

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCOLA POLITÈCNICA SUPERIOR DE GANDIA

Màster en Enginyeria Acústica



**UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA**



**ESCOLA POLITÈCNICA
SUPERIOR DE GANDIA**

**“Mesures a distàncies pròximes del TS
de la daurada: muntatge i calibratge del
dispositiu experimental”**

TESIS DE MÀSTER

Autora:
Teresa Alberola Canet

Director/s:
***En Víctor Espinosa Roselló
N' Ester Soliveres González***

GANDIA, 5-09-2012

Mesures a distàncies pròximes del TS de la daurada: muntatge i calibratge del dispositiu experimental.

Autora: Teresa Alberola Canet

Director: Victor Espinosa Roselló

Codirectora: Ester Soliveres González

Resum - L'objectiu del present treball és realitzar el muntatge d'un dispositiu experimental ubicat al port de Gandia i calibrar els sistemes de transductors i ecosonda que seran utilitzats, posteriorment, per a la mesura del *Target Strength* de la daurada (*Sparus aurata*). Aquest dispositiu experimental és una gàbia de 5 metres de diàmetre i 4,5 metres de profunditat, a la qual es subjecta una plataforma a la que es cargolen tres transductors i una càmera de vídeo .

El calibratge de l'ecosonda es realitza per als dos transductors que s'utilitzaran. Un dels transductors és *single beam*, l'ES10, i l'altre *split beam*, l'ES200-7C. Per al calibratge del primer transductor es realitzen mesures amb l'ecosonda EK60 a 200kHz, i després s'analitzen amb el software *Sonar5_Pro*. El calibratge del transductor *split beam*, es realitza directament amb una de les funcions del software de l'ecosonda EK60. La càmera de vídeo no és utilitzada en aquest treball més que amb funcions d'inspecció visual.

Paraules clau: *Target Strength, calibratge.*

Abstract – This project's aim is to execute an experimental device assembly situated in Gandia's Port and to calibrate the transducers and echo sounder systems that will be used subsequently for the gilthead bream Target Strength measure.

This experimental device is a five meters in diameter and four and a half meters deep cage, that holds a platform with three transducers and a video cam winded around.

The echo sounder calibration is realized for both of transducers that are going to be used. One of the transducers is a Single Beam ES10 and the other one is a Split beam ES200- 7C.

For the first transducer calibration, the measurements are executed with a Ek6 echo sounder at 200kHz, and after that the amount is analyzed by de *Sonar_5pro* software. The Split Beam calibration is executed directly with the Echo sounder EK60 software. The video cam only performs the function of a visual control.

Keywords: *Target Strength, calibration.*

Autora: Teresa Alberola Canet, email: tealca@epsg.upv.es

Data d'entrega: 05-09-12

ÍNDIX

I. INTRODUCCIÓ	2
II. INTRODUCCIÓ TEÒRICA	3
II.1 L'ECOSONDA CIENTÍFICA.....	3
II.2 L'EQUACIÓ DEL SONAR	4
II.3 POTÈNCIA DE BLANC (TARGET STRENGTH)	6
II.4 CAMP PRÒXIM I LLUNYÀ DEL TRANSDUCTOR.....	7
II.5 FUNCIÓ TVG	8
II.6 DETECCIÓ D'ECOS INDIVIDUALS	9
III. ANTECEDENTS	10
IV. MUNTATGE	12
IV.1. LIMITACIONS.....	15
V. SISTEMA DE MESURA	16
V.1. ECOSONDA EK60 DE SIMRAD	16
V.2. TRANSDUCTOR ES200-7C DE SIMRAD	16
V.3. TRANSDUCTOR ES10 DE SIMRAD	17
V.4. SISTEMA DE GRAVACIÓ.....	18
VI. CALIBRATGE	20
VI.1. TRANSDUCTOR ES200 – 7C DE SIMRAD	20
VI.2. TRANSDUCTOR ES10 DE SIMRAD.....	23
VII. RESULTATS.....	27
VII.1. TRANSDUCTOR ES200 – 7C.....	27
VII.2. TRANSDUCTOR ES10	31
VIII. CONCLUSIONS	40
IX. LÍNIES FUTURES	41
AGRAÏMENTS.....	42
REFERÈNCIES	43
ANNEXOS.....	44

I. INTRODUCCIÓ

L'aqüicultura és una activitat que abraça pràctiques molt diverses i una ampla gamma d'espècies, sistemes i tècniques de producció. Pot definir-se com el cultiu d'organismes aquàtics amb tècniques encaminades a fer més eficient la seua producció.

L'aqüicultura en el seu conjunt produeix avui més de la meitat del peix consumit en el món. La producció global d'aqüicultura ha crescut espectacularment des de menys de 0.6 milions de tones en 1950 als quasi 79 milions de tones en 2010.

En la Unió Europea en 2010 es van produir 1,2 milions tones de peixos, segons estadístiques de l'Organització per a l'Agricultura i l'Alimentació de Nacions Unides (*FAO*). Aquesta xifra va representar el 19% del volum de la producció aquàtica total de la UE.

La producció aqüícola total de la daurada (*Sparus aurata*) en Europa o la resta del món en 2011 ha sigut de 151.346 tones, segons estadístiques de la *Federation of European Aquaculture Producers (FEAP)*. Existeix producció de daurada d'aqüicultura en 19 països diferents. Els principals productors són Grècia amb 60.000 tones (39,6% del total), Turquia amb 34.000 tones (22,5%) i Espanya amb 16.930 tones (11,2%).

