



Generalitat de Catalunya
Departament de Cultura i Mitjans de Comunicació
Direcció General del Patrimoni Cultural
Àrea de Coneixement i Recerca
Centre d'Informació i Documentació del Patrimoni Cultural

6801

Memòria dels treballs de prospecció geofísica subaquàtica al jaciment del Port Romà d'Empúries

Xavier Nieto



Avis legal

Aquesta obra està subjecta a una llicència Reconeixement-NoComercial-SenseObresDerivades 2.5 de Creative Commons. Se'n permet la reproducció, distribució i comunicació pública sempre que se'n citi el titular dels drets i no se'n faci un ús comercial. No es pot alterar, modificar o generar una obra derivada a partir d'aquesta obra. La llicència completa es pot consultar a <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/es/legalcode.ca>.



1. FITXA TÈCNICA

Nom de l'actuació: Port Romà d'Empúries

Lloc: Empúries- port romà

Municipi: L'Escala

Comarca: Alt Empordà

Responsables: Xavier Nieto (Centre d'Arqueologia Subaquàtica de Catalunya- Museu d'Arqueologia de Catalunya)

Dates de les intervencions: 16 i 17 de desembre de 2004

Tipus de jaciment: Port

Fondària: entre 1 i 6 m sota el nivell del mar

Característiques del fons: roques, sorra i posidònia.

2. INTRODUCCIÓ

L'excavació arqueològica subaquàtica en el port Romà d'Empúries (L'Escala-Alt Empordà) s'emmarca en el projecte d'investigació "El tràfic i el comerç marítim romà a Catalunya a època republicana" que el MAC-CASC porta a terme amb la universitats de Girona, Barcelona i Autònoma de Barcelona.

D'acord amb la resolució el director general del dia 16/12/2004 s'han realitzat els treballs arqueològics els dies 16 i 17 de desembre de 2004, sota la direcció tècnica de Xavier Nieto (director del CASC) i l'aval del Museu d'Arqueologia de Catalunya.

3. ANTECEDENTS

En el decurs de l'elaboració de la Carta Arqueològica Subaquàtica de Catalunya, el dia 22 d'abril de 1995, es van portar a terme unes prospeccions subaquàtiques en la zona de la Platja d'Empúries, en concret, a l'entorn d'unes roques conegudes com les Muscleres Grosses. Aquella primera actuació, que estava motivada per investigar l'existència o no d'algun tipus de resta arqueològica en una zona que havia estat estretament vinculada a les estructures portuàries d'Empúries.

El resultat d'aquella prospecció visual va ser detectar l'existència d'un important conjunt de blocs de pedra, alguns d'ells perfectament escairat i regulars que, dispersos en una àmplia zona a l'entorn de l'esmentada roca de les Muscleres Grosses, feia pensar que podrien formar part o procedir d'alguna estructura o edifici portuari.

El conjunt de blocs visibles en aquell moment, a l'entorn d'una vintena, mig enterrats en la sorra, s'havien fet visibles probablement pel fet que algun dels darrers temporals haurien arrossegat la sorra en aquell indret, deixant-los parcialment visibles.



Davant d'aquestes troballes vam endegar un projecte d'intervenció arqueològica per tal de caracteritzar la infraestructura portuària d'Empúries fet que conjuminava els interessos científics del MAC-Empúries i del MAC-CASC. D'aquesta manera i de forma ininterrompudament, entre 1996 i 1998, s'han dut a terme 3 campanyes d'excavació de dos mesos de durada cadascuna d'elles que ens han permès disposar d'unes dades inicials sobre aquest sector de la ciutat d'Empúries. Aquella descoberta va motivar les actuacions sistemàtiques en aquesta zona, en constatar l'existència d'unes noves estructures, el coneixement i estudi de les quals ha de posar de manifest una realitat de la façana marítima d'Empúries més complexa del que fins el moment hom havia suposat (Nieto/Raurich 1998)

L'any 1996 es va portar a terme una primera campanya d'excavació a la zona de les Musecleres Grosses que va permetre detectar una acumulació de blocs de pedra. La campanya de 1997 va permetre interpretar que els blocs pertanyien a una construcció portuària ubicada en la façana marítima de la Neàpolis emporitana (Nieto/Raurich 1998).

La campanya de 1998 es va centrar en la delimitació de la zona arqueològica i els resultats figuren en la memòria que es va lliurar al Servei d'Arqueologia amb data de registre d'entrada als SSTT de Cultura de Girona del 5 d'abril de 2000 (Nieto/Raurich 2000).

Aquestes primeres intervencions en el port romà d'Empúries va permetre diversificar la col·laboració entre la seu d'Empúries i del CASC en relació al port romà d'Empúries i iniciar un projecte de difusió per al públic en general anomenat "La Capbussada". Aquesta activitat es va desenvolupar els anys 2000, 2001 i 2004 i van tenir una gran transcendència tan a nivell de visites com pel que fa als mitjans de comunicació.

L'any 2003 es va dur a terme una campanya d'excavació en el sector sud del port d'Empúries que ens va permetre extreure tota una sèrie de conclusions que es van afegir a les dades aportades per les intervencions dutes a terme l'any 1996/97/98 (Nieto/Raurich 1998).

En primer lloc l'existència d'una gran estructura construïda a l'aigua que té possiblement continuïtat amb la Neàpolis. Es tracta d'un conjunt de blocs de pedra que s'extenen des de escassos centímetres per sota del nivell actual d'aigua fins els 119 cm de profunditat on els blocs s'assentaven perfectament sobre la roca natural. Aquests blocs s'extenen en una superfície rectangular que medeix uns 17 m d'est a oest i 15 m de nord a sud. La concentració de blocs és més intensa a la zona perimetral i menys en el centre donant la impressió de que quan estaven a la seva posició original existia un forat al centre. El fet de que aquestst blocs es disposin directament sobre la roca natural i que



es trobin a tant poca profunditat ha produït que hagin desaparegut les evidències estratigràfiques doncs la zona queda remoguda en cada temporal de llevant. Per altra part la violència de les onades ha desmuntat el conjunt i tot i que apareixen blocs de pedra superposats fins a tres filades, tot el conjunt ofereix l'aspecte d'enderroc.

Creiem que la acumulació de blocs detectada sota l'aigua correspon als restes del bastió més oriental de la muralla del segle IV aC. I que aquest bastió devia estar unit mitjançant un mur a la torre actualment situada sota l'asfalt de la carretera excavada al 1992 per Enric Sanmartí (Nieto *et alii* 2005, 94).

En segon lloc es va documentar la continua aparició de centenars de pedres a l'est de la torre que acabem de comentar, i en direcció a les Muscleres Grosses. Aquestes pedres, de talla diferent a les que conformen la construcció de la torre, més petites i en general més desbastades, apareixen d'una manera més desordenada, tot i que formant una franja cap a l'extrem sud-oest de les Muscleres, on aquests blocs poden veure's a ran d'aigua e inclús algú a la mateixa riba del mar.

El conjunt, enormement desordenat, dona la impressió de ser el resultat de la destrucció originada per successius temporals sobre una acumulació de pedres llançades al mar de forma desordenada per formar un dic. Un treball d'aquest tipus es realitza encara avui a les obres portuàries creant punts de partida a terra per anar avançant, adentrant-se al mar, així com augmenta l'aportació de materials.

En tercer lloc es va documentar l'existència d'un conjunt de blocs motllurats a la façana sud de les Muscleres Grosses. Aquesta descoberta va donar peu a la campanya d'excavació del port d'Empúries del 2004.

Durant el més de juny del 2004 es va realitzar una excavació en extensió de la zona situada a la façana sud de les Muscleres Grosses coneguda col·loquialment com "Piscina". Es tracta d'un espai d'aigua pràcticament envoltat de roques al qual només es pot accedir pel seu costat sud amb una petita embarcació neumàtica i encara així amb precaucions, ja que hi ha roques submergides que fan molt difícil l'accés. Inclús aquest accés encara seria més difícil en temps passats donat que en aquest lloc al fons del mar, existeix una gran "roca bolet" que quan encara era aèria devia tancar el accés a aquesta "piscina" (Nieto *et alii* 2005, 97).

L'excavació arqueològica de la zona va posar al descobert 12 blocs treballats de pedra que aparegueren concentrats a la zona oest.

Algun d'aquests blocs presenta unes dimensions considerables, com és el cas d'un paral·lelepípede de 1,70 per 50 per 50 cm, que per les seves dimensions, per la seva ubicació al costat de la paret d'aquesta zona tancada, per la seva posició i per la



impossibilitat de que una embarcació pogués transportar-la per mar a aquest indret, només es possible que procedeixi d'alguna construcció, de gran entitat, ubicada sobre les actuals Muscleres Grosses, a la seva part occidental.

Cal recordar que les Muscleres Grosses són la zona emporitanes més avançada al mar i l'extrem del port artificial per lo que *a priori* no podem descartar la presència en aquest indret d'una construcció, bé de tipus far o bé de prestigi per la ciutat.

S'han analitzat dos blocs de pedra treballats localitzats a l'interior de la "piscina" el que ens ha permès conèixer que un procedeix de Sant Martí d'Empúries i l'altre de la cantera sobre la que es va construir el Malecó (Nieto *et alii* 2005, 98).

4. OBJECTIUS

S'ha pretès realitzar un acurat mapa del fons marí del jaciment del port romà d'Empúries, amb la finalitat de poder comprendre millor la infraestructura portuària situada en el perímetre de les Muscleres Grosses. Aquesta és i serà una valuosíssima informació que ens permet contar amb una informació detallada de les estructures que encara conserva el jaciment, i a la vegada poder plantejar amb més informació i idoneïtat les campanyes d'excavació del pròxims anys.

5. EQUIP HUMÀ

L'equip de treball ha estat construït per el personal del CASC (patró-mecànic i dos arqueòlegs), i així com s'ha contat amb la infraestructura de la empresa Tecnologies Marinas y de Construcción, S.A. encarregada de l'estudi geofísic.

6. SITUACIÓ DEL PORT ROMÀ D'EMPÚRIES.

El port romà d'Empúries es localitza davant de la costa d'Empúries davant de la Neàpolis, en la zona coneguda com les Muscleres Grosses. Les restes arqueològiques es localitzen entre 0 i 6 metres de fondària.

7. DESCRIPCIÓ DELS TREBALLS I METODOLOGIA PLANTEJADA A LA PROSPECCIÓ GEOFÍSICA.



La prospecció geofísica s'ha realitzat mitjançant dos aparells:

El Geopulse, o també anomenat penetrador de fangs.- Es tracta d'un sistema sísmic de mitja-alta resolució i mitja penetració, que emeteix un pols acústic de gran potència i curta durada (0,1 msec), mitjançant un Boomer de disseny avançat. Les senyals acústiques es reben mitjançant un grup de hidròfons ("Streamer") que es remolquen paral·lels a l'emissor, i una vegada amplificats i filtrades convenientment, s'imprimeixen en un registrador per obtenir un perfil del fons marí, arribant a penetracions entre els 75 i 100 m i una resolució acceptable (0,5m aproximadament) (Fig. 1 i 2).

El sistema està format de:

-Font d'energia (Model CSP300), que proporciona un curt impuls elèctric de gran energia a l'emissor acústic.

-Catamarà amb emissor acústic (Model CAT200) amb emissor acústic (Model AA200).

-Hidròfon receptor (Model AH150/6) o "Streamer". Subsistema compost per diversos elements actius denominats hidròfons i un amplificador disposats en un tub de poliuretà i omplert amb un líquid oleaginós. La finalitat d'aquest líquid es dotar als hidròfons d'una flotabilitat neutra i crear un medi amb una capacitat acústica similar a la de l'aigua salada.

-Processador digital de senyal (Octopus 360) amb un compensador elèctric de oleatge. Té les següents funcions: rebre la senyal elèctrica de l'hidròfon, filtrar-la i amplificar-la; emmagatzemar la senyal en format digital en forma bruta per després procedir al seu processat; processar en temps real la senyal obtinguda per donar un perfil sísmic a escala de temps considerada i registrar-la gràficament sobre un suport de paper.

-Registrador de paper tèrmic (EPC GSP-1086), controlat pel processador digital. El registre es referència amb les marcacions aportades pel sistema de navegació. La gravació digital de les dades en brut permet realitzar processats posteriors variant paràmetres que permeten visualitzar amb diferents detalls les zones de major interès. També aquestes dades serveixen per realitzar estudis més complexos en sistemes de processat externs i suposen una garantia de conservació i còpia de seguretat de les dades recollides.

-Receptor alternatiu del Geopulse.



Per millorar la resolució vertical dels perfils d'aquest sistema, s'utilitza un receptor especial situat sobre el propi catamarà que suporta el emissor acústic del Geopulse i un segon processador digital Octopus 360, amb les mateixes característiques del primer.

Això millora en gran mida la capacitat del sistema, al aportar un major detall de les estructures sedimentaries, doncs la emisió-recepció d'ela senyal acústic es fa en vertical, en contrast amb la recepció per Stremer que es obliqua per col·locar-se emissor i receptor separats per l'estela del vaixell. Al emprar una freqüència superior per millorar la penetració el resultat amb aquest sistema són d'inferior qualitat, però al disposar de la doble recepció no hi ha pèrdua d'informació.



Figura 1. Aparells geofísics emissors a l'aigua.



Figura 2. Aparells geofísics receptors situats a l'interior de l'embarcació

El posicionament de les dades obtingudes pel Geopulser s'ha fet a través del segon aparell utilitzat, un **GPS Diferencial** submètric, amb correccions garantides per satèl·lit de qualitat professional. Es tracta del sistema Trimble DMS-12 i les correccions Omnistar.

Les sortides de dades sèrie es configuren en format NMEA-183 amb la finalitat de poder comptar amb la major compatibilitat de la resta dels sistemes. En aquest format les coordenades son geogràfiques en el Datm WGS84, i en el missatge inclouen, a part de la posició, la hora precisa, la qualitat del les dades, la velocitat i el rumb.

Aquest missatge s'envia als sistemes digitals geofísics (Processadors Sísmics Digitals Octopus 360), i permet una georeferenciació contínua de totes les dades registrades en ells.



Tot aquest lot d'informació s'envia al programa de navegació, un Hypack Max. Aquest programa, a més de registrar contínuament totes les dades numèriques que es generen, permet realitzar una total planificació del treball i aportar informació suficient al timoner per que pugui navegar conforme a la planificació establerta. Aquesta informació s'aporta tant en forma gràfica com en forma numèrica.

Aquest sistema permet transformar en temps real les coordenades geogràfiques entregades pel GPSD a qualsevol altre tipus de coordenades que plantegi el treball, inclosa la transformació de datum.

A partir del programa de navegació Hypack Max, connectat al GPSD, s'han realitzat una sèrie de carrers en la zona a prospectar, situats a una distància de 5 metres entre ells. Aquesta distància es la adequada per aconseguir un complet estudi del fons marí, i de les estructures que poden estar sota la sorra. Seguint aquests carrers s'ha passat el penetrador de fangs que ha donat una complerta i detallada secció del fons.



8. CONCLUSIONS

Els treballs de prospecció geofísica duts a terme al desembre de 2004 es van realitzar a tres zones ben delimitades (Fig. 3):

- La zona Nord situada davant de Sant Martí d'Empúries.
- La zona central situada entre Sant Martí d'Empúries i les Muscleres Grosses.
- La zona sud situada al sud de les Muscleres Grosses.



Figura 3. Mapa on s'aprecien les tres zones on es va realitzar la prospecció geofísica a la façana emporitana.



Com es pot apreciar a l'annex de conclusions aportat per la empresa Tecnològias Marítimes y de Construcció, S. A., els principals resultats de la prospecció mostren la batimetria del sediment acústic de la façana marítima emporitana. Es tracta d'una dada molt important per poder planejar amb exactitud les pròximes campanyes d'excavació.

Un altre dels grans resultats ha sigut la aparició de dues anomalies situades a la zona sud. Es tracta de dos línies paral·leles, que es disposen en la mateixa direcció que el "Malecò" emporità. Aquestes anomalies han sorgit a partir de l'estudi obtingut amb al sonda paramètrica, al qual aporta informacions de més resolució i detall per petites profunditats, en comparació a altres sistemes emprats en la mateixa prospecció geofísica.

Aquestes anomalies poden ser degudes a la existència en aquesta zona de dos elements constructius paral·lels, tot i que hores d'ara encara és massa aviat per confirmar-ho.

La recopilació d'aquesta informació serà d'una important vàlua per preparar les properes campanyes d'excavació, les quals sense cap tipus de dubte hauran de centrarse en aconseguir més informacions d'aquestes dues anomalies, d'una manera directa. En les properes campanyes al port emporità ens centrarem en la realització de diversos sondeigs per trobar i documentar aquestes anomalies e intentar englobar-les en el context històric del port, ja que possiblement siguin les estructures que tancarien per la façana nord el port Romà d'Empúries.



CASC
Museu d'Arqueologia
de Catalunya

9. ANNEX AMB ELS RESULTATS I CONCLUSIONS DE LES ANÀLISIS REALITZADES.

**ESTUDIO GEOFÍSICO
PARA ARQUEOLOGÍA
SUBMARINA
*"AMPURIAS 04"***

1. METODOLOGÍA

1. METODOLOGIA

La metodología utilizada para alcanzar los objetivos propuestos para este trabajo se ha basado en el análisis de perfiles sísmicos obtenidos geopulse, receptor alternativo para geopulse y ecosonda paramétrica.

A las dificultades propias de las técnicas geofísicas de prospección se tiene que añadir:

- A. Las duras condiciones en las que normalmente se trabaja en la mar, no habiéndose producido ningún problema en este trabajo debido a las características del lugar de muestreo.
- B. Lograr un buen posicionamiento del barco.
- C. Trabajar con perfiles sísmicos de alta resolución sin procesar, que conlleva problemas a la hora de distinguir entre la señal primaria y los distintos tipos de ruido (múltiple, difracciones, etc....).

La metodología aplicada en este trabajo ha seguido dos etapas consecutivas:

1. *Aplicación de técnicas de prospección geofísicas.*
2. *Interpretación de los registros sísmicos.*

1.1. APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE PROSPECCIÓN GEOFÍSICA

En este apartado se describirán los conceptos básicos de las técnicas de prospección geofísicas, así como las técnicas y equipos utilizados para la realización de este trabajo.

1.1.1. TÉCNICAS DE PROSPECCIÓN: CONCEPTOS BÁSICOS

Las técnicas utilizadas para el desarrollo de los trabajos geofísicos se basan en la sísmica de reflexión, que emplea como elemento de medidas las ondas acústicas (Trabant, 1984). Estas técnicas se basan en la emisión de breves impulsos elásticos en forma de pulsos sonoros desde un barco en movimiento, transmitiéndose por toda la columna de agua hasta que son reflejados al llegar al fondo marino y a las distintas capas que componen el subsuelo. Posteriormente los ecos de retorno son recogidos y registrados. Sabiendo el tiempo transcurrido entre la emisión y la recepción, y la velocidad de propagación de las ondas sísmicas por el medio marino, podemos calcular la profundidad a la que se encuentran los diferentes substratos geológicos. Como el buque se mueve en la horizontal, los distintos ecos van quedando reflejados de forma que se va produciendo una traza local del subsuelo. En sentido longitudinal del soporte, y a una distancia tal que no se superponga la traza, pero que tampoco quede separada, se repite el proceso de emisión de otro impulso, con la consiguiente recogida de otros ecos, y así sucesivamente se va generando el perfil sísmico, gráfico donde queda representada la disposición geométrica del fondo y los reflectores del subsuelo, en forma continua siguiendo un perfil, asimilable a lo que sería un corte geológico (Trabant, 1984; Ayala *et al.*, 1985; Díaz-del-Río, 1989; Rey, 1990; Abarzuza, 1991; Hernández Molina, 1993; Lobo, 1995).

Los sistemas sísmicos operan según el principio por el cual la energía sismoacústica transmitida incide en una interfase acústica, reflejándose parcialmente por esta superficie. Una *interfase acústica* es aquella zona del subsuelo a través de la cual, existe algún contraste en la *impedancia acústica*, definida como el producto de la densidad del medio por la velocidad de propagación de las ondas sónicas compresionales (ondas P). La *reflexión* se obtiene por una variación de la impedancia acústica que es una medida del contraste acústico de los materiales a cada lado de la interfase.

Las interfases acústicas quedan representadas gráficamente por cada uno de los sistemas sísmicos, y son llamados "*reflectores sísmicos*" Estos últimos son superficies de contacto entre dos materiales que presentan distinta impedancia acústica y que se comportan frente a los pulsos acústicos como espejos, reflejando (y refractando) parte de la energía acústica emitida. Estos reflectores no tienen por qué coincidir con los conceptos de "estratos", "capas", "niveles" usados en geología, aunque de hecho pueden corresponder a

interfases físicas como planos de estratificación, discontinuidades, fallas, superficies de erosión, zonas con gas, etc. (Bouye, 1983; Trabant, 1984; Hernández-Molina, 1993).

Existen dos propiedades que caracterizan a todo sistema sísmico (Fig.I.1): a) **penetración** y b) **resolución**. Estas dos propiedades tienen una relación inversa:

a) **Penetración:** es la profundidad máxima a la que puede detectarse un reflector. Depende de la potencia y frecuencia de la señal emitida; a una menor frecuencia le corresponde una mayor longitud de onda y una mayor penetración. En cada interfase la cantidad de energía que se transmite a la siguiente se ve disminuida en una cantidad igual a la que ha sido reflejada (Trabant, 1984).

b) **Resolución:** es la distancia mínima a la que se pueden identificar dos reflectores consecutivos para una señal de frecuencia determinada. A mayor frecuencia obtenemos una mayor resolución. Se puede considerar una resolución horizontal al producirse cambios en la respuesta acústica en la horizontal (Bouyé, 1983).

En la interpretación de un perfil sísmico también es necesario tener en cuenta dos factores que intervienen en la realización de un registro:

a) **Difracción:** las reflexiones de mayor calidad tienen lugar sobre medios horizontales; cuando existe alguna irregularidad, por ejemplo una falla, al llegar la onda a la irregularidad, ésta se comporta como un emisor y produce unos frentes de onda esféricos; las reflexiones hiperbólicas que se forman reciben el nombre de difracciones (Bouyé, 1983; Trabant, 1984). La migración consiste en desplazar un punto perteneciente a un reflector inclinado a su posición real, y para ello se aplica la hipérbola de difracción.

b) **Absorción:** Consiste en la transformación de la energía elástica en otras formas de energía, principalmente calor. Esta transformación depende del coeficiente de absorción. El coeficiente está relacionado con la frecuencia de emisión, de forma que las altas frecuencias favorecen la absorción en las capas más superficiales (Bouyé, 1983).

