importante y en este caso estaríamos bastante limitados. Pero pueden existir ciertas aplicaciones en la cantidad de datos a enviar en la unidad de tiempo no tenga que ser necesariamente muy elevada. Pensemos en equipos que controlan a distancia la activación o desactivación de ciertos elementos ( bombas , válvulas y otros dispositivos en el campo de las prospecciones petrolíferas desde plataformas o en el de las investigaciones geofísicas del subsuelo marino ). En estas aplicaciones habría que comparar el sistema con otro que emplease el método más clásico del cable submarino.

Otra aplicación bastante interesante sería la detección acústica de objetos extraños depositados sobre el fondo o en movimiento un poco por encima de éste. Aquí se puede plantear también el problema del ancho de banda de los picos de atenuación aunque unos simples cálculos pueden servirnos como orientación. Un pulso con una duración de 10 milisegundos abarcaría una banda espectral de 200 Hz, aproximadamente , en torno a su frecuencia portadora y se alargaría en el agua una longitud no superior a 15 metros. Con estos datos en mente , vemos que el sistema puede trabajar en modo pulsado ( detección clara del inicio de la señal recibida y de su duración ) para distancias superiores a unos 50 metros. Esto genera bastantes posibilidades de detección de pequeños blancos.

Es evidente que el tamaño de la barrera influirá decisivamente en el apantallamiento, debido a la difracción. Pero si nos centramos en pequeñas barreras y frecuencias de trabajo muy altas sería interesante analizar otro tipo de fenómenos que afectarían a nuestro diseño. Entre la plancha inferior de la barrera y el fondo, supuesto horizontal, queda un espacio intermedio dentro del cual estará el receptor. Puede ocurrir que algo de ruido procedente de la superficie, incidiendo con ángulos algo mayores respecto a la vertical que los considerados hasta el momento penetrase lateralmente en este espacio inferior y diera lugar a la aparición de un filtro interferométrico espúreo o incluso diera lugar a la generación de resonancias totalmente indeseables.

Este problema vendrá fuertemente determinado por las características acústicas del fondo. Otra vez debemos recurrir a las fórmulas para la reflexión de ondas acústicas sobre la superficie de separación de dos medios fluidos viscosos. Otra vez se presenta el fondo A fuerte A como el caso más perjudicial aunque las pérdidas por reflexión para ángulos rasantes altos son superiores a las de ángulos pequeños y es de suponer que un A rayo A de sonido debe sufrir bastantes reflexiones sucesivas entre fondo y placa para poder alcanzar el hidrófono dado el ángulo con el que se introduce bajo la barrera. En estas circunstancias sería mucho más favorable la existencia de un fondo suave que actuase como A colchón A frente a estas incidencias laterales.

Por último, podría aparecer ruido de superficie procedente de puntos más alejados e incidiendo en ángulos intermedios bajo la barrera. Aquí la perturbación vendría ya muy debilitada aunque alcanzase directamente al hidrófono, siendo el resultado equivalente en ausencia de barrera.

Por todo lo anterior es de esperar que una barrera como la descrita y de dimensiones suficientes, situada de forma adecuada sobre un fondo previamente caracterizado en su comportamiento acústico, constituiría un apantallamiento bastante efectivo frente al ruido de alta frecuencia procedente de una superficie del mar sometida a condiciones ambientales muy adversas. Un hidrófono montado sobre el fondo marino quedaría en un ambiente acústico bastante favorable ( ambiente Asilencioso@ ) para la recepción aceptable de información por un haz acústico de muy alta frecuencia.

Consideramos que una aplicación de alto interés sería el control constante o monitorización de la limpieza de fondos marinos en áreas localizadas de aguas costeras o de puertos mediante la detección de objetos de tamaño medio o pequeño con un proyector conectado a una estación terrestre , con un alto índice de directividad y habilitado para efectuar barridos en todas direcciones. Una batería de hidrófonos receptores apantallados y comunicados también a la estación de tierra completaría una A red acústica@ permanente para vigilancia en ciertas zonas de especial interés y con unos bajos costos de operatividad y mantenimiento.