La cria de daurades es realitza en quasi tots els països mediterranis. Els centres de cria produeixen ous a partir d'individus reproductors en condicions molt controlades. Durant el seu primer mes de vida en cultiu, les larves s'alimenten d'organismes vius i després inicien una alimentació a base de pinsos. Les instal·lacions de cria són variades: vivers flotants en la mar, tancs de formigó o estancs en terra. Cada daurada tarda entre 18 i 24 mesos en arribar a 400g. La talla comercial varia des dels 250g a més de 1.500g. [1].

L'estimació del creixement dels peixos i la biomassa són essencials en aqüicultura marina amb la finalitat de preparar el pla de producció de les granges de peixos i d'organitzar i dur a terme diverses operacions de gestió, tals com la distribució dels peixos, la descàrrega de nous lots, la programació de l'extracció dels exemplars o el càlcul de les taxes d'alimentació diàries, entre altres.

El paràmetre utilitzat en acústica submarina que descriu les propietats acústiques d'un objecte submergit és la potència de blanc o *target strength (TS)*. El *TS* indica la capacitat que té l'objecte de reflectir l'ona acústica incident de tornada a l'ecosonda. Quan es tracta de peixos la potència de blanc depèn sobretot de l'orientació del peix relativa al feix emès, i en el cas dels peixos amb bufeta natatòria, com és el cas de la daurada, depèn fortament de la forma i la grandària d'aquesta, per ser aquest l'òrgan de la major part de l'energia reflectida.

L'objectiu del present treball és muntar i calibrar el dispositiu experimental ubicat al port de Gandia. El dispositiu, una gàbia de 5m de diàmetre i 4,5m de profunditat construïda amb components professionals, està compost per una vídeo càmera i dos transductors, un *single-beam* i l'altre *split-beam*. Per al calibratge del primer dispositiu, es prenen mesures de 30 minuts amb l'ecosonda EK60 de Simrad i després s'analitzen amb el software *Sonar5_Pro*. Per a l'altre transductor, es realitza el calibratge directament, amb una de les funcions del software de l'ecosonda, l'*ER60* de Simrad.

II. INTRODUCCIÓ TEÒRICA

Per a la comprensió del present document és necessària la descripció d'alguns conceptes importants de la teoria d'acústica submarina. A continuació se'n fa un resum dels més importants.

II.1 L'ECOSONDA CIENTÍFICA

El sistema *SONAR* (SOund and NAvigation and Ranging) és el terme general per a referir-se a qualsevol aparell que utilitzi ones acústiques per a la detecció o l'observació remota d'objectes immersos en l'aigua. Actualment aquest sistema s'utilitza també per a la realització de mesures de les característiques de l'ambient marí.

Els sistemes sonar poden dividir-se en dos grans grups: sonars actius i sonars passius. Els sonars actius detecten i processen els ecos rebuts del senyal acústic que ell mateix a radiat, mentre que els sonars passius estan dissenyats per a localitzar el blanc mitjançant la captació de so radiat pel propi blanc.

L'ecosonda és un tipus particular de sonar actiu, el feix acústic del qual va dirigit verticalment. S'utilitza en l'estimació de distàncies i angles d'incidència i en la identificació i caracterització de blancs.

L'ecosonda científica està composta per un cronòmetre, un transmissor, un transductor, un receptor i un display pel qual es visualitzen els ecos detectats. El transmissor genera un pols curt d'energia elèctrica que s'envia al transductor, el qual s'encarrega de transformar-lo en energia acústica i el radia en un feix direccional. Aquest es propaga a través de l'aigua fins que es troba amb un blanc. Aquest blanc reflecteix el pols i part de l'energia retorna cap al transductor. El transductor detecta el so reflectit (l'eco) i el converteix en energia elèctrica.

El temps que tarda l'eco en ser rebut ens diu la distància entre el blanc i el transductor. El senyal rebut és amplificat per circuits elèctrics en el receptor i es mostra en l'ecograma [2].

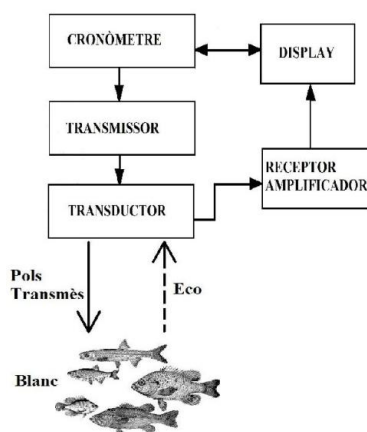


Fig. 1: Esquema bàsic d'una ecosonda

En l'ecograma es representen els blancs mostrant la seua distància o profunditat com la separació a la marca de transmissió, és a dir, des del transductor.

Després d'un cert temps, el transmissor emet altre pols i el procés es repeteix, obtenint representacions bidimensionals mitjançant traves d'ecos connectades. La posició vertical de la traça indica la profunditat a la que es troba el blanc. La posició horitzontal mostra variacions en el temps si l'ecosonda es troba en una posició fixa, o variacions en l'espai si està muntada en una embarcació mòbil. L'amplitud de l'eco es representa mitjançant una escala de colors.