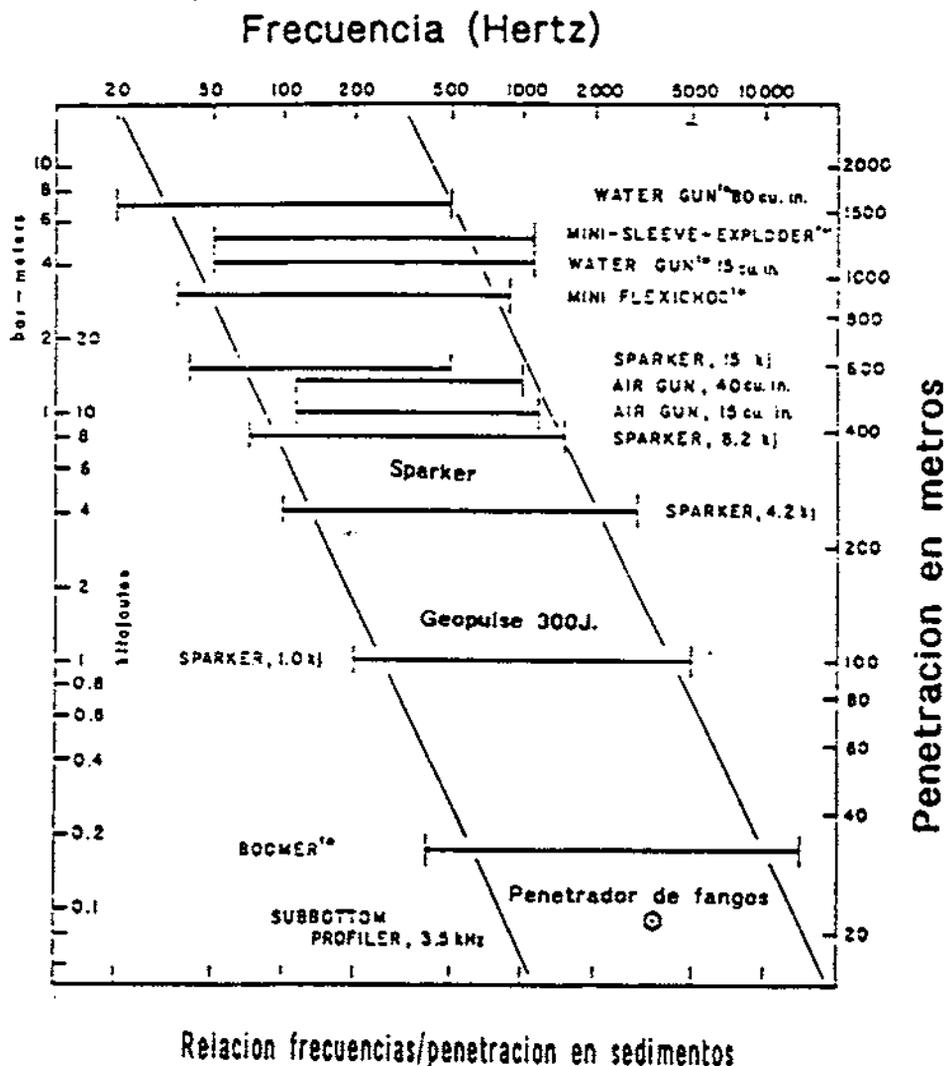


Fig. I.1. Esquema gráfico donde se establece la relación frecuencias / penetración en sedimentos. Tomado de Trabant (1984).

1.1.2. TÉCNICAS Y EQUIPOS UTILIZADOS

Al tratarse de un estudio arqueológico las técnicas utilizadas han ido enfocadas a obtener el mayor detalle posible dentro de unos parámetros de precisión adecuados a dicho detalle.

La posición de los datos se ha realizado con un sistema GPS Diferencial basado en las correcciones enviadas por los radiofaros.

Para la detección de elementos arqueológicos enterrados se ha utilizado un sistema de muy alta resolución, una ecosonda paramétrica con un haz de solo cuatro grados, con la que se ha obtenido un corte de las capas más superficiales con mucho detalle para diferenciar elementos ajenos a la geología de la zona.

Finalmente se ha completado el estudio con geopulse y receptor alternativo para geopulse para la identificación del basamento acústico y la elaboración del mapa de isopacas de sedimento no consolidado.

1.1.2.1. Posicionamiento y sistemas de navegación

El sistema utilizado ha sido un Trimble modelo DMS132 (Fig.I.2. y I.3.) que aunque dispone de varias posibilidades para recibir correcciones, se ha utilizado la de correcciones por radiofaros en banda larga. En concreto, en este caso las correcciones han sido proporcionadas por la estación del Cabo de San Sebastián (Tabla.I.1.).

La antena del GPS se colocó, en este caso, en el catamarán por lo que no es necesario hacer correcciones offsets en las señales del geopulse, receptor alternativo para geopulse y ecosonda paramétrica (Fig.I.4.).

El sistema tiene para ello un receptor doble, de forma que uno recibe las correcciones que se aplican mientras que el otro hace un barrido continuo sobre las otras estaciones próximas a fin de determinar si en un momento dado hay otra que tenga mayor calidad que la utilizada. El receptor de GPS tiene doce canales en paralelo y de diferentes sistemas que mejoran la calidad de la posición.

Los datos generados se han configurado en el formato NMEA-183 para buscar la compatibilidad con todos los sistemas. En este formato las coordenadas son geográficas en el Datum WGS84, y en el mensaje entrega a parte de la posición, hora precisa, calidad de los datos, velocidad y rumbo.

Este mensaje aportado a los sistemas digitales geofísicos, a la ecosonda paramétrica y al procesador digital Octopus 360, permite una georeferenciación continua de todos los datos registrados.



Fig. I.2. GPS-Diferencial utilizado.

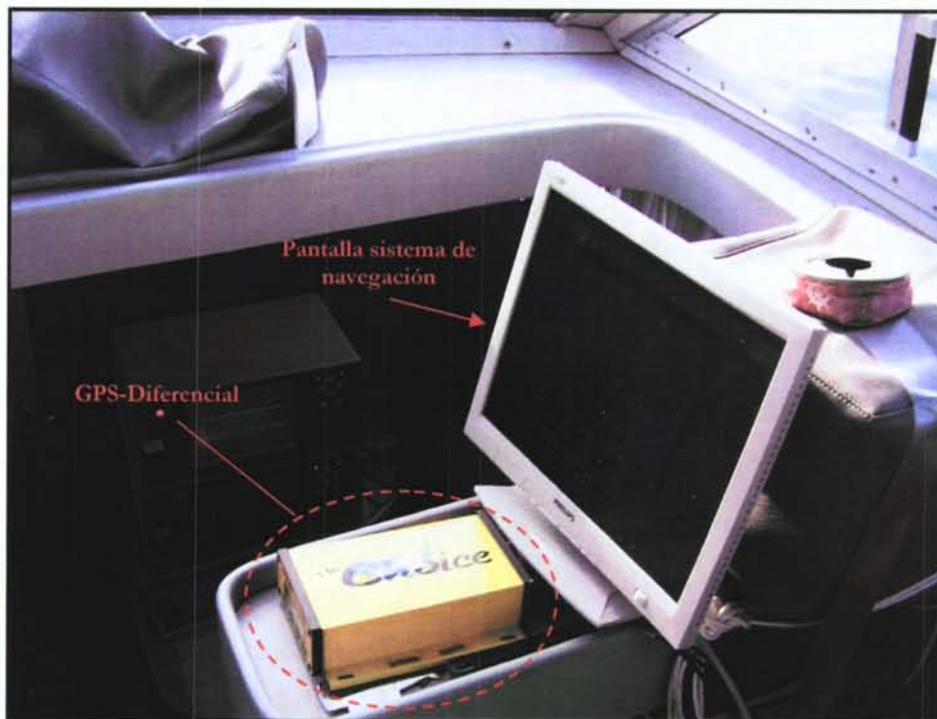


Fig. I.3. Posición dentro de la embarcación del GPS-Diferencial utilizado.

Cabo San Sebastian		
<i>Position:</i>	41°53'N,	1014539
	3°12'E	4655529
<i>Reference Station ID:</i>	528/529	
<i>TX Station ID:</i>	364	
<i>Frequency (kHz):</i>	313,5	
<i>Nominal Range:</i>	180 km @ 75 μ V/m	
<i>Message Types:</i>	1 2 3 5 6 7 9 15 16	
<i>Bitrate (bit/s):</i>	100	
<i>Station in operation:</i>	Yes	
<i>Integrity monitoring:</i>	Yes	

Tabla. I.1. Datos de la estación de radiofaro.



Fig. I.4. Antena del GPS-Diferencial utilizado sobre el catamarán.

El sistema de navegación empleado ha sido un Hypack Max (Fig.I.5.), que recoge los datos entregados por el GPSD, aparte de los batimétricos proporcionados por la ecosonda paramétrica. Con ellos realiza el procesado y registro digital, y genera información gráfica y numérica de la navegación realizada con referencia a las líneas o puntos planificados previamente. También aporta marcas de referencia para los registros batimétricos y de datos geofísicos.

Aparte de lo anterior el programa de navegación permite transformar en tiempo real las coordenadas geográficas entregadas por el GPSD a cualquier otro tipo de coordenadas, incluso con transformación de datum.

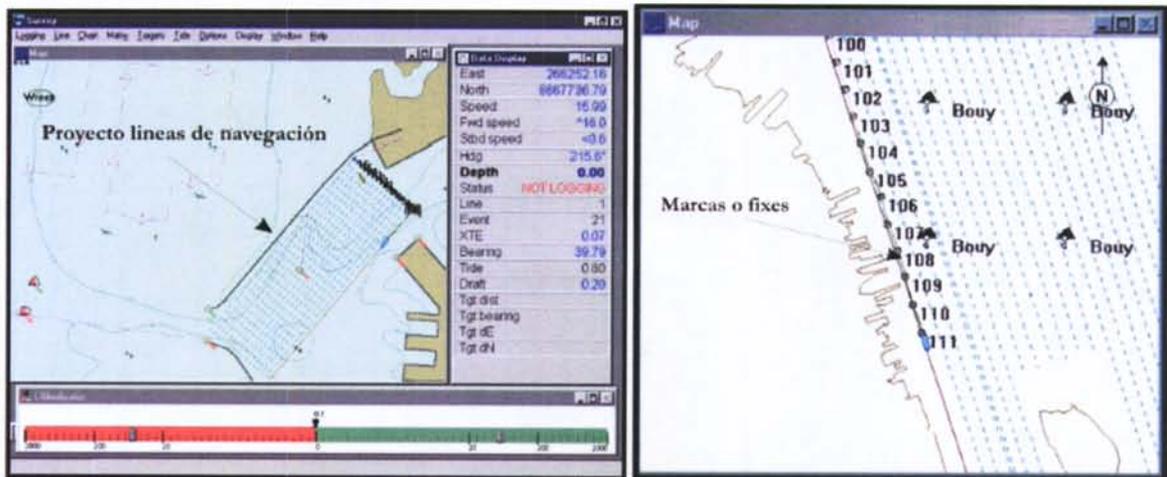


Fig. I.5. Ejemplos de la pantalla del sistema de navegación Haypack Max, en los que se puede observar tanto el proyecto de líneas como las marcas o fixes que genera.

1.1.2.2. Geopulse

Se trata de un sistema sísmico de media-alta resolución y media penetración, que emite un pulso acústico de gran potencia y corta duración (0,1mseg.), mediante un Boomer de diseño avanzado. Las señales acústicas se reciben mediante un grupo de hidrófonos ("streamer") que se remolca paralelo al emisor (Fig.I.6.), y una vez amplificadas y filtradas convenientemente, se imprimen en un registrador para obtener un perfil del fondo marino, alcanzando penetraciones entre 75 y 100 m y una gran resolución (0,5 m aunque en algunas zonas llega próximo al metro).

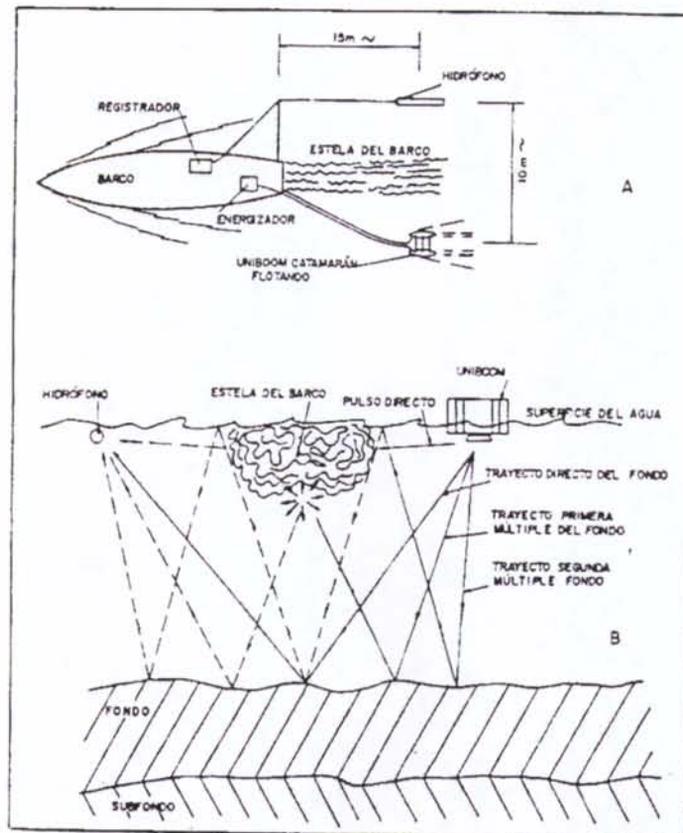


Figura. I.6. A. Esquema gráfico sobre la disposición de los subsistemas de un equipo sísmico de alta resolución y media penetración (Uniboom o Geopulse); B. Efecto pantalla producido por la estela de un buque. Tomado de Rey (1990).

El sistema que se ha utilizado en esta campaña consta de:

- *Fuente de energía* (Modelo CSP300), que proporciona un corto impulso eléctrico de gran energía al emisor acústico (Fig.I.7).

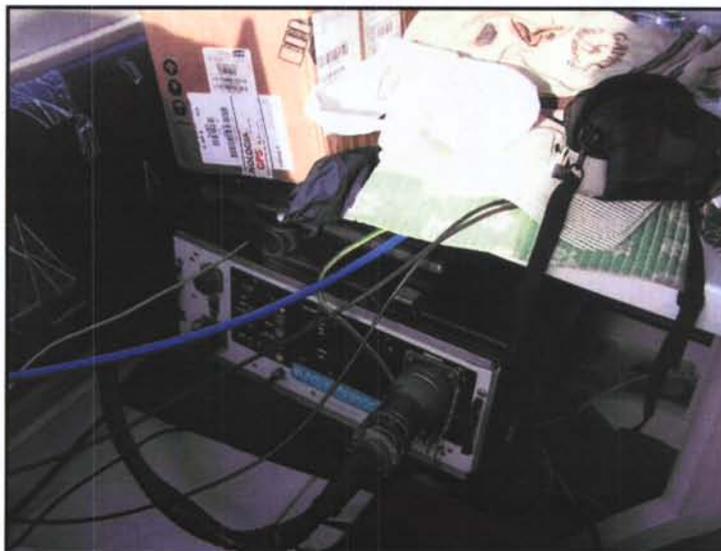


Figura I.7. Fuente sísmica utilizada.

- Catamarán con emisor acústico (Modelo CAT200) con emisor acústico (Modelo AA200) (Fig. I.8., I.9. y I.10.).



Figura I.8. Catamarán con emisor acústico.

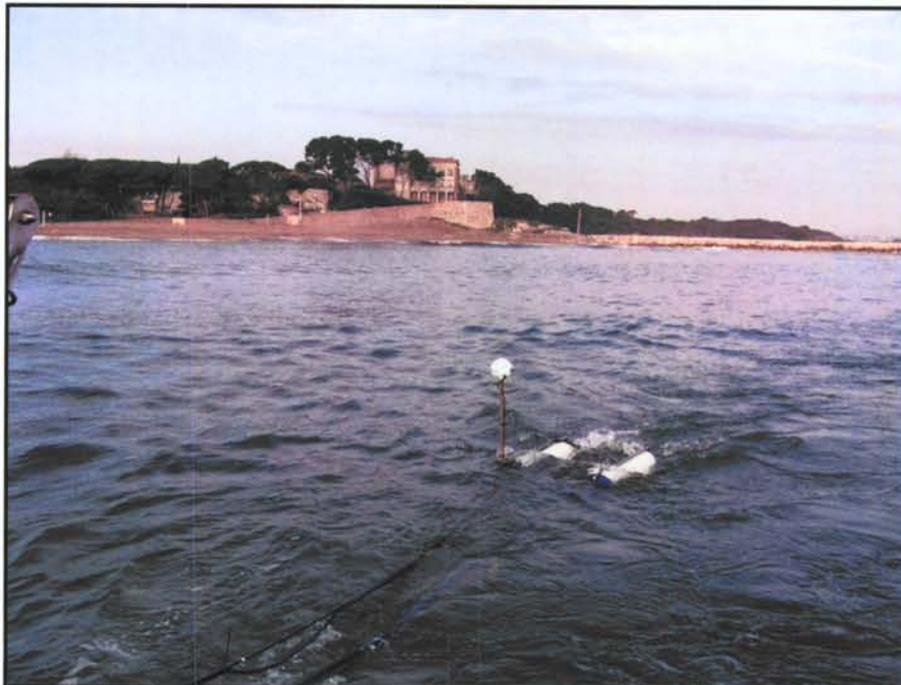


Figura I.9. Catamarán en funcionamiento durante la campaña.



Figura I.10. Emisor acústico.

- Hidrófono receptor (Modelo AH150/6) o "Streamer" (Fig.I.11.). Subsistema compuesto por varios elementos pasivos denominados hidrófonos y un amplificador o previo, alojados en un elemento flexible de PVC y relleno de un líquido oleaginoso. La finalidad de este líquido es dotar a los hidrófonos de una flotabilidad positiva y crear un medio con una impedancia acústica similar a la del agua salada. La recepción de las ondas reflejadas en las distintas interfases del subsuelo se realiza por medio de los hidrófonos, que son unos elementos piezoeléctricos que son sensibles a las variaciones de presión en el agua. La señal recibida es filtrada por medio de un filtro de paso-banda, para seleccionar el intervalo de frecuencias con el que se desea trabajar.

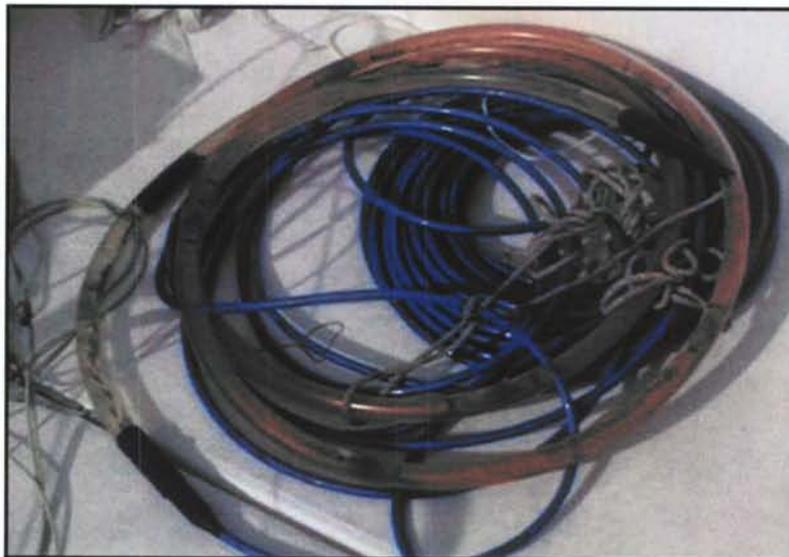


Figura I.11. Hidrófono o "streamer".

- Procesador digital de señal (Octopus 360) con compensador electrónico de oleaje (Fig.I.12). Tiene las siguientes funciones; 1) Recibir la señal eléctrica del hidrófono, filtrada y amplificada; 2) Elaborar un perfil sísmico a la escala de tiempo considerada; esto lo hace registrando gráficamente la señal sobre un soporte de papel.

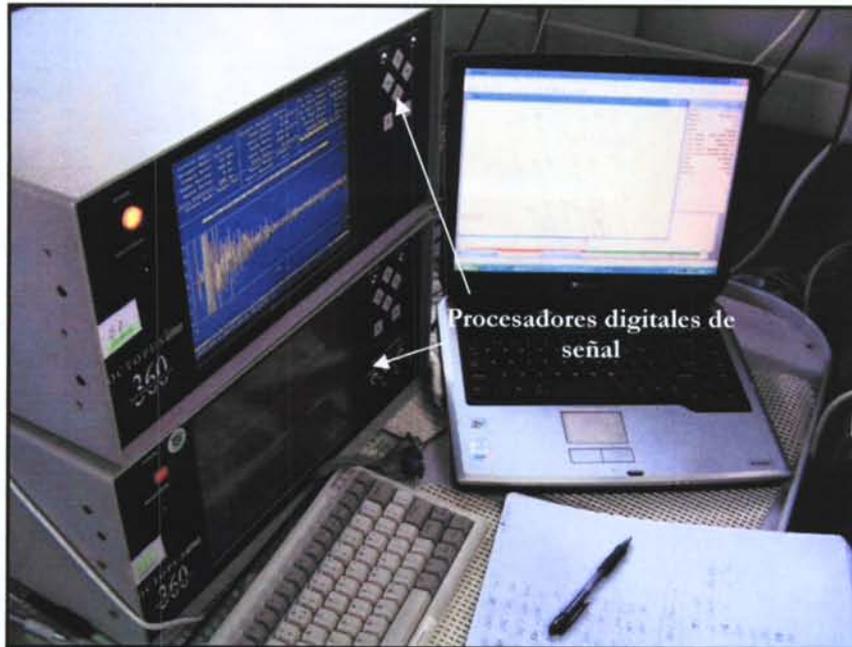


Figura I.12.: Situación de los procesadores digitales de señal durante la campaña.

- Registrador de papel térmico (EPC GSP-1086) (Fig. I.13).

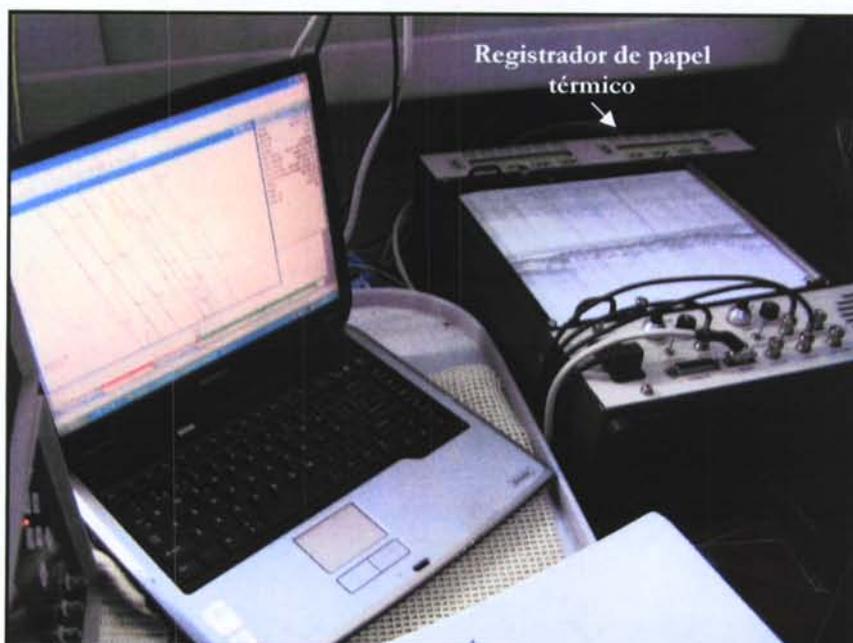


Figura I.13: Registrador de papel térmico.

Antes de iniciar los trabajos, se procedió a revisar cuidadosamente el emisor, con el fin de obtener un pulso lo más estrecho posible y así mejorar la resolución de los registros.

La potencia utilizada, por un lado, ha sido 200 Julios y la cadencia de disparo 400 ms con mayor penetración, pero con menor resolución, y por otro con 100 julios y 200 ms de cadencia para alcanzar una mayor resolución.

Gracias a que el sistema utilizado permite la grabación digital de las señales brutas ha sido posible reprocesarlas combinando diferentes parámetros de ganancia y filtros y poder diferenciar así, en algunas ocasiones, la capa sedimentaria más superficial.

1.1.2.3. Receptor alternativo para geopulse

Para mejorar la resolución vertical en los perfiles de este sistema se utiliza, aparte del hidrófono, un receptor especial colocado sobre el propio catamarán que soporta el emisor acústico del Geopulse (Fig.I.14.) y un segundo procesador digital Octopus 360, con las mismas características que el primero (Fig.I.12.).

Esto mejora en gran medida la capacidad del sistema, al aportar un mayor detalle de las estructuras sedimentarias, pues la emisión-recepción de la señal acústica se hace en vertical, en contraste con la recepción por *streamer* que es oblicua por colocarse emisor y receptor separados por la estela del barco. Al utilizar una frecuencia superior para mejorar la resolución la penetración con este sistema es inferior, pero al disponer a simultáneo de la doble recepción no hay pérdida de información.

El conjunto se puede definir como un perfilador ORE de 3,5KHz al que se le han mejorado las características de penetración manteniendo la máxima resolución del sistema, debido a que se emite un solo pulso, y no un tren de ellos como se necesitaría en el sistema mencionado para alcanzar la misma penetración.