## **BIBLIOGRAFÍA**

-Actas del congreso "Corrosion resistance of a new material matrix multilyer composite"  
Lugar : Lisboa

Fecha : 22-24 Julio de 1998

Entidad Organizadora : Sociedade Portuguesa de Materiais

Carácter : Internacional

- "Estudio preliminar sobre la resistencia al impacto de un material multilaminar"

M.Laguna y A. Vázquez

Revista de Metalurgia , CENIM. Madrid Mayo , 1998 ; ( pag: 305-309 )

- "Principles of Underwater Sound"

Urick , 3d Edition , McGraw-Hill Book Company , 1983

- "Fundamentals of Acoustic Field Theory and Space-Time Signal Processing"

Ziomek , CRC Press , 1995

- "Underwater Acoustic System Analysis"

Burdic , Prentice Hall , 1984

- "Manual de Laboratorio de Acústica Submarina"

V.Gallego , ETS de Ingenieros de Armas Navales , 1998

### **AGRADECIMIENTOS**

Al CICYT por la financiación del proyecto: "Desarrollo de un material compuesto multilaminar de matriz metálica"

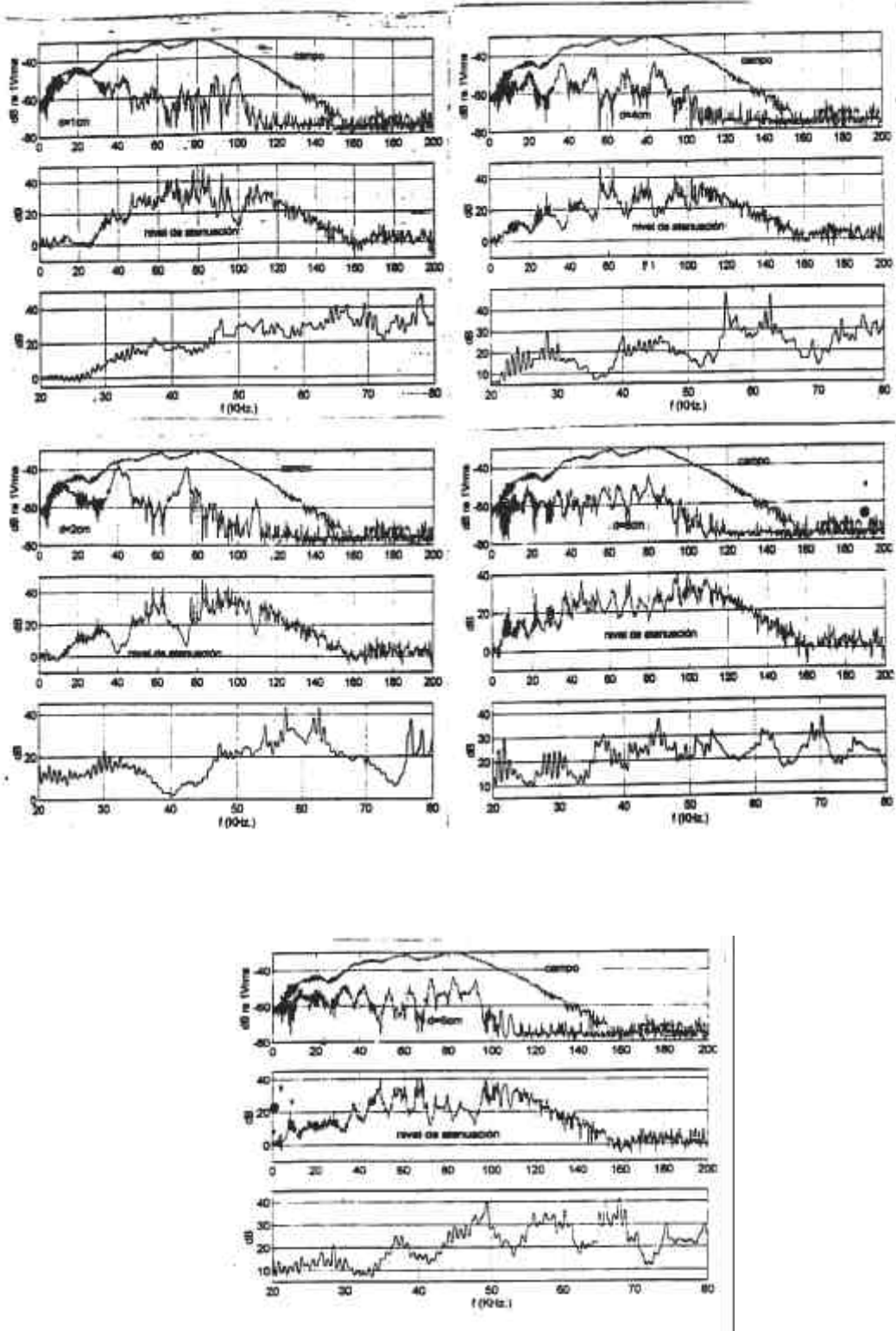


Figura nº 3 : ESPECTROS FFT