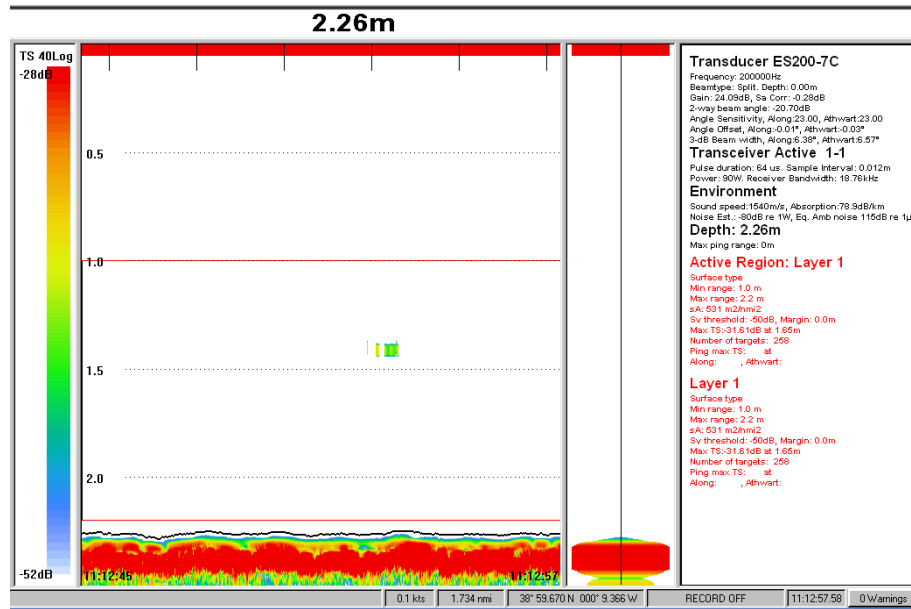


Fig. 2: Exemple d'ecograma en mesures ventrals

Les ecosondes científiques són capaces d'obtenir i registrar valors d'ecos amb un sistema de calibratge que proporciona una precisió major. L'electrònica d'aquestes ecosondes ha sigut dissenyada amb amplitud estable i algunes característiques addicionals, com un amplificador precís de guany variable amb el temps (*TVG*). L'amplificador compensa el senyal per pèrdues produïdes, degudes a la divergència geomètrica del feix i a l'absorció del medi de propagació. El senyal que s'obté és suficientment precís per a comptar peixos individuals o per a mesurar densitat d'agregació de peixos. Per a obtenir un senyal proporcional a la densitat de peixos és necessari un integrador d'ecos, que solen portar incorporat les ecosondes modernes i poden connectar-se per separat.

II.2 L'EQUACIÓ DEL SONAR

En totes les aplicacions d'acústica submarina l'operació més crítica és detectar el senyal acústic desitjat quant hi ha presència de soroll. L'equació del sonar pot escriure's de forma simplificada com:

$$EL \geq DNL + DT \text{ (dB ref. } P_{\text{ref}}) \quad (1)$$

on *EL* és el nivell d'eco, *DNL* és el nivell de soroll detectat i *DT* és el llindar de detecció. Es considera que s'ha detectat un eco quan el nivell de senyal rebuda excedeix del llindar de detecció establert.

Per a sistemes de sonar actiu, el senyal és un pols d'energia acústica que s'origina al transmissor amb un nivell de font *SL*. Aquest senyal es propaga fins que troba un blanc, sofrint pèrdues *TL*

degudes a la propagació de l'ona per l'aigua. Part de l'energia del senyal incident, caracteritzat pel TS es reflecteix cap al receptor i, després, experimenta una altra pèrdua per transmissió TL' . Per a un cas mono-estàtic, aquell en el que tenim el receptor i l'emissor en el mateix punt, tenim $TL = TL'$, per tant es rep l'eco amb un nivell EL :

$$EL = SL - 2TL + TS \quad (dB \text{ ref. } P_{ref}) \quad (2)$$

El nivell de font SL és el nivell d'intensitat generat per la font a un metre. Considerant que el transductor treballa en regim lineal i estem en condicions de camp llunyà, el nivell de font en la direcció (θ, φ) es pot calcular mitjançant:

$$SL(\theta, \varphi) = 10 \log \frac{\frac{W}{4 \cdot \pi \cdot R_{1m}^2} Q(\theta, \varphi)}{I_{ref}} = LW - 11 + DI(\theta, \varphi) \quad (dB \text{ ref. } I_{ref}) \quad (3)$$

on W és la potència de la font, Q és el factor de directivitat, I_{ref} és la intensitat de referència, LW és el nivell de potència acústica de la font i DI és l'índex de directivitat del transductor.

De vegades és convenient utilitzar la següent equació, que relaciona el nivell de font amb la tensió aplicada en bornes del transductor:

$$SL(\theta, \varphi) = S_{ex}(\theta, \varphi) + 20 \log V_{RMS} \quad (dB \text{ ref. } P_{ref}) \quad (4)$$

on S_{ex} és la sensibilitat del transductor quan aquest treballa com a emissor, expressada en dB ref. 1Pa/V, i V_{RMS} és la tensió eficaç que és aplicada en bornes del transductor.