Otra particularidad de este sistema es que al ir en un mismo soporte el emisor y el receptor se le pueden aplicar directamente sistemas de posicionamiento y de medida directa de oleaje para posicionar correctamente los datos y corregir las deformaciones producidas por el oleaje, respectivamente. Ello permite posicionar correctamente taludes dentro de la

estructura sedimentaria con una precisión próxima a la obtenida con una ecosonda en los taludes del fondo.

La señal de este sistema se registra en formato digital en tiempo real y en paralelo con otro procesador Octopus 360 idéntico al que registra la señal del hidrófono, con lo que se dispone a simultáneo de dos sistemas complementarios con amplias posibilidades de procesado.

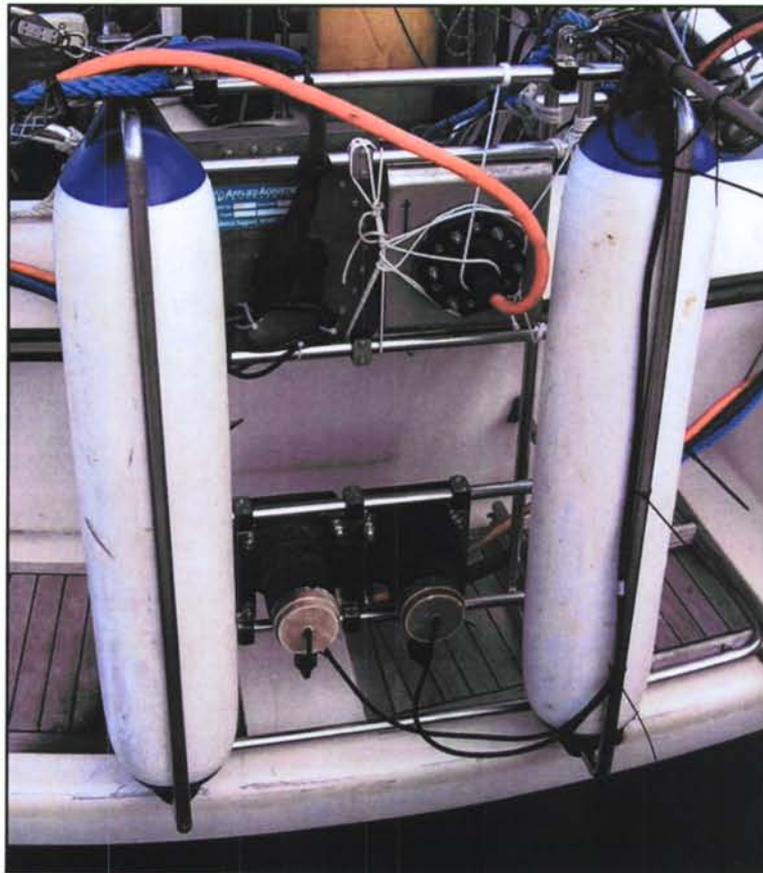


Figura I.14.: Receptor alternativo para el geopulse.

1.1.2.4. Ecosonda paramétrica

La ecosonda paramétrica es un sistema geofísico que permite obtener penetración en los sedimentos del fondo con una muy alta resolución espacial en base a utilizar altas frecuencias en la transmisión y recepción de las señales acústicas.

El sistema empleado, un SES-2000 Compact, se compone de un transductor pequeño que se adosa al costado del barco (Fig.I.15. y I.16), una unidad transmisora y de

proceso de las señales recibidas que también admite correcciones de movimiento, y un ordenador desde el que se controla todo el sistema, se registran las señales y permite la salida de datos, así como su integración con el sistema de navegación. El propio sistema tiene programas para la reproducción de las señales grabadas y su procesado para obtener los registros de trabajo finales (Fig.I.17).

Los sistemas geofísicos para poder obtener información de las estructuras del fondo marino necesitan utilizar bajas frecuencias, pues las altas se atenúan tanto que las hacen inviables para este fin. El problema es que la baja frecuencia implica grandes emisores para que sea directiva y precisa, con lo que por lo general son sistemas de muy baja resolución espacial.

La ecosonda paramétrica utiliza un efecto físico por el cual genera la baja frecuencia, necesaria para obtener la información estructural, a partir de otra muy alta. Lo hace emitiendo con alta potencia dos frecuencias cuya diferencia es la baja que queremos obtener. Esto nos permite conseguir buenas directividades y resoluciones a partir de transductores de reducidas dimensiones. El sistema empleado alcanza solo 4 grados de haz, superior a muchas ecosondas hidrográficas, y esto se mantiene dentro del sedimento.

Además disponemos de un control extra al permitir variar la frecuencia resultante para obtener una mayor penetración (componentes bajas) o una mejor resolución (componentes altas), en base a los fines perseguidos. Este margen para el equipo empleado se encuentra entre 4 y 12 KHz, y las resoluciones verticales que se pueden alcanzar se acercan a los pocos centímetros.

Aunque la especificación del fabricante indica que puede alcanzar los 50 metros en los sedimentos es un sistema bastante sensible a los materiales compactados y de granulometría gruesa, por lo que dicha penetración suele quedar limitada a menos de 10 metros en muchas ocasiones. También, al igual que otros sistemas acústicos, se ve afectado por el apantallamiento producido por capas con gas que limitan su alcance o ocultan los reflectores.

Como además dispone de un canal en la frecuencia alta podemos tener salida digital de datos batimétricos obtenidos de ésta y del canal de la baja frecuencia generada,

comportándose como una ecosonda hidrográfica a todos los efectos, permitiendo aplicar correcciones de calado y velocidad de propagación a los datos. El formato de éstos en la salida digital es compatible con los programas de navegación.

Las características más importantes de este sistema son las siguientes:

- Transmisión no lineal, recepción lineal, ancho de haz ($\pm 1,8^\circ$) $(0,2 \times 0,2)m^2$
- Frecuencia primaria: 100 kHz.
- Frecuencias secundarias: 4, 5, 6, 8, 10 y 12 kHz.
- Potencia eléctrica: 12 kW.
- Nivel acústico: $>236 \text{ dB}/\mu\text{Pa}$ re 1m.
- Anchura de pulso 66 μSeg ... 500 μSeg . Repetición hasta 30 p.p.s.
- Resolución efectiva $\sim 5 \text{ cm}$ dependiendo de la frecuencia y del rango operativo
- Dos canales, frecuencia primaria (100Khz) y secundaria (4 a 12KHz).
- Entrada en serie para los datos de navegación.
- Salida de datos y control por USB desde PC, con programa de control, registro de datos digitales, y representación gráfica de ambos canales.

Paralelamente al procesado con el software propio del sistema se ha dispuesto de un sistema alternativo con un procesador Octopus 360 que permitía un segundo almacenamiento de los datos y un control sobre la señal bruta en tiempo real para su registro en papel, aunque no se usó continuamente.

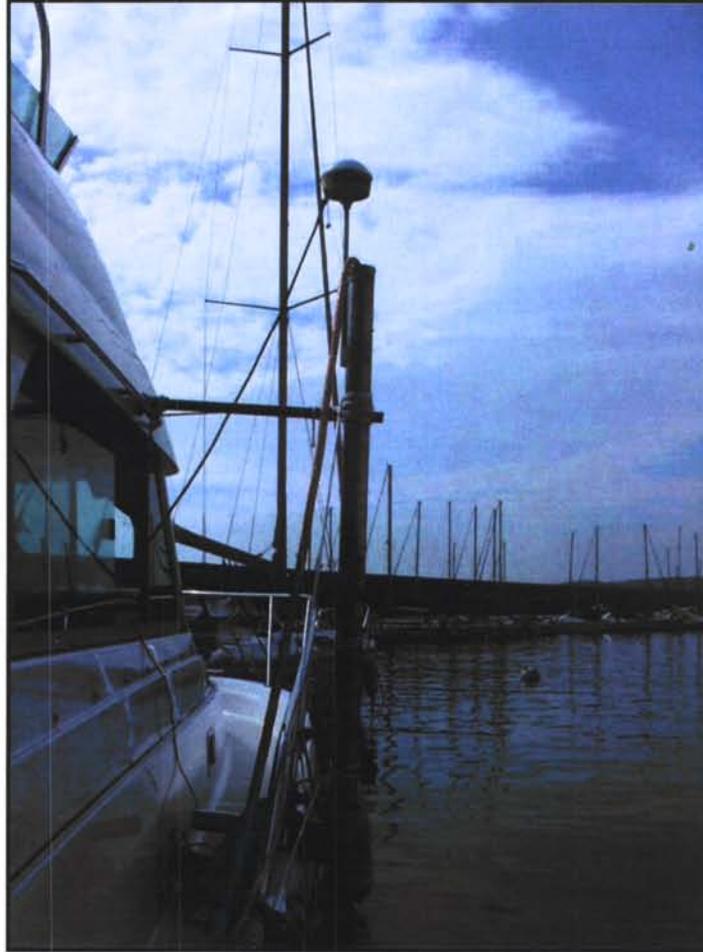


Figura I.15.: Transductor.

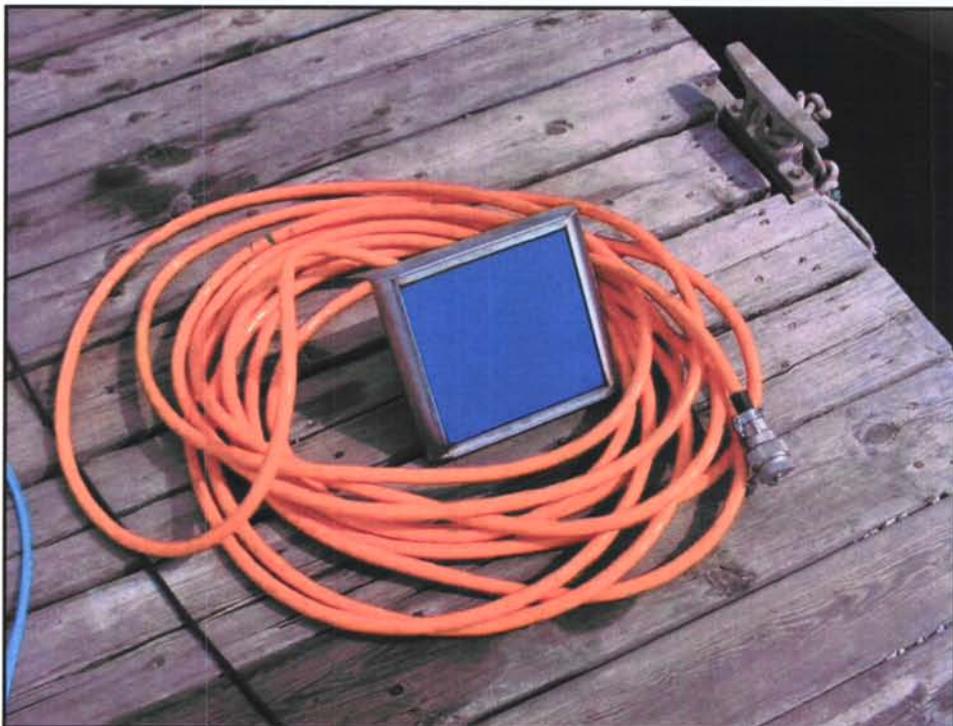


Figura I.16.: Transductor.

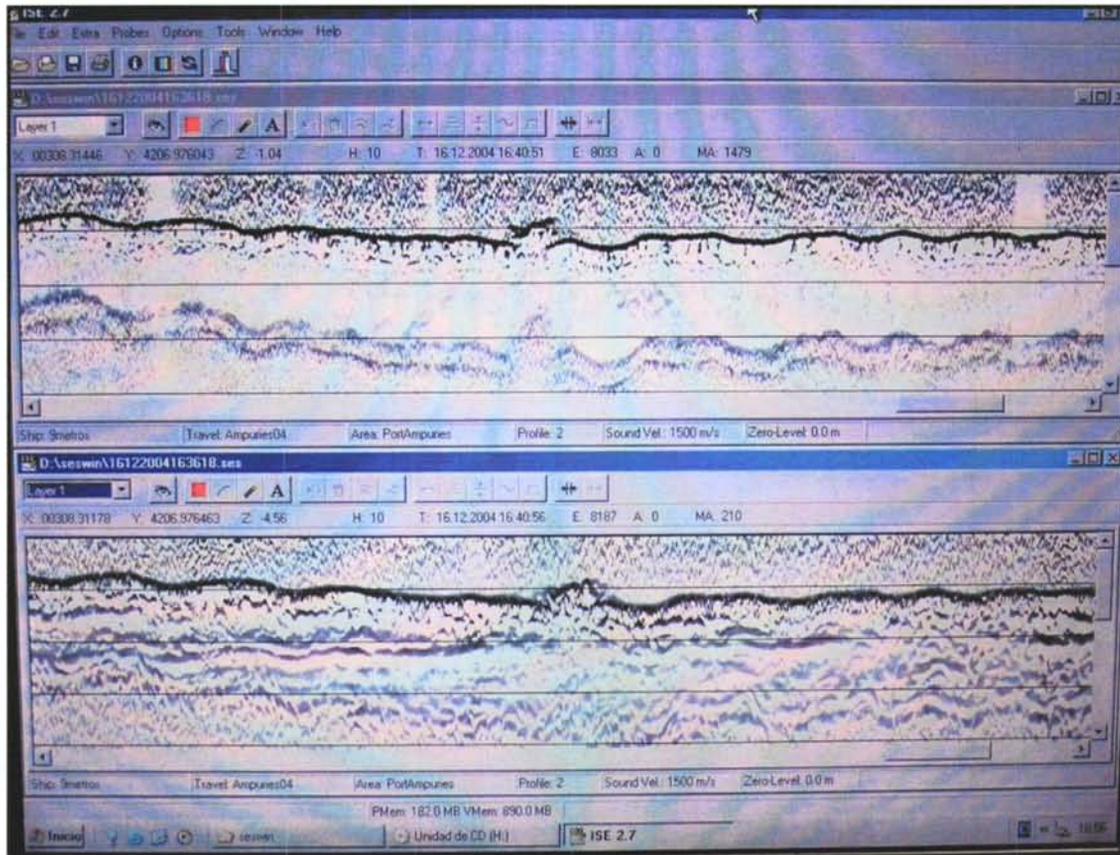


Figura I.17.: Software empleado para la adquisición y procesado de los datos obtenidos con la ecosonda paramétrica.

1.2. PLAN DE CAMPAÑA

La campaña geofísica (trabajo de campo) que se llevó a cabo para la obtención de los registros sísmicos de muy alta resolución (ecosonda paramétrica, geopulse y receptor alternativo para geopulse) se realizó el día 16 de diciembre de 2004, con una climatología adecuada y con el abrigo propio de la zona.

Se ha cubierto un total de aproximadamente **30 km** con *geopulse*, *receptor alternativo para geopulse* y *ecosonda paramétrica*. Se han obtenido perfiles sísmicos de muy alta resolución en digital junto con el registro magnético continuo de los datos de posición y las marcas (fixes) de referencia de los registros.

La zona se ha cubierto con un total de **64 líneas** realizadas 38 *geopulse* y receptor alternativo para *geopulse* y 26 de ellas con *ecosonda paramétrica*:

- GEOPULSE Y RECEPTOR ALTERNATIVO PARA GEOPULSE:

a) En principio se obtuvieron líneas a **200 julios**, con una mayor penetración y menor resolución. Se obtuvieron un total de **12 líneas**, abarcando una extensión lineal de aproximadamente **5,6 km**, todas ellas con dirección S-N-S (ANEXO: mapa de navegación y fixes del geopulse y receptor alternativo para geopulse (200J), Fig.I.18. y Tabla.I.2).

Los fixes se han tomado cada 30 metros aproximadamente. Estos son marcas que durante la toma de datos se insertan en el mismo instante en el registro de papel y en el registro continuo de navegación para así poder georeferenciar dicho registro de papel.



Figura I.18. Mapa de navegación y fixes del geopulse y receptor alternativo para geopulse a 200Julios.

LÍNEA	FIX COMIENZO LÍNEA	FIX FINAL LÍNEA	DIRECCIÓN	EXTENSIÓN (m)
35	1	17	S-N	480
28	18	33	N-S	450
36	34	49	S-N	450
28b	50	63	N-S	390
35b	64	78	S-N	420
30	79	95	N-S	480
37	98	114	S-N	480
32	115	132	N-S	510
39	133	149	S-N	480
34	150	166	N-S	480
41	167	183	S-N	480
36b	184	201	N-S	510

Tabla I.2. Tabla en la que se expone las líneas realizadas con geopulse y receptor alternativo para geopulse (200Julios), su dirección y su extensión (metros lineales cubiertos).

b) Para una mejor resolución se optó por adquirir los perfiles sísmicos a **100 julios**. Se obtuvieron un total de **26 líneas**, abarcando una extensión lineal de aproximadamente **12,52 km**. Se muestrearon 3 zonas, a las que denominaremos: *zona central* (equivalente a la muestreada con 200Julios), *zona norte* y *zona sur*.

- *Zona central*: Se realizaron **24 líneas** abarcando una zona de aproximadamente **10.2 km**. Con dirección **N-S-N** se realizaron **19 líneas**, abarcando un área de aproximadamente **9,13 km**. En esta misma zona, y transversales a las anteriores, se realizaron **5 líneas** con dirección **E-O-E** barriendo un total de **1,08 km** (ANEXO: mapa de navegación y fixes del geopulse y receptor alternativo para geopulse (100J), Fig.I.19. y Tabla.I.3).

- *Zona norte*: Se realizó una única línea con navegación libre, abarcando una extensión de **1530 metros** (ANEXO: mapa de navegación y fixes del geopulse y receptor alternativo para geopulse (100J), Fig.I.19. y Tabla.I.3).

- *Zona sur*: Se barrió la zona sólo con una línea muestreando un total de **780 metros** con navegación libre (ANEXO: mapa de navegación y fixes del geopulse y receptor alternativo para geopulse (100J), Fig.I.19. y Tabla.I.3).



Figura I.19. Mapa de navegación y fixes del geopulse y receptor alternativo para geopulse a 100Julios.

LÍNEA	FIX COMIENZO LÍNEA	FIX FINAL LÍNEA	DIRECCIÓN	EXTENSIÓN (m)
43	202	218	S-N	480
38	219	235	N-S	480
29	236	252	S-N	480
45	253	268	N-S	450
31	269	285	S-N	480
40	286	302	N-S	480
33	303	319	S-N	480
44	320	336	N-S	480
T5	337	344	O-E	210
T4	345	351	E-O	180
T3	352	358	O-E	180
T2	359	368	E-O	270
T1	369	377	O-E	240
42	378	394	N-S	480
28c	395	411	N-S	480
35c	422	438	S-N	480
30	439	454	N-S	450
37c	455	471	S-N	480
32c	472	489	N-S	510
39c	490	506	S-N	480
34c	507	522	N-S	450
41c	523	540	S-N	510
36c	541	557	N-S	480
42c	558	575	S-N	510
Z.norte	576	627	LIBRE	1530
Z.sur	628	654	LIBRE	780

Tabla I.3. Tabla en la que se expone las líneas realizadas con geopulse y receptor alternativo para geopulse (100Julios), su dirección y su extensión (metros lineales cubiertos).

- *ECOSONDA PARAMÉTRICA:*

Con la ecosonda paramétrica se obtuvieron un total de **26 líneas**, abarcando una extensión lineal de aproximadamente **11,6 km** y muestreando solo la zona central. Con dirección **N-S-N** se realizaron **18 líneas**, abarcando un área de aproximadamente **8,6 km**. En esta misma zona, y transversales a las anteriores, se realizaron **5 líneas** con dirección **E-O-E** barriando un total de **720 metros**, y por último con navegación libre se realizaron **3 líneas** barriando unos **2,2 km**. Los fixes se han tomado cada 30 metros aproximadamente (ANEXO: mapa de navegación y fixes de la ecosonda paramétrica, mapa de navegación y horas de la ecosonda paramétrica, Fig.I.20. y Tabla.I.4).

En el anexo se adjuntan dos mapas de navegación para la zona de estudio, por un lado con fixes, utilizado para los registros en papel y por otro con horas utilizado para los registros en digital.



Figura I.20. Mapa de navegación de ecosonda paramétrica.

LINEA	FIX COMIENZO LINEA	FIX FINAL LINEA	DIRECCIÓN	DISTANCIA (m)	HORA
28	655	669	N-S	420	12:55
28	670	686	N-S	480	13:10
38	689	705	S-N	480	13:16
30	706	722	N-S	480	13:22
40	723	739	S-N	480	13:28
32	740	756	N-S	480	13:34
42	757	774	S-N	510	13:40
34	777	794	N-S	510	13:46
44	795	810	S-N	450	13:51
36	811	827	N-S	480	13:58
43	828	844	S-N	480	14:03
35	845	861	N-S	480	14:09
41A	864	880	S-N	480	14:15
33	881	897	N-S	480	14:21
39	898	914	S-N	480	14:27
31	915	931	N-S	480	14:33
37	932	948	S-N	480	14:39
29	949	965	N-S	480	14:45
T5	966	969	E-O	90	14:49
T4	970	975	O-E	150	14:52
T3	976	982	E-O	180	14:55
T2	984	989	O-E	150	14:58
T1	992	997	E-O	150	15:01
l'est	999	1020	LIBRE	630	16:30
l'est	1021	1068	LIBRE	1410	16:36
l'est	1071	1078	LIBRE	210	16:41

Tabla I.4. Tabla en la que se expone las líneas realizadas con la ecosonda paramétrica, su dirección y su extensión (metros lineales cubiertos).

1.3. MÉTODO DE GABINETE

El método de trabajo que se ha llevado a cabo para la realización de las isopacas de espesor de sedimento no consolidado y para la identificación de los diferentes objetos que se presentan en el área de estudio, a partir de los datos obtenidos, se expone a continuación.

1.3.1. ELABORACIÓN DE LAS ISOPACAS DE SEDIMENTO NO CONSOLIDADO

Antes de iniciar los trabajos, se procedió a revisar cuidadosamente el emisor, con el fin de obtener un pulso lo más estrecho posible y así mejorar la resolución de los registros.

Aunque el sistema dispone de filtro electrónico que evita la distorsión de la información en los registros a causa del oleaje, se optó por no usarlo, ya que el oleaje en la zona durante la recogida de datos ha sido mínimo y el utilizarlo podría introducir distorsiones en los reflectores en caso de cambios rápidos en el fondo o zonas dragadas.

Dada la necesidad de alta resolución con penetración baja para los fines perseguidos se cubrió la zona con el sistema en recepción de 3,5KHz. Con él se han obtenido registros de mayor resolución tanto vertical como espacial, al producirse la emisión y recepción en vertical, desde el mismo soporte para ambos elementos.

Con las dos formas de recepción y gracias a que el procesador permite la grabación digital de las señales brutas ha sido posible reprocesarlas combinando diferentes parámetros de ganancia y filtros y poder diferenciar así, en algunas ocasiones, las estructuras sedimentarias someras y profundas.

Análisis sísmico

El análisis sísmico constituye un análisis de estratigrafía sísmica, permitiendo la definición de una secuencia deposicional. Se ha realizado un mapa de isopacas para el sedimento no consolidado, lo que ha permitido ver su distribución no sólo vertical sino también espacial a partir de los registros sísmicos obtenidos con geopulse y receptor alternativo para el geopulse.

El método de trabajo que se ha llevado a cabo para obtener el mapa de isopacas fue el siguiente:

1. Interpretación de los perfiles sísmicos.

Se ha definido e identificado la profundidad del basamento acústico, asumiendo que éste corresponde a una unidad más antigua, supuestamente consolidada y se ha medido para cada fix (cada 30 metros) el espesor del sedimento no consolidado a partir de los registros sísmicos obtenidos con geopulse y receptor alternativo para el geopulse. Se han interpretado y medido, en primer lugar, los registros sísmicos obtenidos con geopulse y posteriormente los adquiridos con el segundo método, cotejando los datos medidos con

éste último con el primero. Esto se ha realizado de este modo debido a la diferente penetración de los equipos.