L'estimació de les pèrdues TL és un factor molt important en el funcionament d'un sistema sonar, ja que limita l'amplitud del senyal rebut. Aquestes pèrdues es deuen a diversos factors, principalment a la divergència geomètrica i a l'absorció del medi.

La divergència geomètrica del feix acústic fa que l'energia total projectada pel transductor es distribuïska entre una superfície cada vegada major al allunyar-se d'aquest, sent la intensitat cada vegada menor.

L'absorció del medi de propagació és la transformació d'energia acústica en calor, depèn de les propietats químiques de l'aigua i la freqüència.

Combinant aquests dos factor, podem calcular les pèrdues:

$$TL = 20 \log(R) + \beta \cdot R \quad (dB \text{ ref. } 1m) \quad (5)$$

on R és la distància:

$$R = \frac{c \cdot t}{2} \quad (m) \quad (6)$$

i β és l'absorció del medi:

$$\beta = 8,69 \cdot \alpha \quad (dB/m) \quad (7)$$

on α (Np/m) representa l'absorció del medi.

El nivell de soroll detectat per a un sistema actiu pot estar dominat pel soroll d'ambient o pel propi soroll del sistema sonar. Per tant, l'equació es pot reescriure com:

$$SL-2TL+TS \geq NL-DI+DT_N \text{ (dB ref. } P_{\text{ref}}) \quad (8)$$

on NL és el nivell de soroll i DI és l'índex de directivitat.

Per al sonar actiu hi ha una font addicional d'emascament que no està present als sonars passius, la reverberació. La reverberació sorgeix de la dispersió del senyal emès pels blans no desitjats, com les bombolles, la superfície o el fons del mar.

Combinant les equacions anteriors obtenim l'equació per a un sistema sonar actiu limitat per la reverberació:

$$SL-2TL+TS \geq RL+DT_R \text{ (dB ref. } P_{\text{ref}}) \quad (9)$$

on RL és el nivell de reverberació.

Si el sistema sonar actiu està dominat pel soroll o per la reverberació, depèn de la potència acústica, l'abast i la velocitat del blanc [3].

II.3 POTÈNCIA DE BLANC (TARGET STRENGTH)

Una ona acústica que es propaga pel mar incideix sobre diferents blans o objectes de diversa naturalesa i estructura, com poden ser peixos, bancs, plàncton, bombolles, submarins, objectes enterrats o els límits superior i inferior del medi (fons marí o superfície). Aquests reflecteixen part de l'energia que incideix sobre ells generant ecos, i una part d'aquests viatgen de tornada al sistema sonar. Aquests ecos poden ser desitjats si procedeixen del blanc o no desitjats si interfereix amb el senyal útil. És molt important conèixer aquestes propietats per a un bon funcionament del sistema sonar, ja que els ecos s'han de rebre amb les millors condicions possibles, o reduïts o eliminats mitjançant filtrat si són indesitjables.

Si el blanc és molt menut comparat amb la longitud d'ona ($\frac{L}{\lambda} \ll 1$), l'ona incident sotmet al blanc sencer a la mateixa pressió acústica. El blanc es contrau i s'expandeix en resposta a l'oscil·lació de pressió i actua com una font puntual d'ones dispersades, tornant a radiant ones esfèriques en totes les direccions. Si per contra, el blanc es molt més gran que la longitud d'ona ($\frac{L}{\lambda} \gg 1$), es té dispersió geomètrica, i tant la forma com la grandària del blanc són molt importants. Quan la superfície és llisa, la dispersió és simplement una ona reflectida, la direcció de la qual presenta simetria especular respecte a l'ona incident. Si el blanc és esfèric, l'energia dispersada s'incrementa aproximadament amb el quadrat del radi de l'esfera. Per al cas entremig, en el qual la grandària del blanc és similar a la longitud d'ona ($\frac{L}{\lambda} = 1$), la dispersió depèn de l'estructura geomètrica i de les propietats del material del blanc de forma complexa [2], [4].

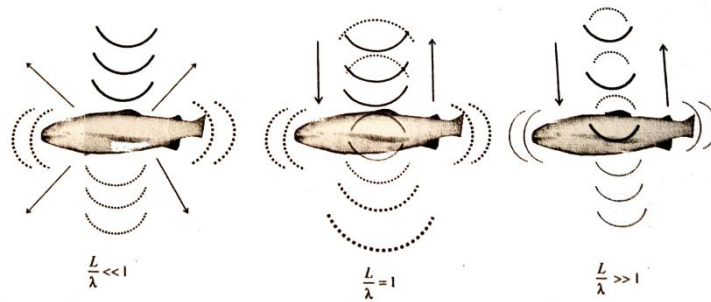


Fig. 3: Diagrama de la dispersió del so pels peixos.

La potència de blanc o el TS és una mesura logarítmica de la proporció d'energia incident que és retornada pel blanc, és a dir, ens indica la capacitat que té un blanc de reflectir el so incident de tornada al sistema sonar:

$$TS = 10 \log \frac{I_{bs}(1m)}{I_i} \quad (\text{dB}) \quad (10)$$

on I_i és la intensitat de l'ona incident al blanc, $I_{bs}(1m)$ és la intensitat de tornada a un metre del blanc. El seu valor depèn de la forma i grandària del blanc, de la seua absorció o directivitat i de la freqüència. Si s'assumeix que el so es propaga esfèricament i no hi ha pèrdues I_{bs} serà directament proporcional a I_i :

$$I_{bs} = \left(\frac{\sigma}{4\pi} \right) \cdot \frac{I_i}{R^2} \quad (\text{W/m}^2) \quad (11)$$

on $4\pi R^2$ és l'àrea superficial de l'esfera a través de la qual tota l'energia incident és reflectida i σ és la secció transversal de la dispersió, la qual ve definida per:

$$\sigma = 4 \cdot \pi \cdot R^2 \cdot I_{bs} / I_i \quad (\text{m}^2) \quad (12)$$

Combinant les equacions (10) i (11) s'obté:

$$TS = 10 \log \frac{\sigma}{4 \cdot \pi \cdot R^2} \quad (\text{dB}) \quad (13)$$

Quan es tracta de peixos, la potència de blanc depèn del comportament del peix, en especial de l'orientació del cos dins del feix d'emissió, caracteritzat per la funció de directivitat del peix, ja siga en la seua part dorsal o ventral. També depèn, en aquelles espècies que tenen bufeta natatòria, com és el cas de les daurades, de la forma i orientació d'aquesta, que pot ser molt diferent per a peixos d'aspecte extern molt similar.

II.4 CAMP PRÒXIM I LLUNYÀ DEL TRANSDUCTOR

A l'hora de realitzar mesures de la potència de blanc de peixos, és de vital importància tenir consideració les distàncies de mesura en relació a les de camp pròxim tant del transductor com del blanc que es desitja avaluar. La potència de blanc està definida en la zona de camp llunyà del transductor i del blanc, mes enllà de les seues respectives zones de camp pròxim.

La zona de camp pròxim del transductor es defineix mitjançant el seu rang límit:

$$R_{N,Transductor} = \frac{d^2}{\lambda} \text{ (m)} \quad (14)$$

on d és el radi del transductor o la seua dimensió màxima (en el cas de no ser circular) i λ la longitud d'ona. Per a distàncies majors que R_N , la pressió acústica transmesa decreix inversament amb la distància.

II.5 FUNCIO TVG

L'amplitud de l'eco decreix amb la distància del blanc degut a la dispersió del feix i l'absorció quan les ones sonores es propaguen per l'aigua. No obstant, el receptor inclou un amplificador de guany variable en el temps (TVG) el qual compensa aquestes pèrdues de propagació al senyal d'eixida. El guany s'incrementa proporcionalment a la funció TVG $a(t)$, on t és el temps des de que comença a transmetre's el pols.

En el cas en que tenim un blanc aïllat, la distància del qual és molt major que la longitud del pols, la funció TVG adequada és:

$$a_o(t) = (c \cdot t)^2 e^{(\beta \cdot c \cdot t/2)} \quad (15)$$

on c és la velocitat del so i β és el coeficient d'absorció.

Les pèrdues augmenten amb la distància i per a compensar-les, l'amplitud de l'eco es multiplica per la funció TVG i el resultat ha de ser el senyal d'eixida, el qual no depèn de la distància del blanc.

[2]

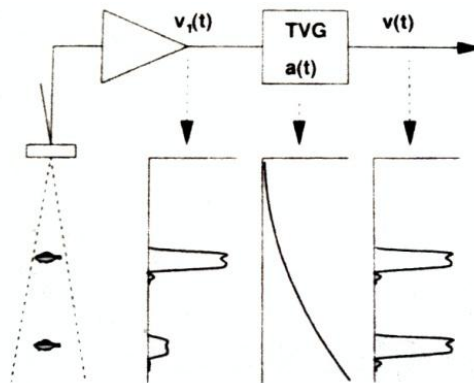


Fig. 4: Rang de compensació amb TVG

La funció TVG per al cas d'un objecte puntual pot expressar-se:

$$TVG = 40 \cdot \log(R) + 2 \cdot \beta \cdot R \quad (16)$$

I per a blancs extensos que reflecteixen especularment el so, tenim:

$$TVG = 20 \cdot \log(R) + 2 \cdot \beta \cdot R \quad (17)$$

D'aquesta forma el senyal d'eixida del receptor depèn únicament del TS del blanc i del nivell de la font. Per tant, per a estimar el TS del blanc hi ha suficient amb calcular el nivell de font generat per l'ecosonda durant l'emissió de polsos.

II.6 DETECCIÓ D'ECOS INDIVIDUALS

Quan es transmet un pols acústic amb una durada determinada i aquest rebota amb un objecte submergit, el pols reflectit veurà modificada la seua amplitud i la seua durada. Quan es reflecteix contra el fons marí, per exemple, el pols rebut tindrà una gran amplitud i durada si es compara amb el que s'obtindrà quan siga un peix el causant de la reflexió.

Els detectors d'ecos individuals s'utilitzen per a discriminar, entre totes les deteccions registrades en cada transmissió, aquelles que no provenen de blancs individuals.

Els detectors estan formats per filtres que seleccionen els ecos que s'han d'emmagatzemar per a la posterior estimació de la potència del blanc. Per a les mesures preses amb transductors *single-beam*, els filtres utilitzen criteris relacionats amb l'amplitud i la longitud dels polsos rebuts, comparant aquests amb el pols emès per a decidir si un eco ha de ser admès com a eco individual o eliminat de l'anàlisi.