Así mismo se han considerado los cambios bruscos más importantes en la morfología del basamento que no coinciden con los fixes, obteniéndose de esta forma un enmallado de datos de mayor precisión en el que quedan representadas las irregularidades del basamento así como los cambios de espesor de los sedimentos no consolidados.

2. Mapa de isopacas:

Con los datos obtenidos de las medidas anteriores y teniendo en cuenta que se ha considerado una velocidad de 1.600m/s como velocidad de propagación del sonido en sedimentos poco compactados y muy superficiales y para la velocidad de propagación del sonido en agua de mar, se ha considerado 1.500m/s (Tabla I.5. y I.6., tablas que se consultan para este tipo de trabajos Shieck y Sell, 1975; Díaz del Río, 1991, que dan rangos de valores para depósitos muy recientes), se ha realizado el mapa de isopacas. Este mapa ha sido procesado con el programa Surfer 8.0, utilizando un algoritmo del tipo "Natural Neighbor" comparándolo previamente con un algoritmo del tipo "Krigging", los cuales se han considerado los métodos más adecuados en base al tipo y distribución de los datos.

Los datos intermedios se han calculado con el programa ArcView 3.2, del que se ha elaborado una base de datos la cual se ha adjuntado a los datos medidos en los fixes.

Posteriormente se han valorado los resultados en base a las medidas realizadas y se han hecho las correcciones oportunas a fin de que el curvado obtenido se ajustase lo más posible a las estructuras geológicas observadas en el terreno. Por último se han realizado los mapas de isopacas en AutoCad para su entrega.

<i>Agua de mar: 1.500 m/s</i>
<i>Fangos muy superficiales: 1.550-1600 m/s</i>
<i>Fangos con arenas: 1.600-1.650 m/s</i>
<i>Arenas: 1.700 m/s</i>
<i>Arenas con gravas: 1.700-1.750 m/s</i>
<i>Arenas algo compactadas: 1.800 m/s</i>

Tabla I.5. Velocidades de propagación del sonido en diferentes materiales.

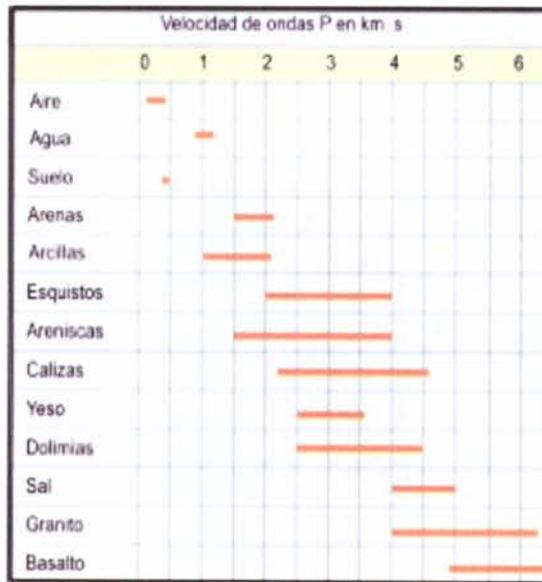


Tabla I.6. Velocidades de transmisión de ondas sísmicas longitudinales P en diferentes materiales.

1.3.2. ANÁLISIS DE LOS REGISTROS DE ECOSONDA PARAMÉTRICA PARA LA LOCALIZACIÓN DE OBJETOS ENTERRADOS

En primer lugar se ha realizado una interpretación de los perfiles sísmicos obtenidos con ecosonda paramétrica para obtener un estudio en conjunto de la zona de trabajo y así tener un conocimiento global de la misma.

En segundo lugar, y con más detalle puesto que es el objetivo de este trabajo, se han definido e identificado cada una serie de anomalías en los registros, en función de los siguientes criterios:

- Parábolas en profundidad.
- Reflectores intensos y de aspecto anómalo en profundidad.

Todas estas anomalías han sido estudiadas a detalle para eliminar su relación con la geología de la zona de estudio, así como comparadas con los registros obtenidos con receptor alternativo para geopulse para comparar métodos. No obstante los objetos o anomalías localizadas en profundidad siempre es más complicado descartar que sean debidos a la geología, o bien que formen parte de ella.

***2. DESCRIPCIÓN
GEOGRÁFICA Y
GEOLÓGICA DE LA ZONA
DE ESTUDIO***

2. DESCRIPCIÓN GEOGRÁFICA Y GEOLÓGICA DE LA ZONA DE ESTUDIO

En este apartado se describe tanto la localización geográfica como la geología del área de estudio.

2.1. DESCRIPCIÓN GEOGRÁFICA

La ciudad de Empúries (Ampurias) se encuentra en el término municipal de l'Escala, en la comarca del Alt Empordà, provincia de Girona (Cataluña), al NE de la Península Ibérica (Fig.II.1. y Fig.II.2).



Figura II.1. Encuadre geográfico del área de estudio.



Figura II.2. Vista aérea de L'Escaló con el conjunto arqueológico d'Empúries en primer plano (www.fantastic-emporda.com).

En el siglo VII aC los pobladores indígenas de esta zona costera habitaban en asentamientos situados en las elevaciones del terreno que sobresalían entre las marismas. Uno de estos asentamientos se ubicaba en un pequeño istmo donde se encuentra hoy en día el pueblo de Sant Martí d'Empúries (Fig.II.3).

Esta ciudad se sitúa en el Golf de Roses, junto a la enorme playa de Sant Pere Pescador. La playa se encuentra en el núcleo urbano de Sant Martí d'Empúries. Tras la playa hay una franja de pinar que le da un carácter más natural.



Fig.II.3. Fotografía aérea d'Empúries (www.mcu.es).

El atractivo primordial de la zona son las ruinas romanas. Bajo las aguas quedan construcciones como algunas estructuras portuarias de Empúries (Fig.II.4) o el poblado

neolítico de la Draga, en parte sumergido en el lago de Banyoles, que con una antigüedad de 7.000 años es el yacimiento subacuático más antiguo de Cataluña.

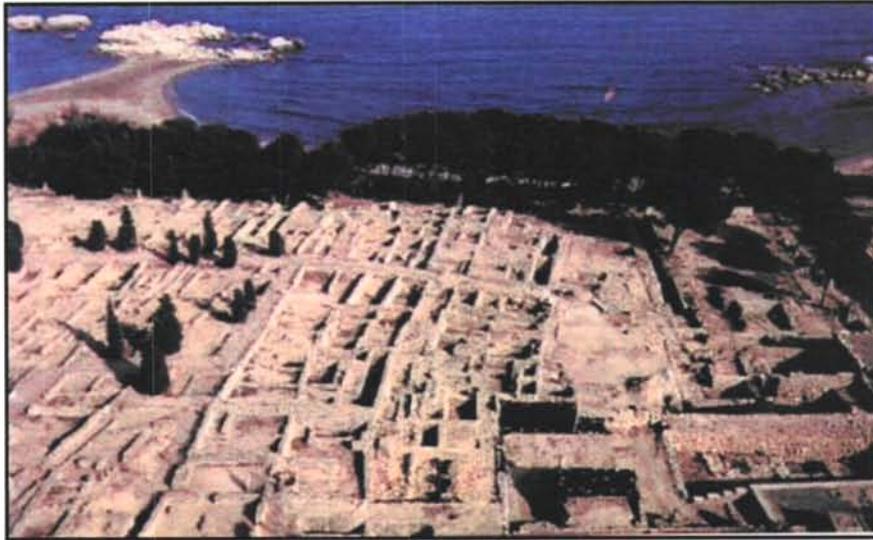


Fig. II.4. Conjunto arqueológico de Empúries.

La zona de estudio se encuentra en la zona d'Empuries, y ha sido muestreada en tres áreas: a) área norte, b) área central y c) área sur (Fig.II.5. y Fig.II.6.). Las coordenadas UTM de los vértices del polígono que envuelve la zona total son:

- 509900, 4665900;
- 510400, 4665900;
- 510400, 4664900;
- 509900, 4664900;

Las coordenadas de los vértices de las áreas muestreadas son las siguientes:

a) *Área norte:*

- 509800, 4665700;
- 510150, 4665700;
- 510150, 4665400;
- 509800, 4665400;

b) *Área central:*

- 509950, 4665400;
- 510250, 4665400;
- 510250, 4664900;

- 509950, 4664900;

c) *Área sur:*

- 510120, 4664640;

- 510320, 4664780;

- 510320, 4664640;

- 510120, 4664640;



Figura II.5. Zona de estudio y entorno de las distintas áreas en las que se ha dividido.

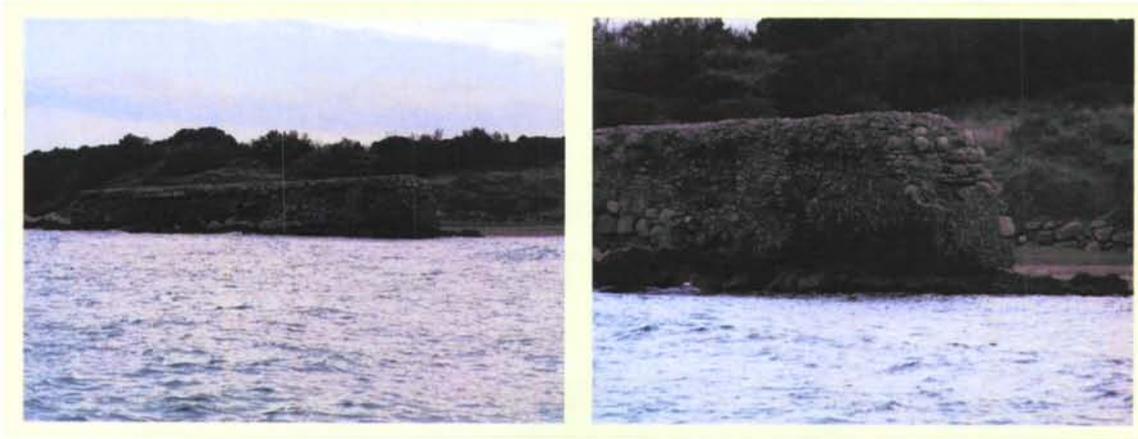


Figura II.6. Fotos realizadas durante la campaña de la zona de estudio.

2.2. DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA

2.2.1. ESTRATIGRAFIA

A continuación se detallarán los materiales que se encuentran en el entorno de la zona de estudio. Se adjunta un mapa geológico en el que se observan dichos materiales (Fig.II.7. y II.8.) (ITGE, 1994).

A. Mesozoico

Los materiales mesozoicos corresponden básicamente a formaciones Triásicas, Liásicas y Cretácicas. Se localizan afloramientos asociados al cabalgamiento de Montgrí. Estos materiales no afloran en el margen continental, si bien en la cuenca de Roses se puede diferenciar una unidad sísmica en el basamento, con características diferentes a las del basamento Pleozoico.

A.1. El Mesozoico en el ámbito terrestre

A.1.1. *Cretácico*

A.1.1.1. *Albaniense-Campaniense:*

Corresponde a una serie calcárea constituida por dos términos:

- El término basal, de edad Albeniense-Cenomaniense, formado por calizas ooesparíticas ocre y amarillentas, lateralmente algo nodulosas, y calizas grises con orbitolinas alternando con niveles algo margosos a techo.
- El término superior, de edad Cenomaniense-Santoniense, constituido por una serie alternante de calizas y calizas margosas de aspecto noduloso con intercalaciones margosas.

B. Cuaternario

B.1. El Cuaternario en el ámbito terrestre

Los depósitos cuaternarios están muy desarrollados, siendo los de origen fluvial los que presentan mayor extensión.

B.1.1.1. *Playas (25)*

En general, las playas del Empordà (L'Escala, bahía de Roses y Pal) se encuentran con costas bajas, rectilíneas, pantanosas, con cordones litorales de dunas. El límite morfológico del dominio continental con el marino está marcado por la berma de la playa; hacia el interior se encuentra con arenas finas con restos de conchas, troncos y estructuras de tipo "ripple", mientras que hacia el mar se desarrolla la playa propiamente dicha, constituida de arenas que presentan mayor tamaño de grano y menor grado de selección que las dunas (ITGE, 1994).

B.1.1.2. *Dunas (27)*

Existen dos tipos de depósitos dunares: a) fijos y b) litorales sin fijar; ambos con las mismas fuentes de origen y el mismo mecanismo generador (IGME, 1983). Las dunas fijas aparecen principalmente en un cordón que se extiende entre L'Escala y el Macizo de Montgrí. En general son arenas finas bien clasificadas, siendo sus componentes principales cuarzo, fragmentos de rocas metamórficas y biotita. Estas dunas presentan una morfología en forma de media luna y se desarrollan de sur a norte (IGME, 1983). Por otra parte, las dunas litorales constituyen una estrecha banda (aproximadamente de 60 m) paralelas a la línea de costa entre San Martí de Ampurias y San Pere pescador (IGME, 1983)

B.2. El Cuaternario en el margen continental

Holoceno

B.2.1.1. *Unidades opacas de alta amplitud (Q₁L₁)*

Las unidades litosísmicas opacas han sido identificadas en el prisma litoral, en las zonas de transición entre el prodelta proximal y la zona infralitoral distal, y en la plataforma externa. La respuesta acústica de alta amplitud se origina fundamentalmente por la alta reflectividad de los materiales arenosos de estos dominios. En la zona prodeltaica, esta unidad se acuña generalmente de manera brusca, aunque pueden dar paso también a otras unidades de carácter transparente o unidades estratificadas con reflectores inclinados.

En las zonas costeras, donde se localizan los ambientes de frente deltaico de los deltas del Ter y del Fluviá y Muga, con configuración de costa de transporte libre, el espesor de esta unidad es muy homogéneo, con una potencia máxima del orden de los 15 m frente a la desembocadura del Fluviá y de 10 m en las zonas adyacentes o en la zona del frente deltaico del Ter (MOPU, 1987).

B.2.1.2. *Unidades con reflectores discontinuos (Q₄p)*

Las unidades litosísmicas con reflectores discontinuos son el equivalente a las unidades afectadas por fenómenos gravitacionales (IGME, 1986; ITGE, 1989). Estas unidades corresponden a los materiales deformados por procesos de escurrimiento en los ambientes del prodelta medio del Ter y del Fluviá-Muga. El origen de estas unidades se debe a los fenómenos de inestabilidad sedimentaria característicos de estos ambientes, con altas tasas de acumulación (generalmente episódica), alto contenido en gas, abundante presencia de agua intersticial y con una pendiente deposicional importante.

2.2.2. GEOMORFOLOGÍA

A continuación se presentan los diferentes tipos morfológicos que se encuentran en el entorno del área de estudio, diferenciados en el dominio fisiográfico en el que se encuentran (Fig.II.7).

ZONA LITORAL

En el litoral, zona de interfase entre el mar y el continente que comprende desde el límite superior que alcanza el oleaje en tierra hasta el nivel inferior o base del oleaje se encuentran las tipologías siguientes: las costas abruptas, de tipo acantilado y rocoso, y las costas bajas, con playas curvilíneas abiertas, asociadas a llanuras deltaicas (ITGE, 1994).

*** Deltas**

Consisten en importantes acumulaciones sedimentarias formadas a partir de las acumulaciones de un río en su desembocadura al mar y constituyen la principal fuente de alimentación de materiales sólidos a las playas. Uno de los ríos con mayor influencia en la zona es el Muga, con 75 Km de recorrido.

Sistema deltaico de los ríos Muga y Fluviá

El delta del Muga y Fluviá está situado en la depresión neógena del Empordà, entre el macizo de Montgrí y el cabo de Creus. En esta zona se ha desarrollado una gran llanura deltaica (100 Km²) en la que se pueden diferenciar, en su parte central, 7 lagunas, y en la parte sur un campo de dunas tipo barján, dispuesto perpendicularmente a la línea de costa. La evolución de esta llanura es bastante compleja debido a los cambios en la situación de los cauces de ambos ríos. Esta evolución se complica aun más cerca de L'Escala por el desarrollo de un antiguo canal del Ter (Pallí, 1972).

PLATAFORMA CONTINENTAL

La plataforma continental es el dominio que se extiende entre el litoral y el borde de la plataforma, caracterizado por un aumento de la pendiente para dar paso al talud continental. La zona de estudio se caracteriza por la presencia de los prodeltas de los ríos Muga y Fluviá en el golfo de Roses que tiene 25 Km de longitud y una anchura que varía de 17 Km en el sector de las Islas Medas a 30 Km frente al golfo de Roses.

A continuación se describe brevemente, las principales características de las dos morfologías encontradas en la plataforma continental del área de estudio, así como su interpretación genética.

*** Prisma litoral**

El prisma litoral constituye un cuerpo deposicional en forma de cuña que marca la transición entre el dominio continental y el ámbito marino de la plataforma continental. En la zona comprendida entre l'Escale y L'Estartit, el prisma litoral tiene un desarrollo irregular, como consecuencia de la presencia de las estribaciones montañosas del Macizo de Montgrí.

*** Área de gas**

En los ambientes de prodelta de los ríos Muga y Fluviá, frente al golfo de Roses, se han identificado zonas en donde se produce una mayor absorción de la energía acústica (efecto "table"), originada por la presencia de acumulaciones de gas. Estas acumulaciones son muy frecuentes en los ambientes deposicionales donde se da una alta tasa de sedimentación (IGME, 1986; ITGE, 1989). El gas se forma a partir de la descomposición anaerobia de la materia orgánica transportado por los ríos.

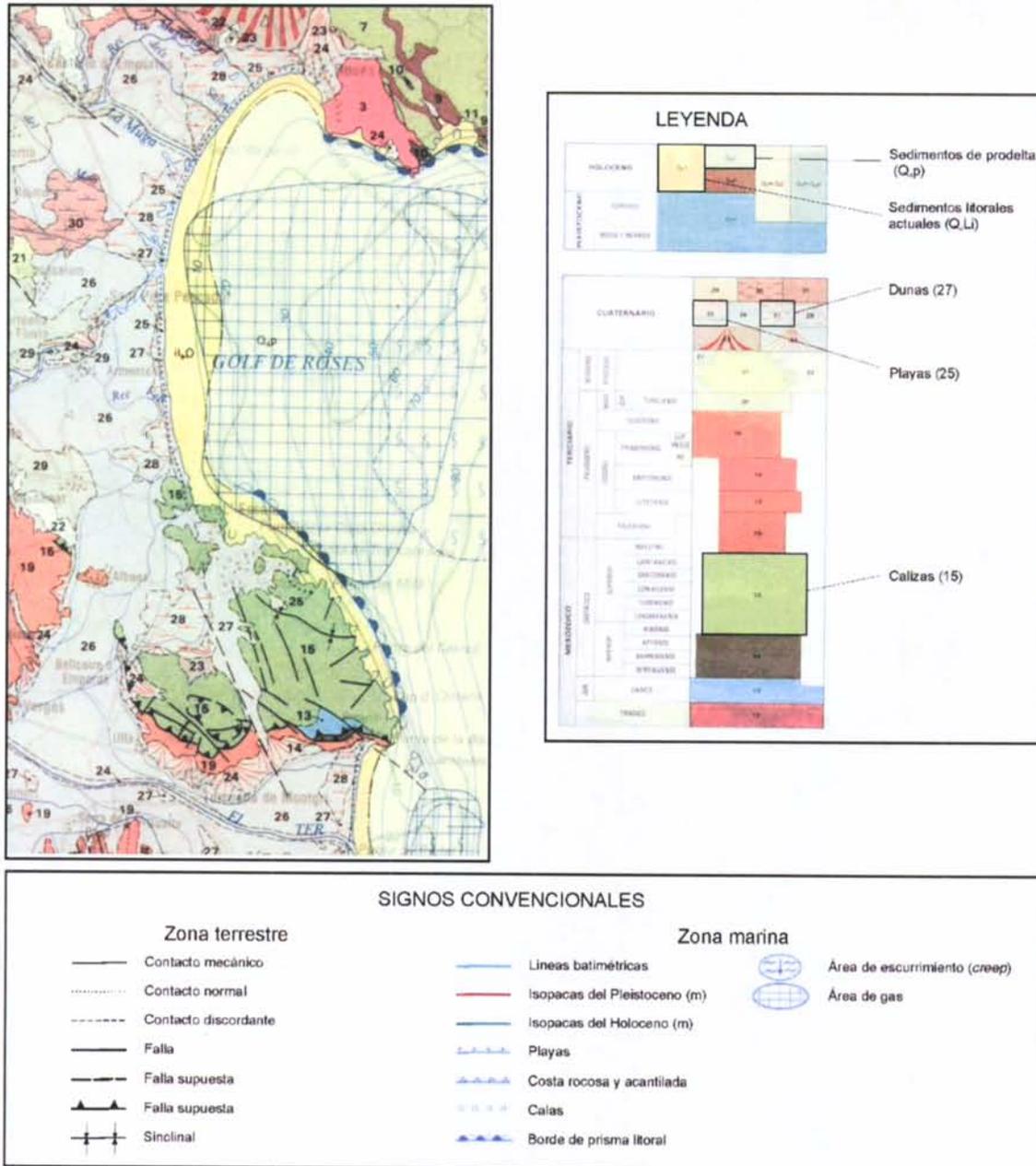


Figura II.7. Mapa geológico (ITGE, 1994).

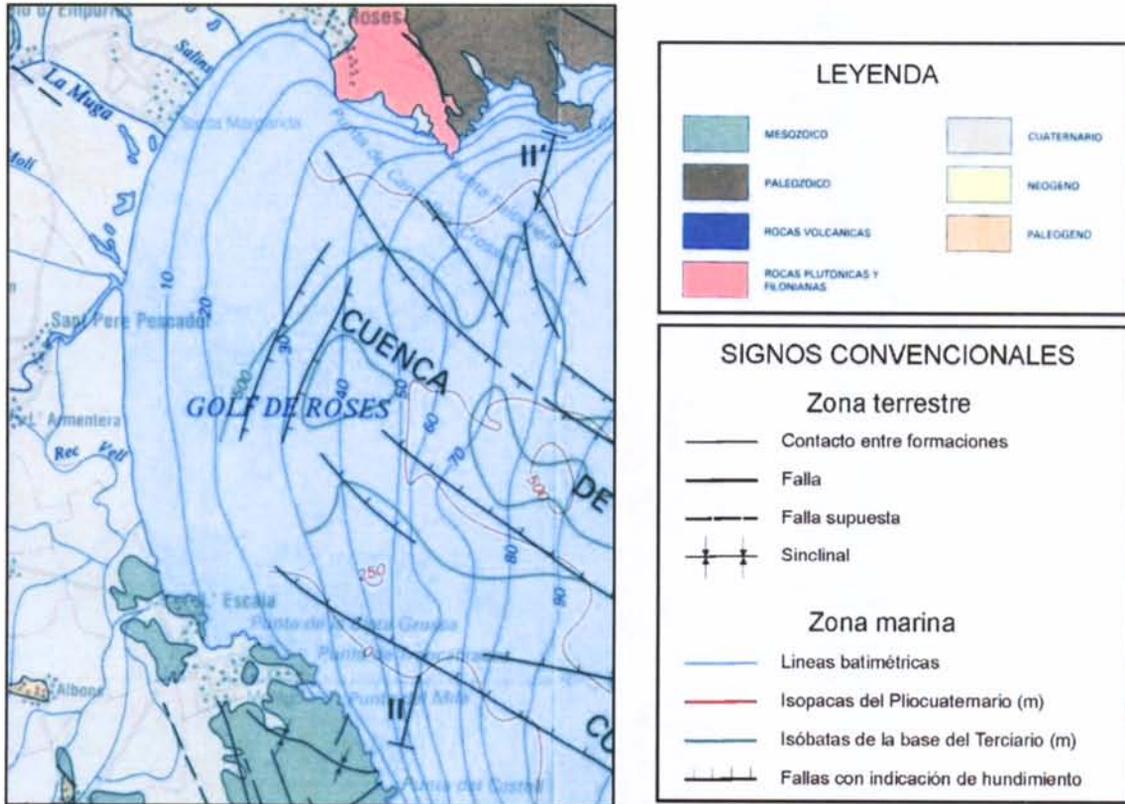


Figura II.8. Mapa morfoestructural (ITGE, 1994).