El procés de detecció d'ecos individuals comença després de cada transmissió, de forma que, aquells ecos el nivell de senyal dels quals estiga per baix d'un llindar (TS_{min}) fixat per l'usuari, seran eliminats de la matriu d'anàlisi. A continuació, l'algoritme busca els pics locals del senyal d'eco i s'estima la durada de cada eco en nombre de mostres, de forma que el començament i el final de cada eco el constitueixen les primeres mostres que tinguen un nivell de 6dB menys que el pic. La longitud de l'eco s'estima en nombre de mostres de la mateixa forma que la del pols transmès. Aquells ecos, la longitud dels quals siga menor que la mínima (E_{min}) o exedisca de la màxima (E_{max}), seran eliminats. A més a més, aquells ecos que complisquen amb els criteris de longitud imposats, són revisats buscant l'existència de pics múltiples.

El darrer pas consisteix en analitzar la separació existent entre ecos que es troben pròxims entre si en el rang vertical. Si la separació és inferior a un valor prefixat per l'usuari, ambdós ecos seran eliminats de l'anàlisi. [2]

Quan s'utilitzen transductors *split-beam*, també es tenen en compte els criteris de fase per a la detecció d'ecos individuals.

III. ANTECEDENTS

Aquest projecte neix arrel d'un projecte anterior, en el qual es va construir i instal·lar al port de Gandia una gàbia de tres metres de diàmetre i 2'7 metres de profunditat per a estudiar la relació entre el *TS* de la daurada i la longitud total dels espècimens. Degut al seu diàmetre la gàbia provocava interferència de rajos. La gàbia va ser construïda amb tres anells de PVC, que feien d'esquelet, i al sobre d'ella es va muntar la xarxa que contenia als peixos.

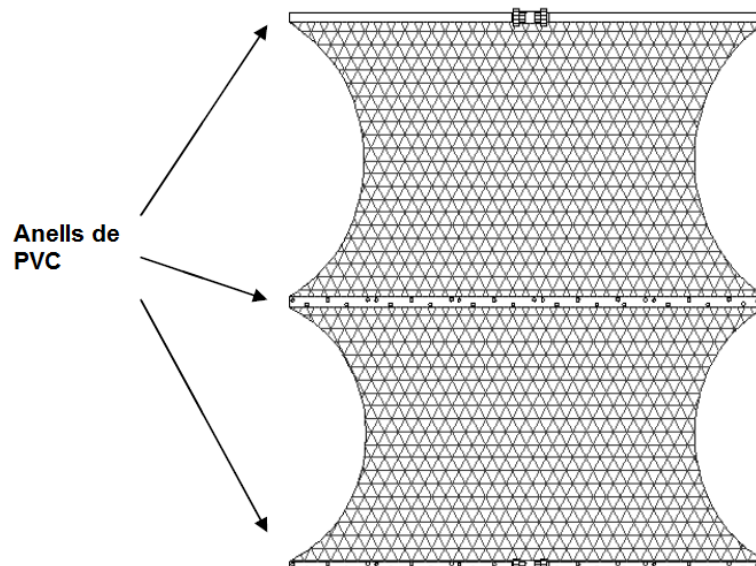


Fig. 5: Perfil de la gàbia de 3m de diàmetre.

Els anells es van disposar en els extrems del muntatge (superfície i fons) i el tercer dels esmentats anells es va posar al centre per tal d'evitar deformacions en la xarxa de la gàbia. Amb la finalitat de donar-li rigidesa a l'estructura, es van incorporar dos tubs de PVC en creu en els extrems, a més a més, açò va servir de suport per a posar el transductor. [6]



Fig. 6: Gàbia de 3m de diàmetre.

Amb aquest muntatge, es van realitzar dos estudis.

Per una banda, es pretenia establir una relació entre el *TS* de les daurades i el logaritme de la seua longitud total. Es van introduir uns pocs espècimens dins la gàbia i van ser monitoritzats amb l'ecosonda Simrad EK60 amb un transductor de feix dividit (*split-beam*) de 7° d'obertura del feix treballant a 200 kHz. Els transductors *split-beam* estan dividits en quatre quadrants. La direcció que segueix el blanc és determinada per la comparació dels senyals rebuts en els quadrants, determinant la diferència de fase entre ells.

Després de mesurar i analitzar les mesures, es va arribar a una relació lineal entre el valor mitjà del *TS* ventral i el logaritme de la longitud total del peix, però aquesta relació no es va obtenir en les mesures dorsals. [7]

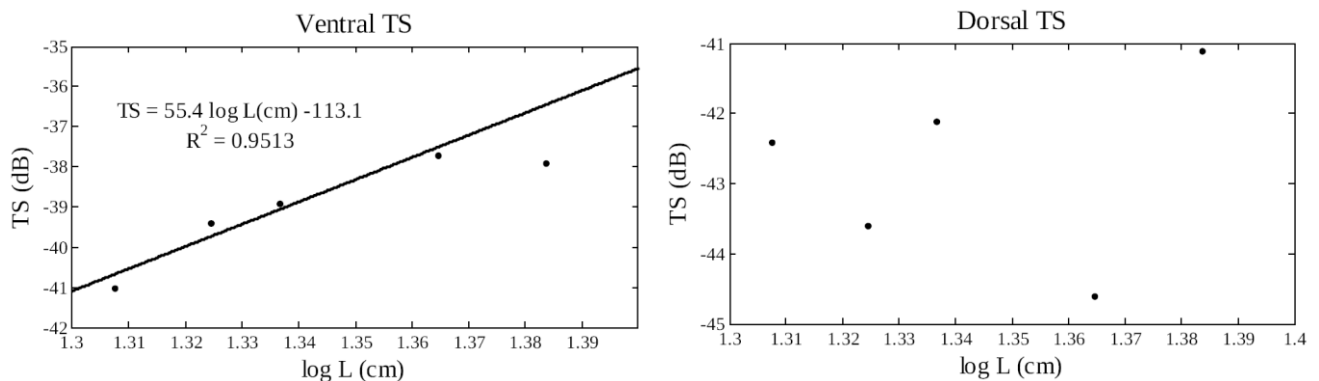


Fig. 7: Relació entre el *TS* i el logaritme de la longitud total del peix, en centímetres, per a les mesures ventrals i dorsals.

Per altra banda, es pretenia avaluar l'ús d'una ecosonda single-beam per al control de creixement de daurades en gàbies marines. En aquest cas es va utilitzar un transductor single-beam de 30° d'obertura de feix treballant a 200 kHz.

El grau de correlació entre el *TS* i el logaritme de la longitud del peix depèn de l'ordre dels criteris emprats per a les mesures ventrals. Per a les mesures dorsals no s'obté correlació entre el *TS* i el logaritme de la longitud del peix, igual que en les mesures realitzades amb el transductor *split-beam*. El millor resultat per a les mesures ventrals, s'obté quan primer s'aplica el llinard. Açò és degut a que així s'eliminen les deteccions de baix nivell. [8]

IV. MUNTATGE

El muntatge es realitza al Port de Gandia, la gàbia està situada dins del mar a l'altura de l'embull numero 3.

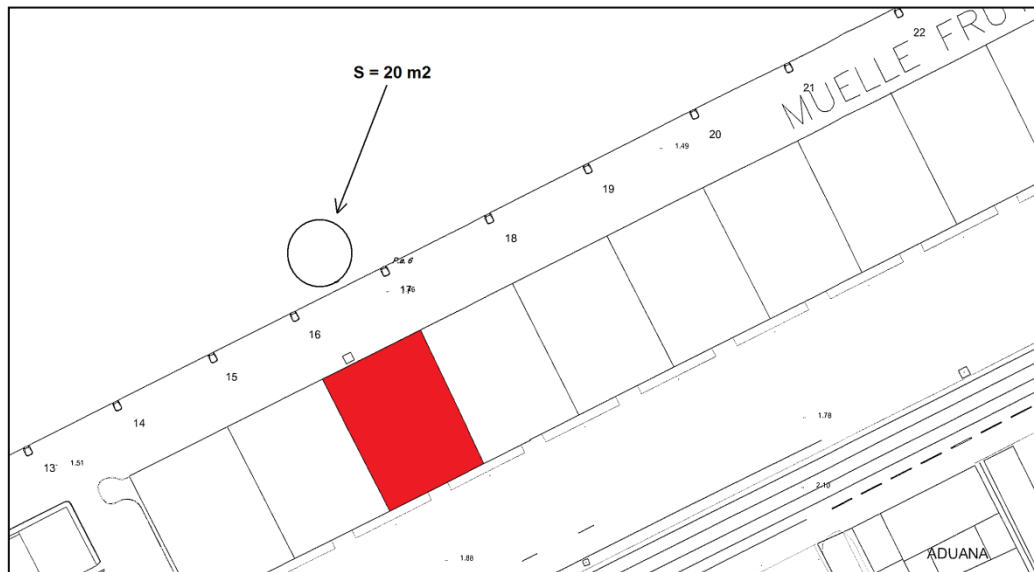


Fig. 8: Plànol port

Dins de l'embull s'ha instal·lat un cabina prefabricada per a prendre les mesures i poder guardar els aparells. A més, es va instal·lar un passa cables des de la caseta fins a la gàbia per tal de protegir els cables dels transductors i de la càmera videogràfica.



Fig. 9: Imatge de la caseta al port

El disseny de la gàbia, les dimensions de la qual són 4,5m d'altura i 5m de diàmetre, està fet tenint en compte components professionals de piscifactories, cosa que permet, després de la seua construcció, l'accés al damunt. Aquesta gàbia és un prototip més menut que les utilitzades

habitualment, fabricada amb tubs de 160mm de PN10. Té una baraneta de 110mm i sis suports de polietilè de 175mm.