3. RESULTADOS

3. RESULTADOS

En este apartado se desarrollarán los resultados obtenidos con la interpretación de los perfiles sísmicos y batimétricos obtenidos para la elaboración de este trabajo.

3.1. DESCRIPCIÓN BATIMÉTRICA

Se ha realizado un análisis estadístico de los datos batimétricos (Tabla.III.1.) se observa que los valores de profundidad que se presentan en el parte central del área de estudio (zona más importante y de mayor enmallado de datos) alcanzan máximos de -5,9 metros y mínimos de -1,4 metros, con valores medios de -3,4 metros. Los valores que aparecen con mayor frecuencia (20,3%) se encuentran entre el intervalo $-2,9 \leq x < -2,4$ metros de profundidad, seguidos del intervalo $-3,4 \leq x < -2,9$ metros de profundidad con un 19,75%, mientras que los que aparecen con menos frecuencia (1,26% y 1,66%) se encuentran en los intervalos $-1,9 \leq x < -1,4$ y $-5,9 \leq x < -5,4$ respectivamente.

VARIABLE 1 (batimetría)		
INTERVALOS	FRECUENCIA	PORCENTAJES
-5.9000<=x<-5.4000	127	1,66
-5.4000<=x<-4.9000	518	6,77
-4.9000<=x<-4.4000	695	9,09
-4.4000<=x<-3.9000	763	9,98
-3.9000<=x<-3.4000	1185	15,49
-3.4000<=x<-2.9000	1511	19,75
-2.9000<=x<-2.4000	1553	20,30
-2.4000<=x<-1.9000	1201	15,70
-1.9000<=x<-1.4000	96	1,26
Missing	0	
TOTAL	7649	100

Tabla.III.1. Tabla de frecuencias y porcentajes de los datos batimétricos.

A partir del mapa batimétrico realizado para la zona de estudio (Fig.III.1. y Fig.III.2.) se observa de sur a norte los siguientes sectores:

- *SECTOR SUR*: Donde la profundidad aumenta hacia mar abierto, con valores cerca de costa de -2,2 metros y en la cuenca, al este, de -5,4 metros.
- *SECTOR CENTRAL*: Se observa que este sector la profundidad varía, como en el sector anterior, de oeste a este, pero de forma menos pronunciada y con una fisiografía más suave. Los valores cercanos a costa oscilan entre los -2,2 metros, mientras que en la parte más occidental la profundidad aumenta alcanzando los -4 metros.
- *SECTOR NORTE*: En éste sector, al igual que en los anteriores la profundidad aumenta a medida que se aleja de costa. Se observa un canal que se hace más profundo al E del sector, alcanzando valores que rondan los -5,8 metros, y al oeste de aproximadamente -3,4 metros. En la parte más al norte se encuentra un área menos profunda con valores entre los -2 y los -1,6 metros.

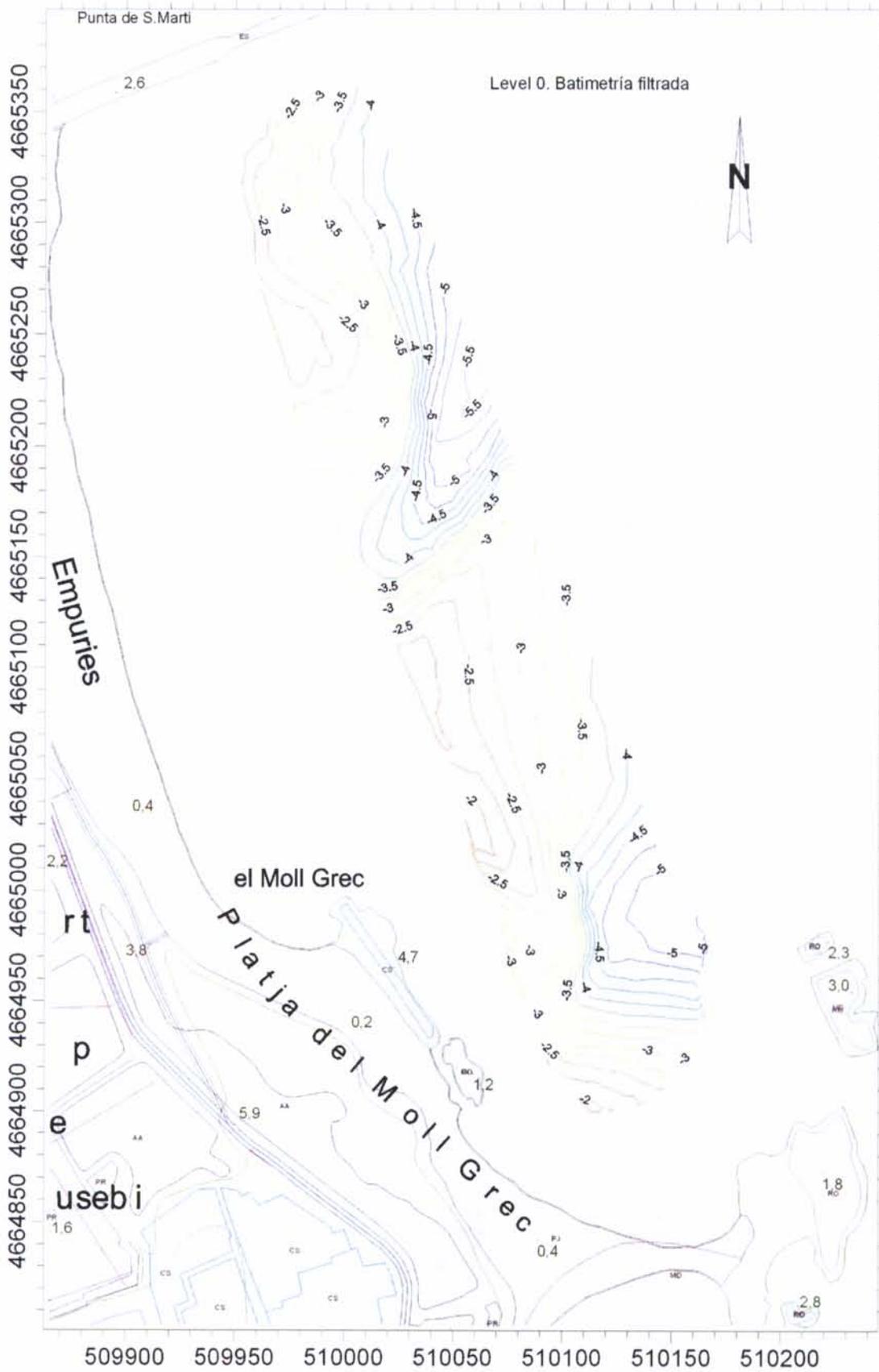


Figura.III.1. Mapa de batimetria de la zona de estudio.

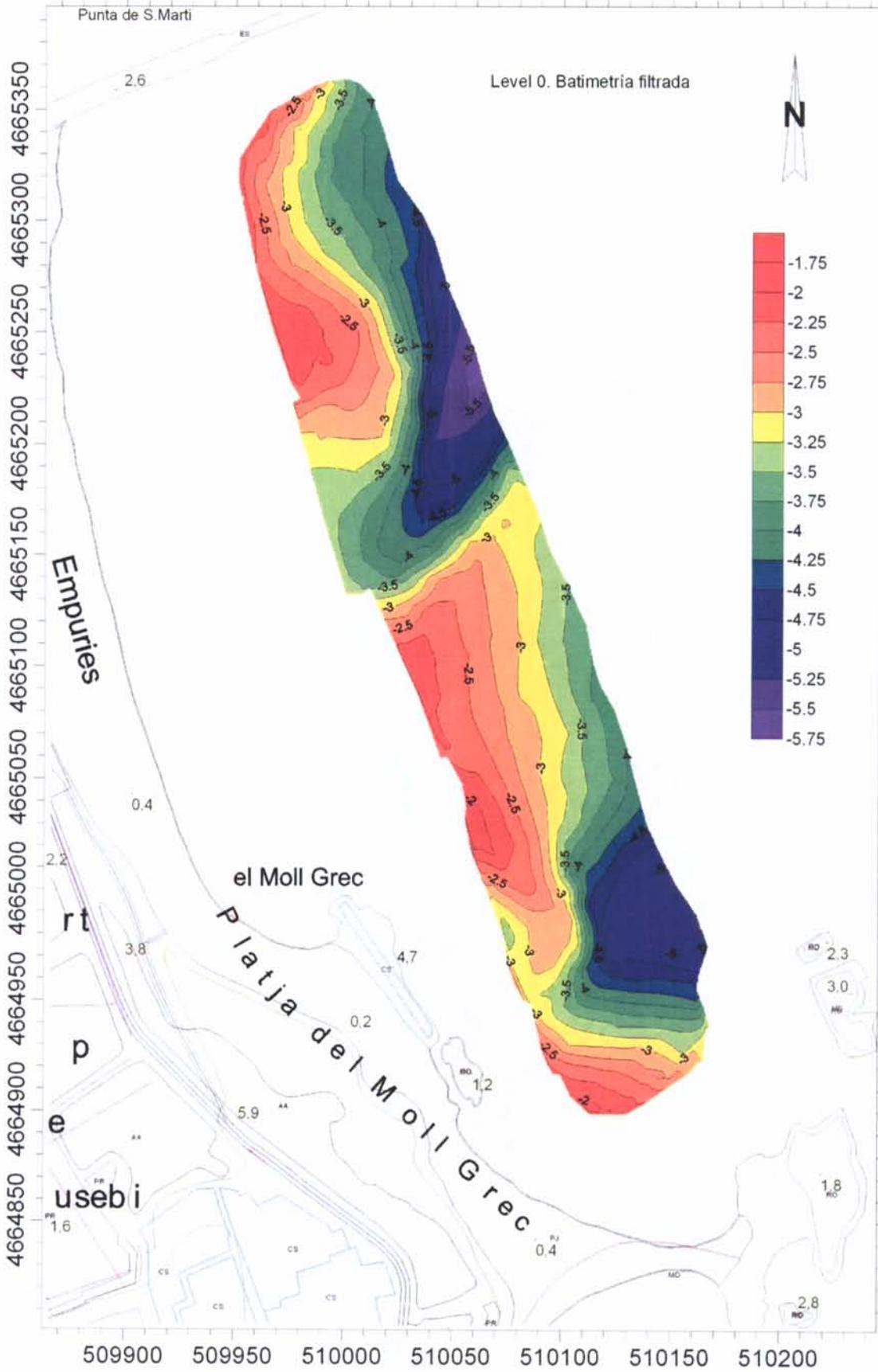


Figura.III.2. Mapa de batimetria de la zona de estudio con colores sólidos.

3.2. DESCRIPCIÓN DEL ESPESOR DE SEDIMENTO NO CONSOLIDADO

A continuación se describirán los datos de espesor de sedimento no consolidado para toda la zona de estudio, la cual dividiremos en tres zonas: a) *Zona central* (de mayor extensión y mayor enmallado de datos), b) *Zona norte* y c) *Zona sur*.

A. ZONA CENTRAL

A lo largo de esta zona central se observa que los valores de espesor de sedimento se encuentran en un rango entre 0 y 11,5 metros (Tabla III.2). El valor mínimo que presenta es de 0 metros y el máximo de 11,04 metros, con valores promedios de 6,6 metros de espesor de sedimento no consolidado para una velocidad de propagación del sonido en sedimento de 1.600 m/s. Los mayores porcentajes aparecen en el intervalo $8,5 \leq x < 9$ con un 16,10%, seguidos del intervalo $9 \leq x < 9,5$ con un 12,99%. Por otro lado, los menores porcentajes los muestran dos intervalos, ambos con un 0,56%: $3,5 \leq x < 4$ y $6,5 \leq x < 7$.

VARI (ISOPACAS)		
INTERVALOS	FRECUENCIAS	PORCENTAJES
0.0<=x<0.5	28	7,91
0.5<=x<1.0	10	2,82
1.0<=x<1.5	18	5,08
1.5<=x<2.0	4	1,13
2.0<=x<2.5	6	1,69
2.5<=x<3.0	6	1,69
3.0<=x<3.5	7	1,98
3.5<=x<4.0	2	0,56
4.0<=x<4.5	7	1,98
4.5<=x<5.0	4	1,13
5.0<=x<5.5	9	2,54
5.5<=x<6.0	15	4,24
6.0<=x<6.5	13	3,67
6.5<=x<7.0	2	0,56
7.00<=x<7.5	22	6,21
7.5<=x<8.0	34	9,60
8.0<=x<8.5	12	3,39
8.5<=x<9.0	57	16,10
9.0<=x<9.5	46	12,99
9.5<=x<10.0	22	6,21
10.0<=x<10.5	11	3,11
10.5<=x<11.0	15	4,24
11.0<=x<11.5	4	1,13
Missing	0	0,00
TOTAL	354	100,00

Tabla.III.2. Tabla de frecuencias y porcentajes de los datos de espesor de sedimento no consolidado (isopacas).

En las figuras III.3. y III.4. se observa la distribución espacial del espesor de sedimento no consolidado para una velocidad de propagación del sonido en sedimento de 1.600 m/s en la zona central del área de estudio. A continuación se describirá dicha distribución de S a N, dividiendo la misma en tres sectores: a) *Sector sur*, b) *Sector central* y c) *Sector norte* (Fig.III.5).

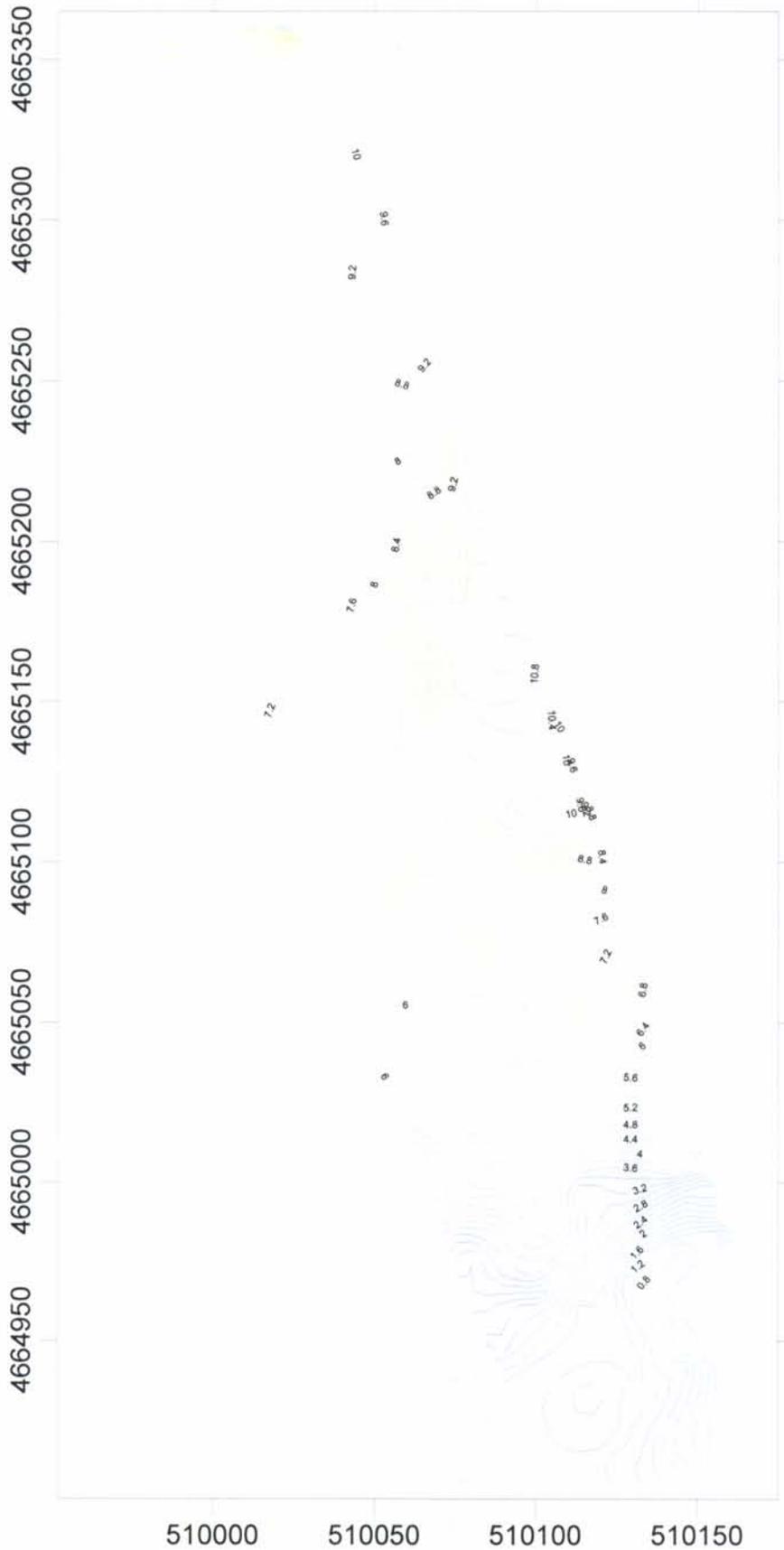


Figura.III.3. Mapa de espesor de sedimento no consolidado a 1.600 m/s (unidades en metros).

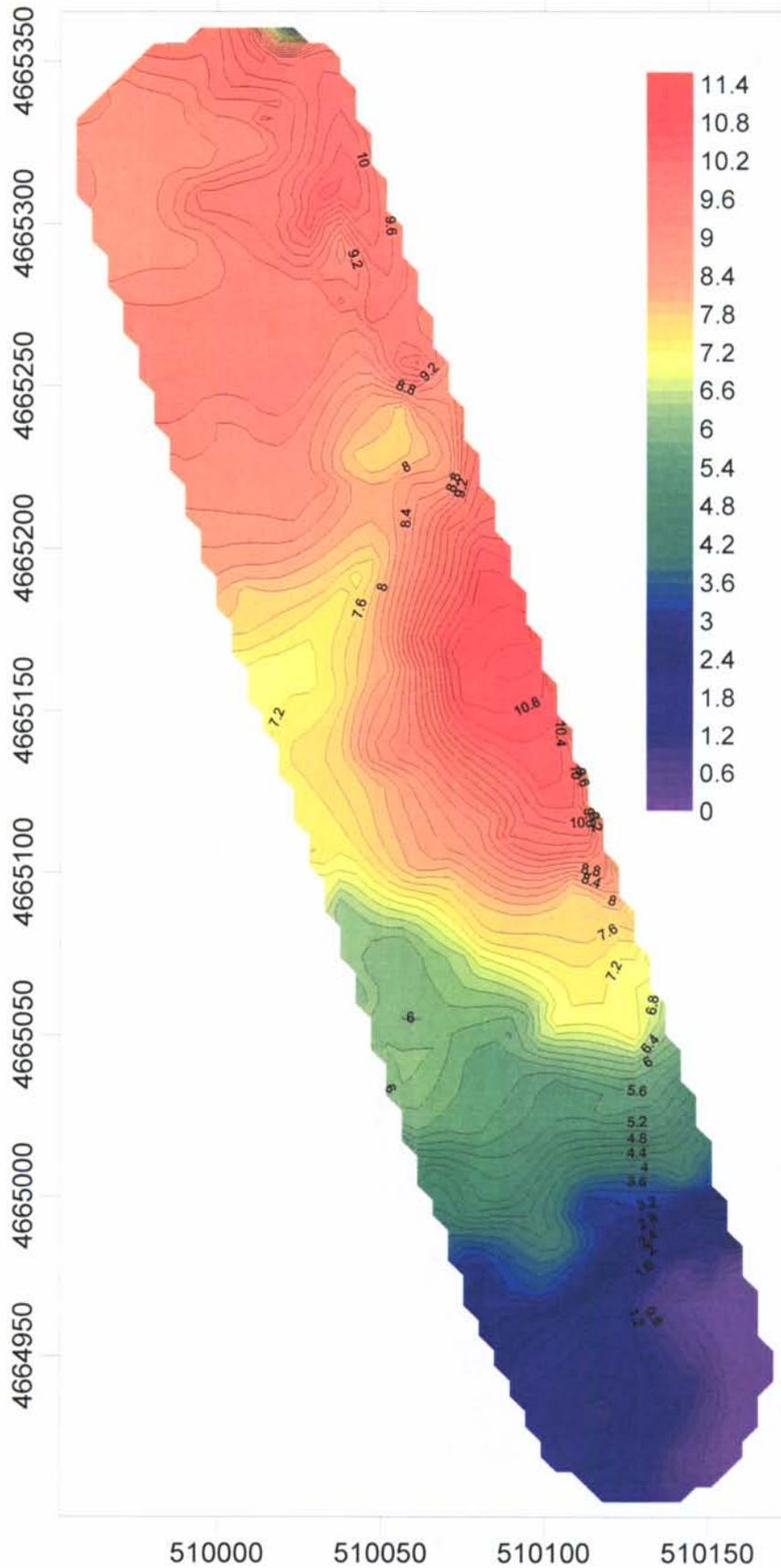


Figura.III.4. Mapa de espesor de sedimento no consolidado a 1.600 m/s (unidades en metros) en colores sólidos.

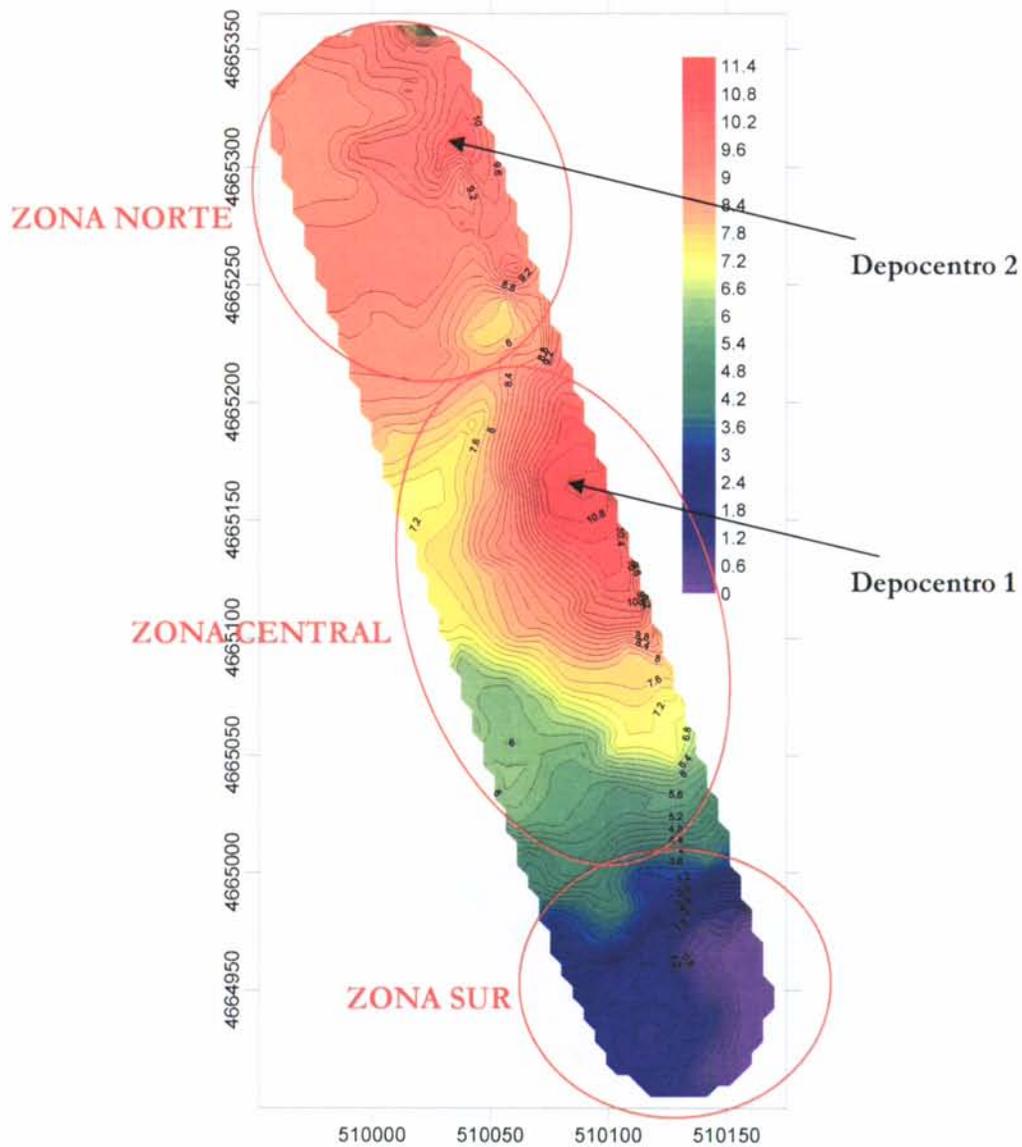


Figura.III.5. Sectores en los que se divide la zona central y depocentros localizados en dicha zona.

a) Sector Sur

Este es el sector donde aparecen los menores espesores de sedimento, llegando a alcanzar en la parte más meridional valores de 0 metros, apareciendo en este caso afloramientos del basamento acústico (Fig.III.6. y III.7.). El espesor de sedimento aumenta hacia el norte, como se observa en las figuras anteriores, hasta alcanzar valores de 3,6 metros. Hacia el este este valor también aumenta rondando los 1,6 metros (Fig.III.8). En la figura III.9 se muestra un corte transversal de este sector en el que se observa un afloramiento del basamento acústico que queda fuera de la zona de estudio, por lo que no se ha incluido estos datos en los mapas de isopacas de sedimento no consolidado.

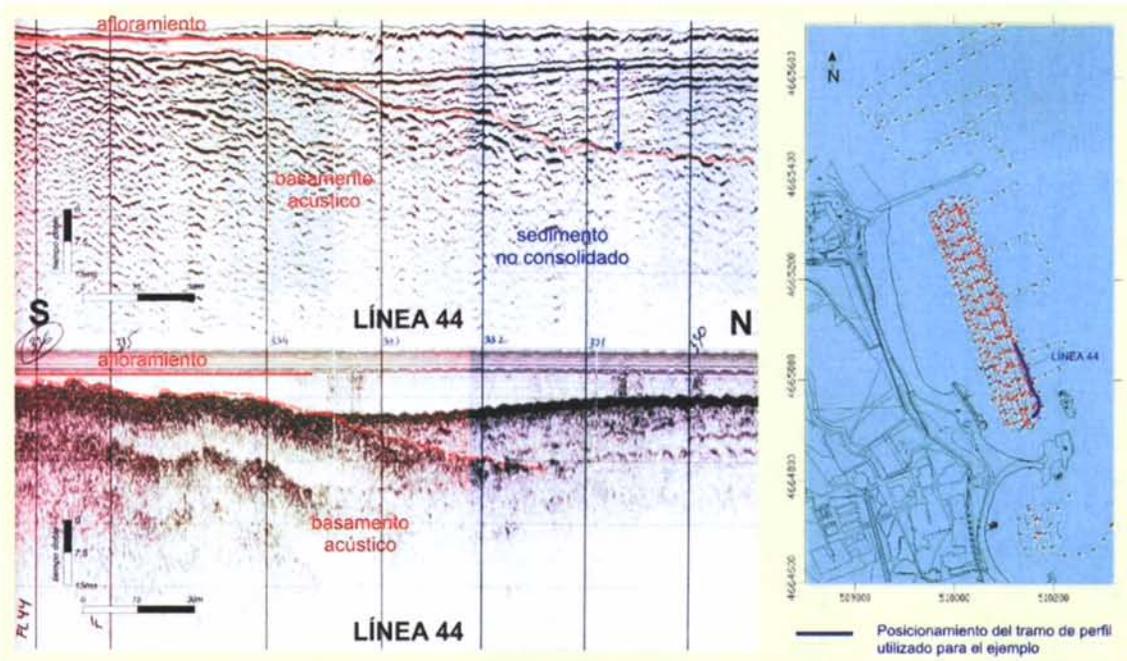


Figura.III.6. Perfil sísmico en el que se observa el afloramiento sur del basamento acústico y como aumenta el espesor de sedimento no consolidado hacia el norte. Arriba perfil sísmico obtenido con geopulse, abajo perfil sísmico obtenido con receptor alternativo para geopulse. LÍNEA 44, FIX: 330-336.

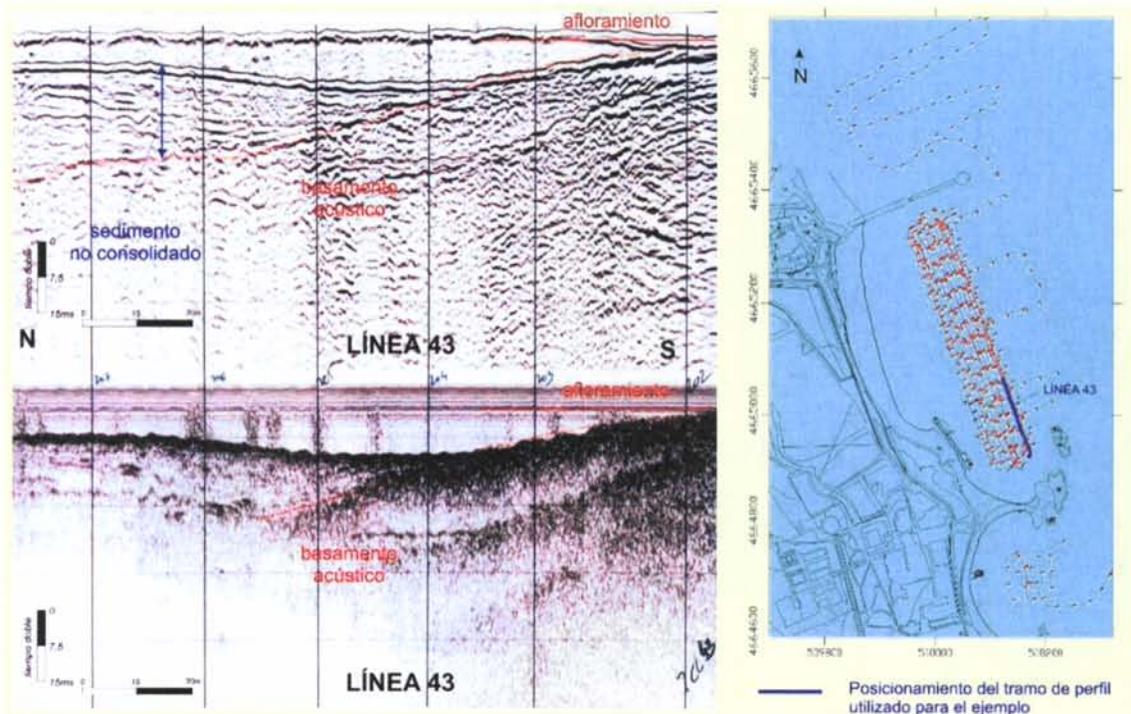


Figura.III.7. Perfil sísmico en el que se observa el afloramiento sur del basamento acústico y como aumenta el espesor de sedimento no consolidado hacia el norte. Arriba perfil sísmico obtenido con geopulse, abajo perfil sísmico obtenido con receptor alternativo para geopulse. LÍNEA 43, FIX: 202-207.

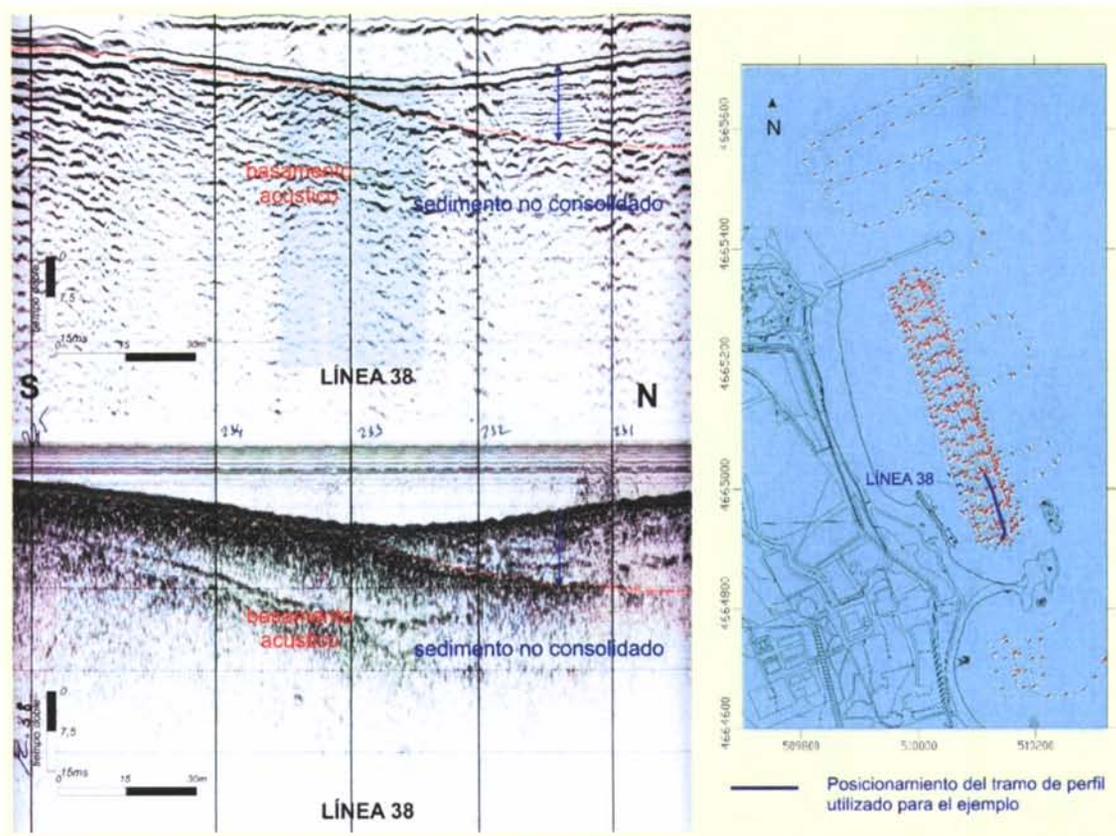


Figura.III.8. Perfil sísmico en el que se observa un mayor espesor de sedimento no consolidado hacia el norte y menor espesor al sur, junto al afloramiento del basamento acústico. Arriba perfil sísmico obtenido con geopulse, abajo perfil sísmico obtenido con receptor alternativo para geopulse. LINEA 38, FIX: 231-235.

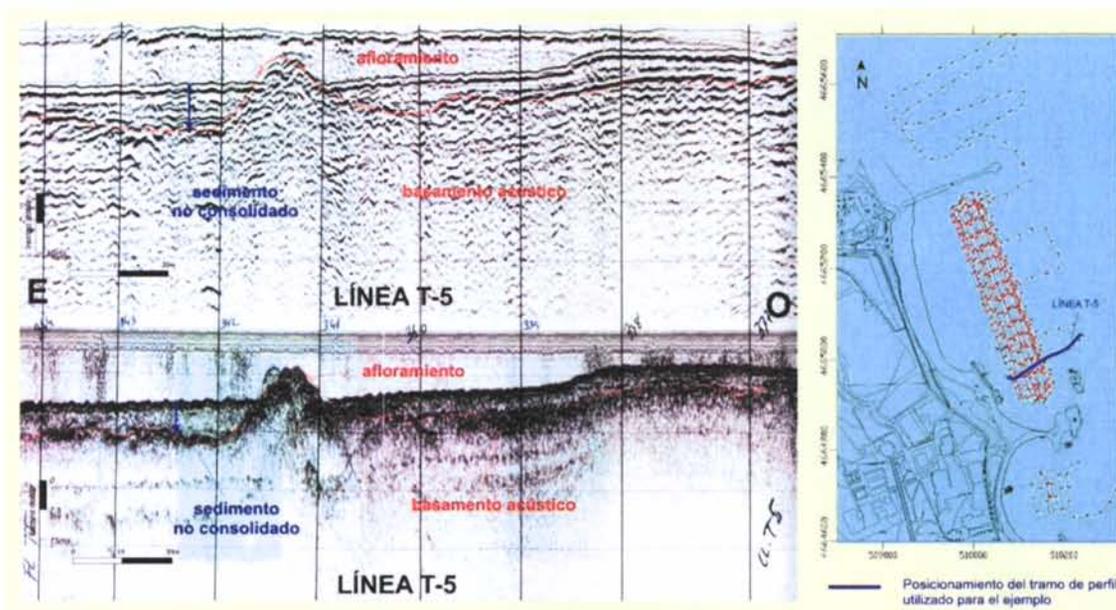


Figura.III.9. Perfil sísmico transversal en el que se observa el espesor de sedimento no consolidado. Se muestra también un afloramiento del basamento acústico al este. Arriba perfil sísmico obtenido con geopulse, abajo perfil sísmico obtenido con receptor alternativo para geopulse. LINEA T-5.

b) Sector central

En la parte más al sur de este sector los valores de espesor de sedimento varían de 3,6 metros a 6,8 metros de sur a norte, aumentando más acusadamente al este del sector que al oeste (Fig.III.10). a medida que se avanza hacia el norte los valores de espesor de sedimento no consolidado aumentan alcanzando los valores máximos de aproximadamente 11 metros (depocentro 1) al NE del sector central. Del NE al NO los valores disminuyen hasta los 7,2 metros. En la figura III.11 se muestra un perfil transversal de este sector.

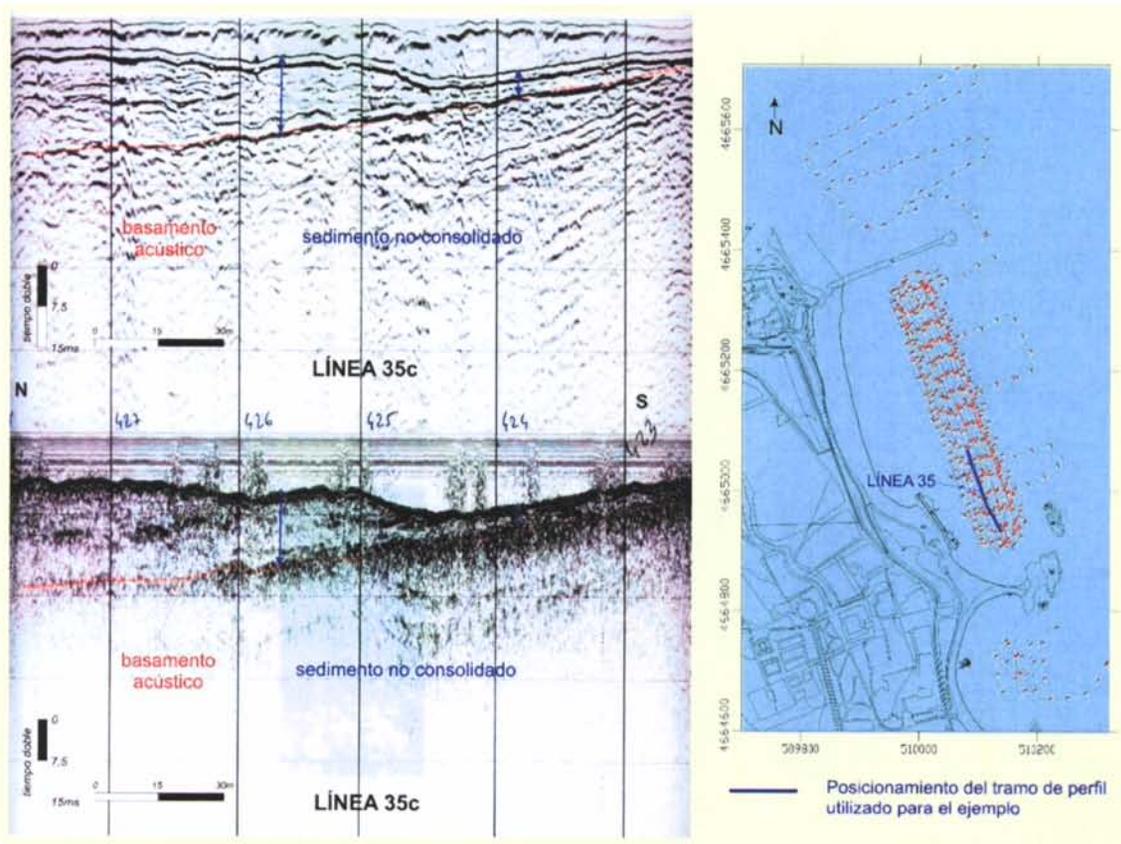


Figura.III.10. Perfil sísmico en el que se observa el espesor de sedimento no consolidado aumentando de sur a norte. Arriba perfil sísmico obtenido con geopulse, abajo perfil sísmico obtenido con receptor alternativo para geopulse. LINEA 35, FIX: 423-428.

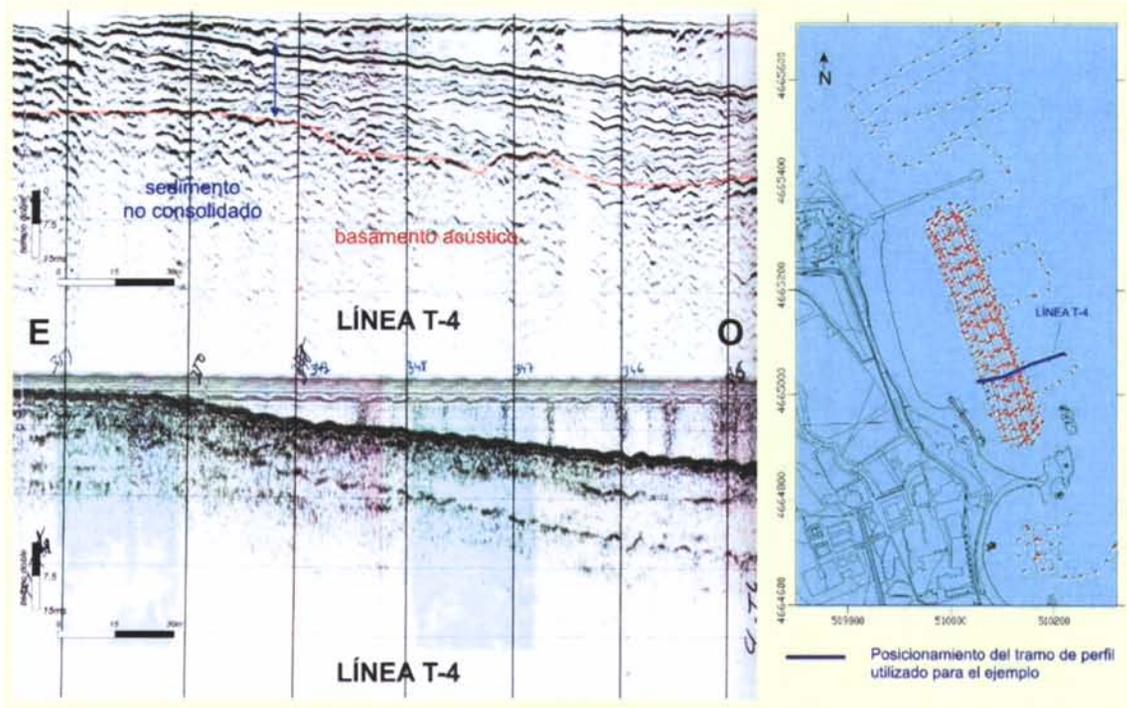


Figura.III.11. Perfil sísmico transversal en el que se observa el espesor de sedimento no consolidado. Arriba perfil sísmico obtenido con geopulse, abajo perfil sísmico obtenido con receptor alternativo para geopulse. LINEA T-4.

c) Sector norte

Los valores de isopacas de sedimento no consolidado en este sector varían entre los 8-9 metros, siendo más suaves al oeste (Fig.III.12.) que al este (Fig.III.13. y III.14.), donde aparece el depocentro 2 con 10, 4 metros de espesor, y otros depocentros menores con valores 9,2-9,4 metros. La figura III.15 muestra un perfil transversal de este sector.

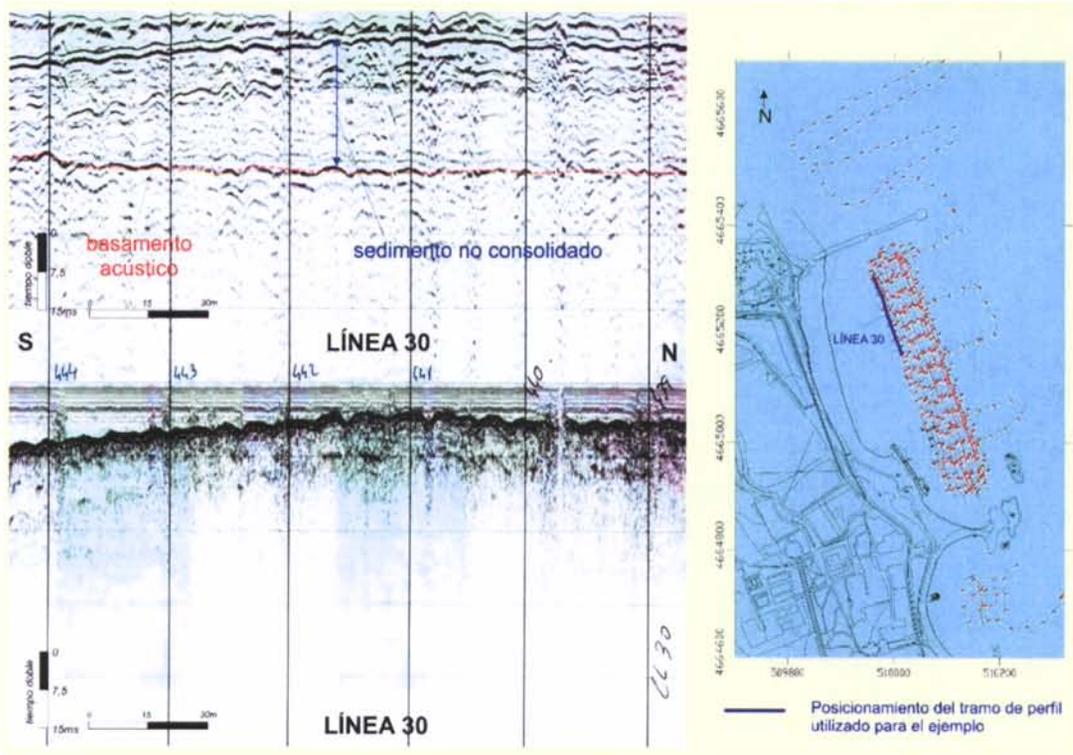


Figura.III.12. Perfil sísmico en el que se observa el espesor de sedimento no consolidado en la parte oeste del sector norte. Arriba perfil sísmico obtenido con geopulse, abajo perfil sísmico obtenido con receptor alternativo para geopulse. LÍNEA 30, FIX: 439-444.

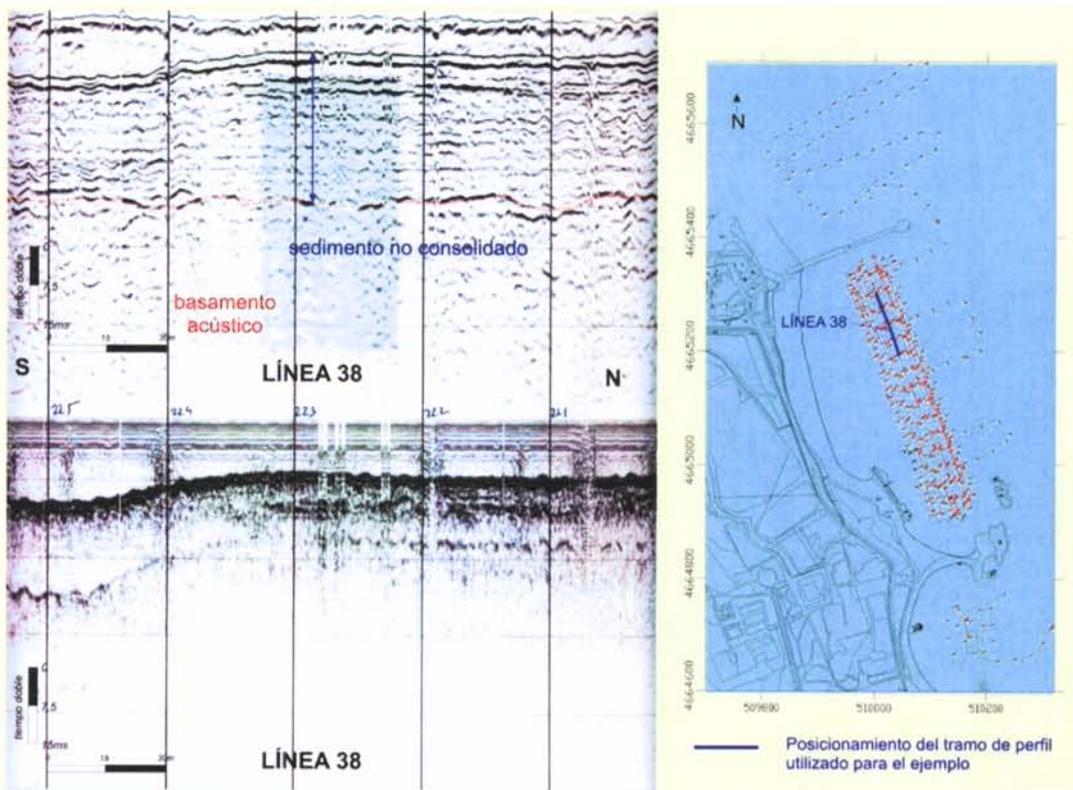


Figura.III.13. Perfil sísmico en el que se observa el espesor de sedimento no consolidado en la parte central-este del sector norte. Arriba perfil sísmico obtenido con geopulse, abajo perfil sísmico obtenido con receptor alternativo para geopulse. LÍNEA 38, FIX: 221-225.

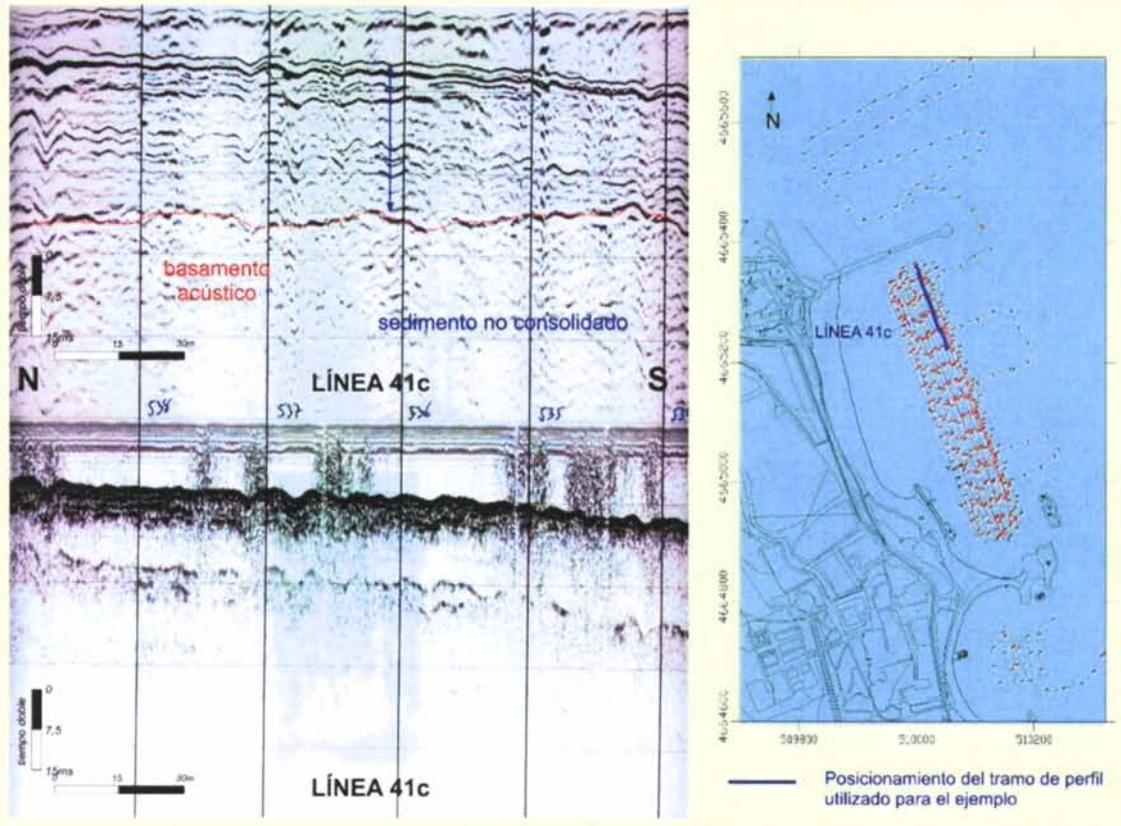


Figura.III.14. Perfil sísmico en el que se observa el espesor de sedimento no consolidado en la parte este del sector norte. Arriba perfil sísmico obtenido con geopulse, abajo perfil sísmico obtenido con receptor alternativo para geopulse. LINEA 41, FIX: 534-539.

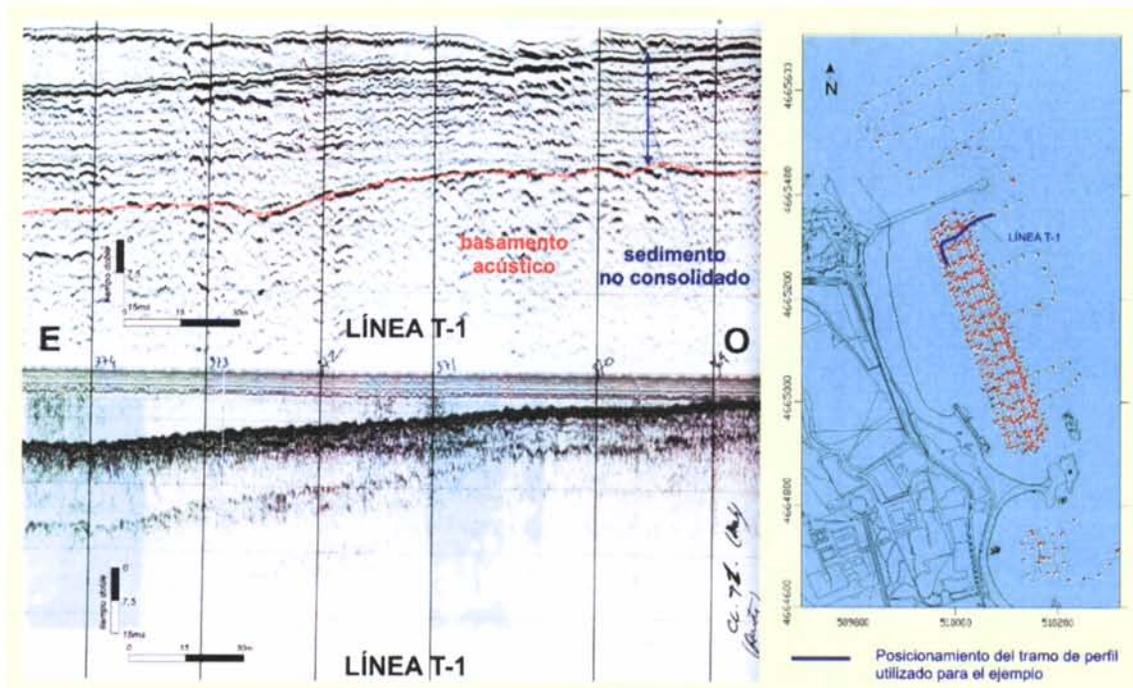


Figura.III.15. Perfil sísmico transversal en el que se observa el espesor de sedimento no consolidado en el sector norte. Arriba perfil sísmico obtenido con geopulse, abajo perfil sísmico obtenido con receptor alternativo para geopulse. LINEA T-1.

B. ZONA NORTE

En esta zona norte los valores de espesor de sedimento no consolidado varían entre 8 y 16,4 metros de espesor. En las figuras III.16. y III.17. se observa la distribución espacial del espesor de sedimento no consolidado para una velocidad de propagación del sonido en sedimento de 1.600 m/s en la zona norte del área de estudio. Como se aprecia en los mapas los valores menores encuentran al OSO, donde nos encontramos los valores menores (8 metros) aumentando en mayor media hacia el norte donde aparecen los espesores mayores (16,4 metros) y hacia el sur que rondan los 13-1 metros. En la figura figuras III.18. se muestra un ejemplo del espesor de sedimento encontrado en dicho área.

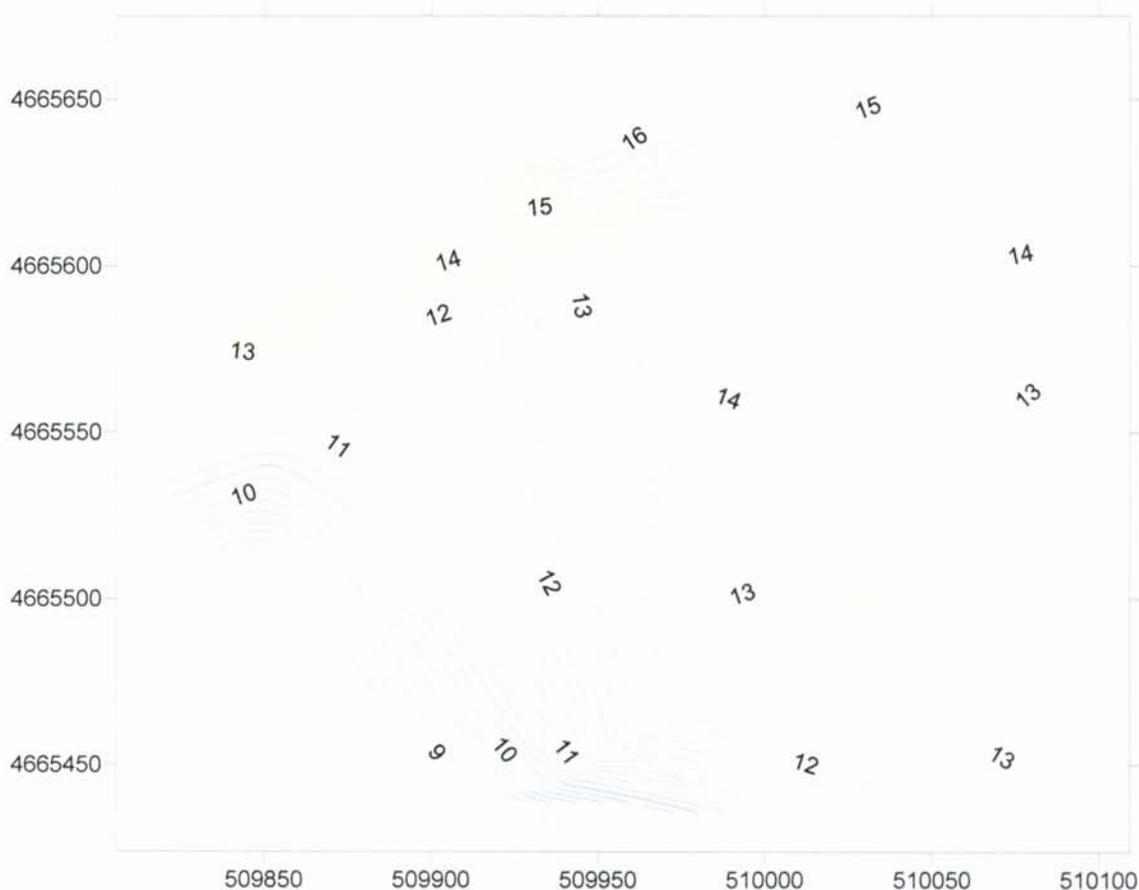


Figura.III.16. Mapa de espesor de sedimento no consolidado a 1.600 m/s (unidades en metros).

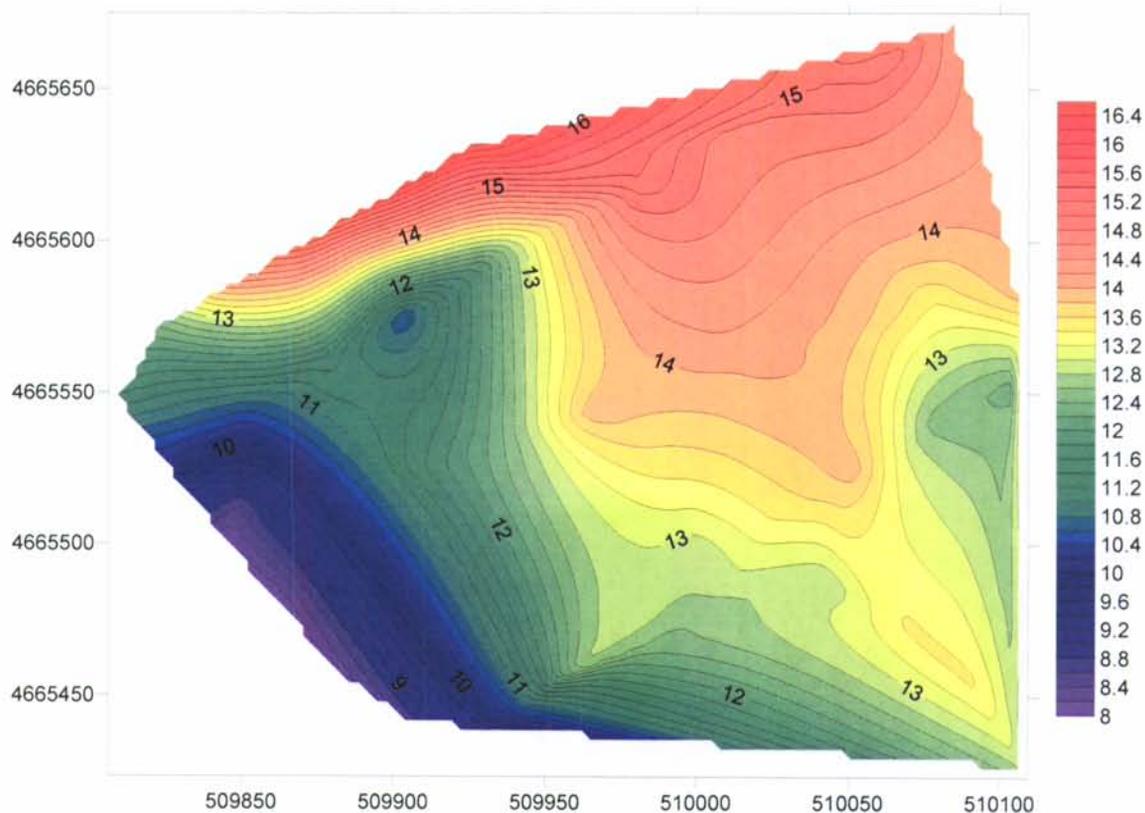


Figura.III.17. Mapa de espesor de sedimento no consolidado a 1.600 m/s (unidades en metros) en colores sólidos.

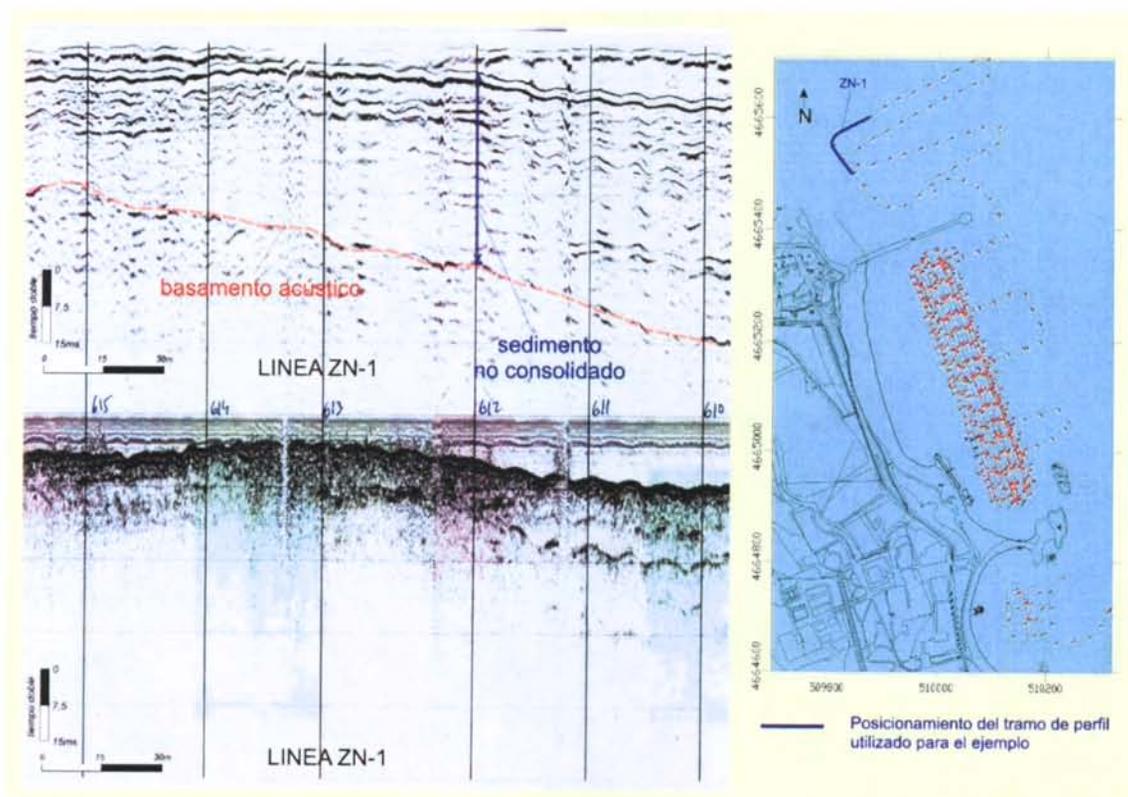


Figura.III.18. Perfil sísmico transversal en el que se observa el espesor de sedimento no consolidado en el sector norte. Arriba perfil sísmico obtenido con geopulse, abajo perfil sísmico obtenido con receptor alternativo para geopulse. LINEA T-1.

C. ZONA SUR

En la zona sur los valores de espesor de sedimento no consolidado varían entre y 16,4 metros de espesor. En las figuras III.19. y III.20. se observa la distribución espacial del espesor de sedimento no consolidado para una velocidad de propagación del sonido en sedimento de 1.600 m/s en la zona sur del área de estudio. Como se aprecia en los mapas los valores menores encuentran al oeste, donde nos encontramos con espesores de 0-2 metros, mientras que estos aumentan hacia el este hasta alcanzar los 7 metros de espesor de sedimento no consolidado. En la figura figuras III.21. se muestra un ejemplo del espesor de sedimento encontrado en dicho área.

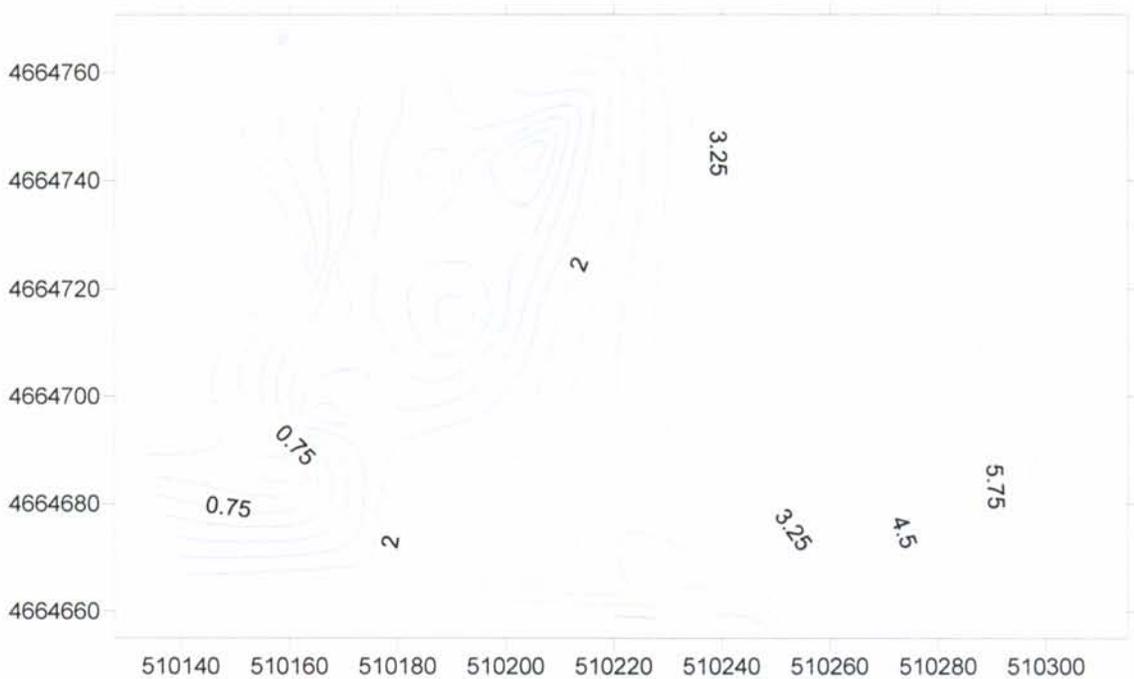


Figura.III.19. Mapa de espesor de sedimento no consolidado a 1.600 m/s (unidades en metros).

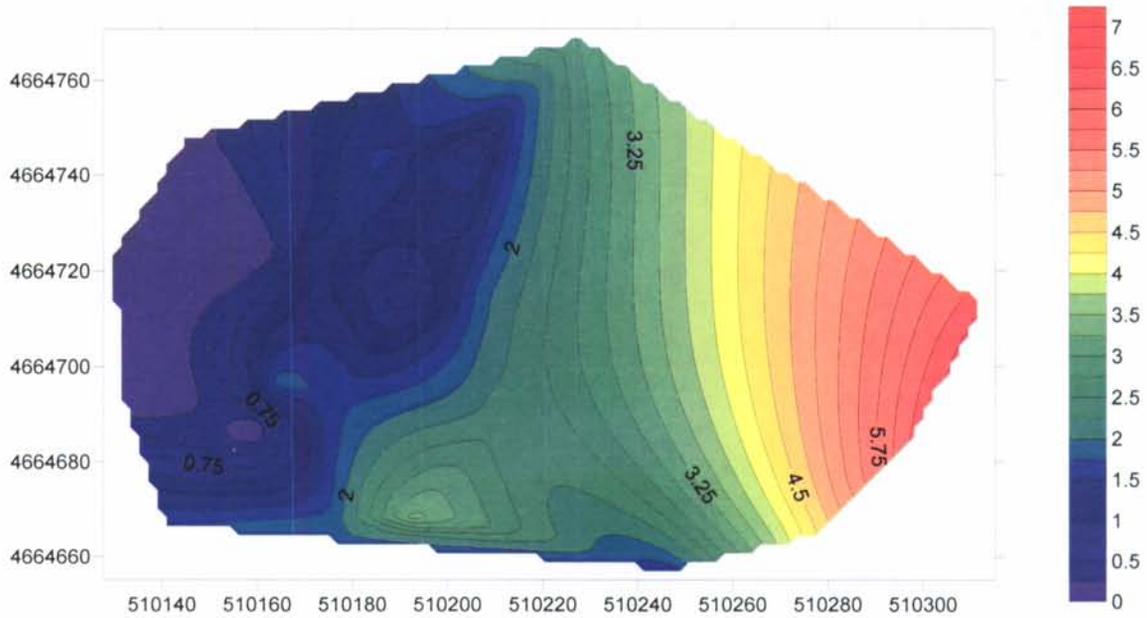


Figura.III.20. Mapa de espesor de sedimento no consolidado a 1.600 m/s (unidades en metros) en colores sólidos.

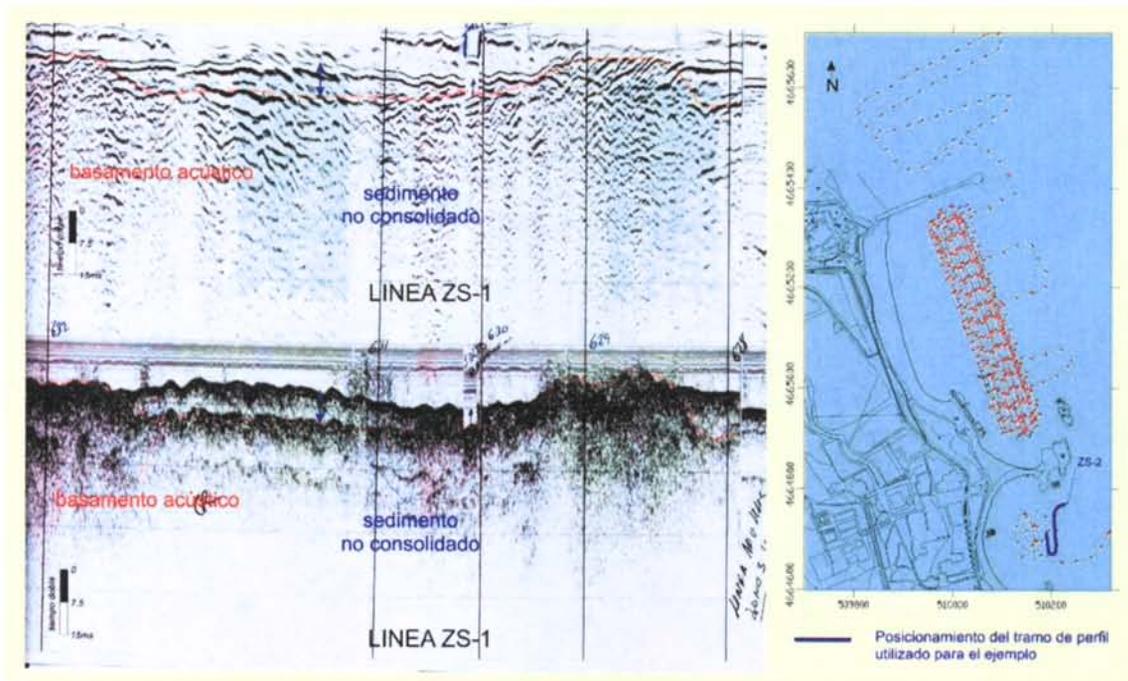


Figura.III.21. Perfil sísmico transversal en el que se observa el espesor de sedimento no consolidado en el sector sur. Arriba perfil sísmico obtenido con geopulse, abajo perfil sísmico obtenido con receptor alternativo para geopulse. LINEA ZS-1.

3.3. DESCRIPCIÓN DEL BASAMENTO ACÚSTICO

La profundidad del basamento acústico se ha estudiado a detalle para la zona de espacial interés (Fig.III.22), ya que han sido realizadas con el método de la ecosonda paramétrica, y dicho método no penetra a medida que esta profundidad aumenta.

Se observa que el basamento acústico se encuentra entre profundidades de -1,75 a -9,25 metros. Estas profundidades son menores al sur de la zona, rondando los -1,75 metros has los -4 metros. A medida que se avanza hacia el norte las profundidades aumentan hasta alcanzar valores de aproximadamente -9 metros.

En las figura III.23. y II.24. se muestra el basamento acústico interpretado en la ecosonda paramétrica.

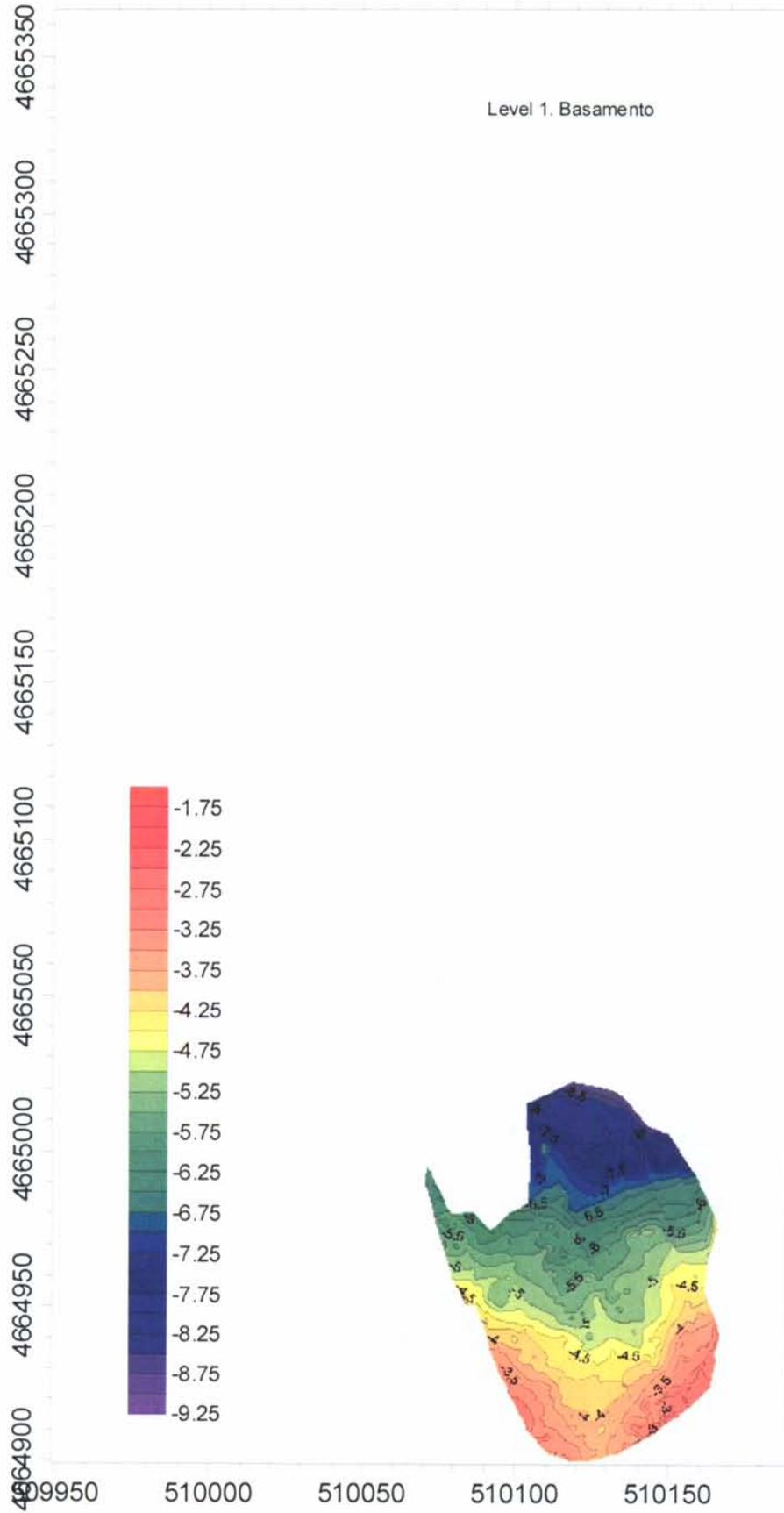


Figura.III.22. Mapa de isóbatas de basamento acústico (unidades en metros).

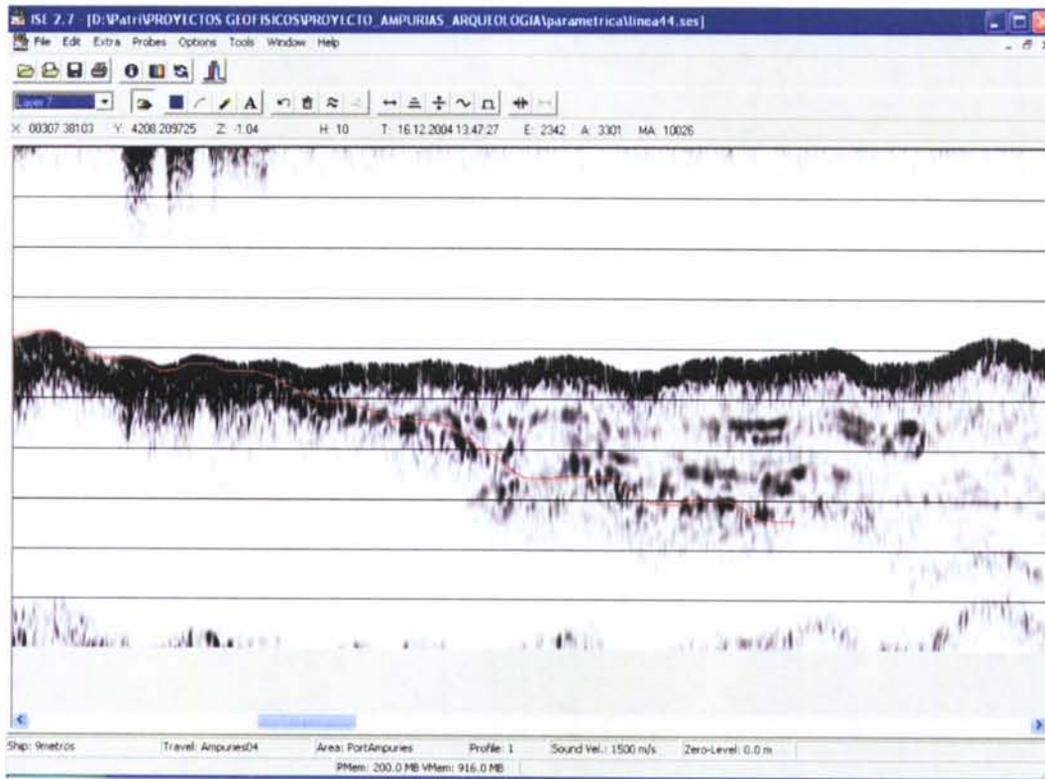


Figura.III.23. A. Perfil sísmico obtenido con ecosonda paramétrica en el que se observa el basamento acústico. Se aprecia que a medida que la profundidad aumenta este sistema no penetra en las arenas. LINEA 44.

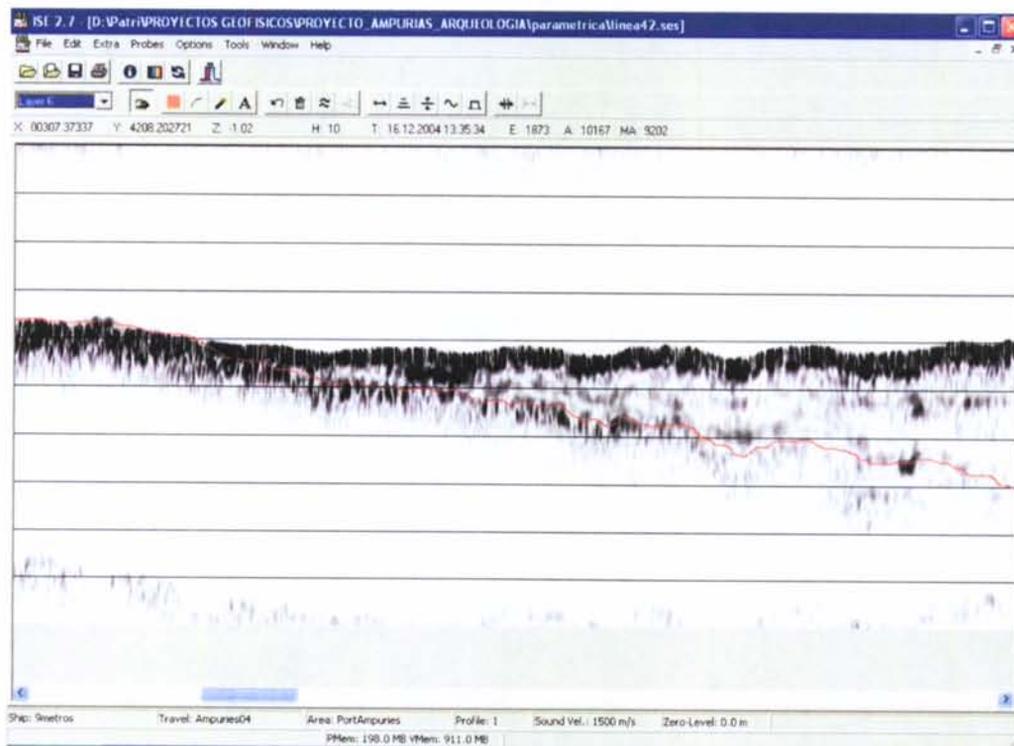


Figura.III.24. A. Perfil sísmico obtenido con ecosonda paramétrica en el que se observa el basamento acústico. Se aprecia que a medida que la profundidad aumenta este sistema no penetra en las arenas. LINEA 44.

3.4. CONCLUSIONES

Tras analizar los datos obtenidos se llega a las siguientes conclusiones para las diferentes técnicas empleadas:

- **GPSD Trimble DSM12** con correcciones por radiofaros.- Se valora adecuado para el estudio geofísico pero inadecuado para el de detalle, dado que con este sistema se obtienen precisiones en torno al metro, y lo que se busca en este estudio es de medida inferior. Por ello se determina que en este tipo de estudios, de máximo detalle, hay que emplear RTK.
- **Sísmica.**- En principio el planteamiento empleado, en el que se optó por la utilización del geopulse estándar y el 3,5 KHz o receptor alternativo para geopulse se confirma como válido. El primero de ellos da una información geológica de la zona de estudio, que ha dado lugar a la elaboración de los mapas de isopacas de espesor de sedimento no consolidado y a la geología general de la zona de estudio, donde se describe la distribución de los afloramientos y zonas de depósito. El segundo, apoya al primer método con menor alcance y mayor detalle. Al haber arenas el geopulse ha aportado información completa del basamento y el segundo ha detallado las capas superiores, aunque ha sido incapaz de alcanzar el basamento en las zonas con mayor espesor de arenas. Con ello este sistema se sigue considerando necesario para disponer de la información geológica, imprescindible para determinar anomalías en ella.
- **Ecosonda Paramétrica.**- Aunque no se esperaba gran cosa de ella, dada la cobertura de arenas y la capa intermedia de arcilla, ha sido la que ha permitido ver con detalle los elementos de las zonas más someras, que son las de mayor interés. Por término medio se han alcanzado penetraciones en torno a los 3-4 metros, en gran parte limitada por la múltiple. Con ella se ha diferenciado en la zona de especial interés el basamento acústico así como los diferentes elementos distribuidos en las capas superiores. Ha sido muy difícil diferenciar los elementos situados sobre el basamento acústico, ya que pueden estar erosionados y confundirse con el mismo. Para un mayor detalle en el estudio el enmallado debería

hacerse muy fino, con perfiles más próximos que puedan definir las distintas estructuras discontinuas del terreno. Ha existido otra dificultad debida al oleaje existente en el momento de la toma de datos, que ondula de forma no real el terreno y es difícil diferenciar estructuras.

Este sistema se llevó de añadido y como se ha observado al realizar la interpretación no se utilizó de una forma totalmente correcta, ya que por un lado, no se aplicó sensor de movimiento para corregir el oleaje y por otro, dado que es un sistema de muy alta resolución se debería haber utilizado con un sistema diferencial de precisión (RTK), pues con el empleado se dan posiciones con datos contradictorios.

- **Sonar de Barrido Lateral.**- No se utilizó apenas, nada en la zona de interés. Se piensa que aunque no aporte datos directos en estos casos, su utilización es importante, pues sirve para confirmar afloramientos y morfología de la zona en general, con lo que mejora el estudio geofísico.

Metodología empleada en el estudio de detalle

Con la interpretación realizada con el software ISE2 (programa de interpretación de la paramétrica) se han obtenido los espesores de las diferentes capas, pues el oleaje afecta por igual a todas ellas, a partir de la línea de fondo sin filtrar.

La batimetría se ha filtrado para eliminar el oleaje en forma estimada, por lo que se pueden haber perdido detalles de la misma y contener errores. Todo ello se hubiera evitado con un sensor de movimiento adaptado al transductor.

A partir de la batimetría filtrada se han obtenido los valores absolutos de las diferentes capas resultantes de la interpretación, tras sumar a la primera los correspondientes espesores obtenidos antes.

Con esos resultados se puede concluir que no hay estructuras enterradas significativas pues con curvados de 25 cm. no se aprecian formaciones claras. Tan solo en lo interpretado como basamento se aprecian dos alineaciones de baja cota con una dirección aproximada de 340°.

Se probó también a cruzar lo interpretado como basamento con los objetos que se distinguen sobre éste, lo que dio un resultado poco coherente, con valores positivos y negativos, motivado se supone por el error de precisión del GPSD en relación con las pequeñas medidas de los elementos enterrados, dándose con frecuencia el caso de que en un punto de coordenadas idénticas los valores resultantes eran muy diferentes en valor y signo.

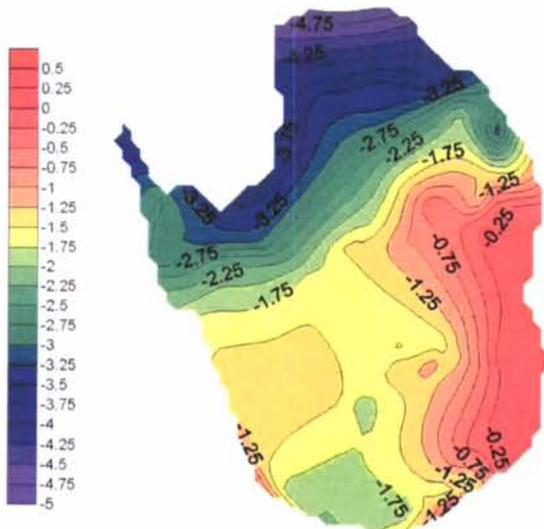
De haber estructuras continuas claras, con una altura en torno a los 50cm, se piensa que es posible que se hubieran apreciado claramente con la metodología empleada y el análisis que se ha llevado a cabo con los datos. Por ello se vuelve a insistir en la idoneidad del método geofísico para conocer las estructuras geológicas y sedimentarias de la zona, y en la necesidad de emplear tecnologías más precisas y con corrección total en el de detalle.

En el estudio de detalle se han de planificar las líneas con el objetivo de alcanzar la máxima cobertura en función del sistema empleado, como en el caso de la paramétrica, con solo 4° de haz implica que dicha separación se ha de determinar en base a las medidas de los objetos a detectar. En todo caso se ha de contar con una embarcación de muy buena maniobrabilidad y posibilidad de velocidades muy bajas.

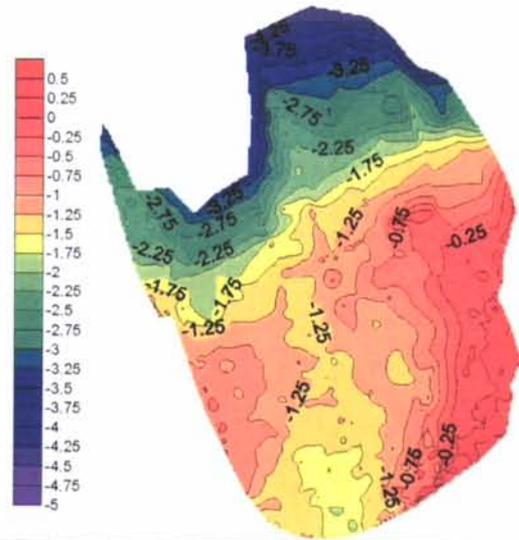
Dado que una navegación de esas características es muy difícil de conseguir se considera que se deben utilizar en estos estudios de sumo detalle sistemas paramétricos con capacidad de estabilización de haz y barridos transversales, los cuales normalmente llevan asociados programas de interpretación capaces de representar los elementos enterrados en 3D. Lógicamente dada la precisión de estos sistemas se han de usar en forma inseparable de un buen sensor de movimiento y de un GPSD de alta precisión (RTK).

En la documentación gráfica aportada se ha incluido una comparativa entre el basamento obtenido a partir de la interpretación del Geopulse y de la Ecosonda Paramétrica. En ella se aprecia una buena coincidencia general en la morfología del

basamento, siendo el Geopulse el que da una información más suavizada, dada su baja resolución, mientras que la Paramétrica aporta información muy detallada del mismo. Este detalle se aprecia más en las líneas próximas que coinciden con zonas con estructuras cambiantes, lo que resalta una falta de información entre las líneas realizadas.



Basamento obtenido del Geopulse



Basamento obtenido de la Paramétrica

Translación WGS-84 a ED-50

Punto de referencia en WGS-84: 510000, 4665000

Punto de referencia en ED-50: 510092.60, 4665202.19

De aquí para pasar los datos de WGS-84 a ED-50 es necesario aumentar la **X en 92.60** y la **Y en 202.19**.

BIBLIOGRAFÍA

- ABARZUZA, J., 1991. Sónar de Barrido Lateral y Penetrador de Sedimentos. Aplicación en Hidrografía. Instituto Hidrográfico de la Marina., San Fernando (Cádiz), 207 pp.
- AYALA, F.J., CASERO, L., CELMA, J., GARCÍA-FRAGIO, A., ROMANA, M. y SIMIC, D., 1985. Métodos de reconocimiento del subsuelo marino. *Boletín del Instituto Geológico y Minero de España*, Madrid, 316 pp.
- BOUYE, C., 1983. Etude des correlations entre la reponse sismique haute resolution de quelques types de depots meubles et leurs caracteristiques sedimentologiques, Tesis Doctoral, Université de Perpignan, 163 pp.
- DÍAZ DEL RÍO, V., 1989. *Morfología, formaciones superficiales y evolución reciente del margen continental en la región de Cabo de Palos (entre el Cabo Tiñoso y el Cabo Cervera), SE de la Península Ibérica*. Tesis Doctoral Thesis, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, 358
- DÍAZ DEL RÍO, V., 1991. El margen Continental Bético Mediterráneo. Extremo Bético Oriental: Cuenca de Murcia-Escarpe de Mazarrón. Publicaciones Especiales del Instituto Español de Oceanografía (6), Madrid, 237 pp.
- HERNÁNDEZ-MOLINA, F.J., 1993. *Dinámica sedimentaria y evolución durante el Pleistoceno terminal-Holoceno del margen noroccidental del Mar de Alborán. Modelo de estratigrafía secuencial de muy alta resolución en plataformas continentales*. Tesis Doctoral, Univ. Granada, Granada, 617 pp.
- IGME (1983). "Mapa Geológico de España. Escala 1:50000. Hoja nº 297 (L.Éstardit)". Servicio de Publicaciones del Ministerio de Industria y Energía. Madrid.
- IGME (1986). "Mapa Geológico de la Plataforma Continental Española y Zonas Adyacentes. Escala 1:200000. Hoja nº 35 (Barcelona)". Instituto geológico y Minero de España. Servicio de Publicaciones del Ministerio de Industria. Madrid.
- ITGE (1989). "Mapa Geológico de la Plataforma Continental Española y Zonas Adyacentes. Escala 1:200000. Hoja nº 35-42 E (Barcelona)". Instituto tecnológico y Geominero de España. Servicio de Publicaciones del Ministerio de Industria. Madrid.
- ITGE (1994). "Mapa Geológico de la Plataforma Continental Española y Zonas Adyacentes. Escala 1:200000. Hoja nº 25-25 E (Figueres)". Instituto Tecnológico y Geominero de España. Servicio de Publicaciones del Ministerio de Industria. Madrid.

- LOBO SÁNCHEZ, F.J., 1995. *Estructuración y Evolución Morfosedimentaria de un sector del Margen Continental Septentrional del Golfo de Cádiz durante el Cuaternario Terminal*. Tesis de Licenciatura, Universidad de Cádiz, Puerto Real, 200 pp.
- MARQUÉS, M.A. Y JULIÁ, R. (1983). "Fluviá and Muga delta plain: geomorphological features and evolution (Empordá-Gulf of Roses)". En: M.A. Marqués (Ed.), *Symposium on man's impact on coastal environment, IGU Comision on the Coastal Environment*, p. 7-30.
- PALLÍ, LL. (1972). "Estratigrafía del paleógeno del Empordá y zonas limítrofes". *Publicaciones de Geología, Universidad Autónoma de Barcelona*.
- REY, J., 1990. *Relación morfosedimentaria entre la plataforma continental de Galicia y las Rías Bajas y su evolución durante el Cuaternario*. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid, 398 pp.
- TRABANT, P.K., 1984. *Applied High-Resolution Geophysical Methods. Offshore Geoengineering Hazard. International Human Resources Development Corporation, Boston, 265 pp.*