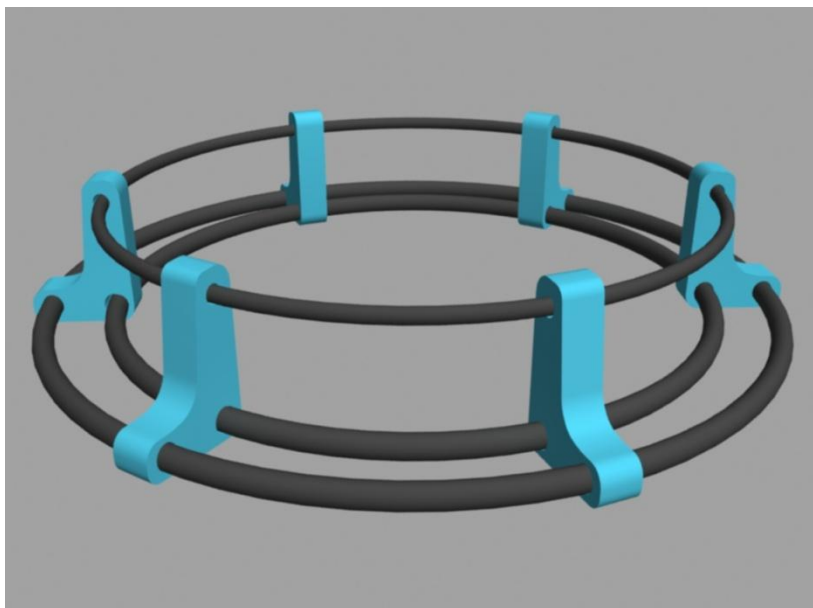


Fig. 10: Esquema de la gàbia

En la següent imatge es pot veure la gàbia instal·lada al port:



Fig. 11: Imatge de la gàbia al port de Gandia.

Dins la gàbia de la imatge anterior s'insereix una segon xarxa de 5m de diàmetre i 4,5m d'altura. Aquesta xarxa de pesca, que serà la que contindrà els peixos, és cosida per un extrem a un anell de PVC, l'altre extrem serà enganxat a l'anell superior quan la xarxa siga introduïda a l'aigua.

Per tal de donar-li rigidesa, a l'extrem cosit a l'anell de PVC li s'afegeix una estructura en creu de tubs de PVC, la qual servirà per a ancorar la plataforma dels transductors. Per a la realització de les unions entre els tubs de PVC, s'utilitzen unions de plàstic estanques.

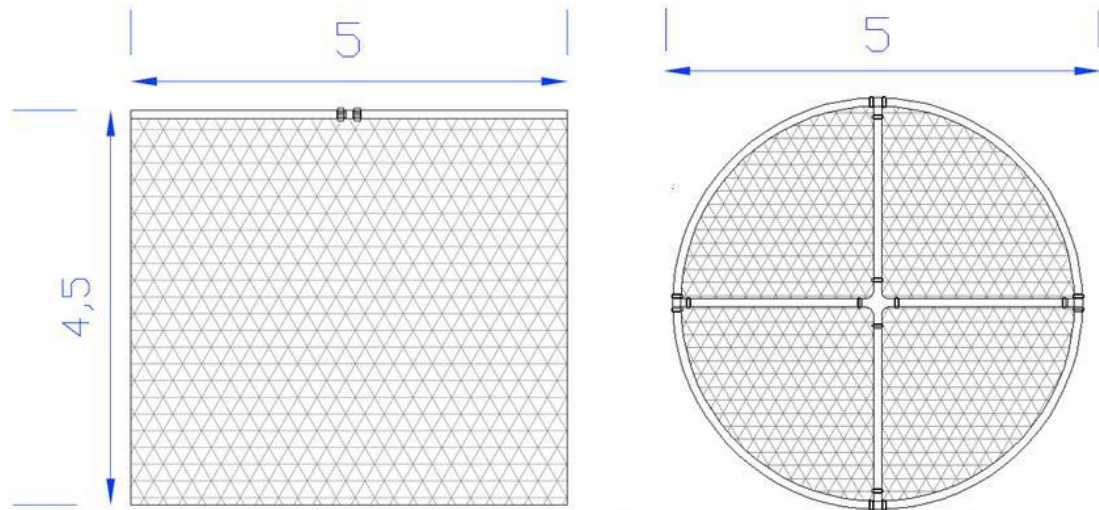


Fig. 12: Planta i alçat de la xarxa

Amb l'objectiu de fixar tres transductors, els dos que s'utilitzen per a realitzar les mesures en aquest treball i un altre que s'utilitza en un altre treball, i una càmera videogràfica, es realitza una plataforma amb un fusta de 40 cm x 40 cm.

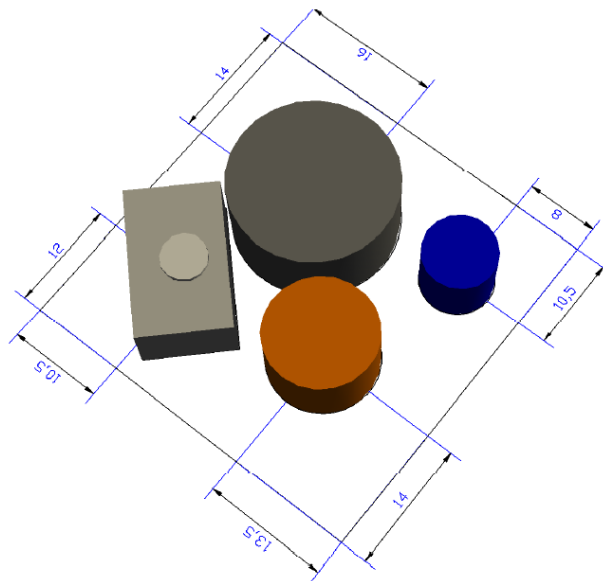


Fig. 13: Esquema de la plataforma.

Les cares radiants dels transductors han d'estar, aproximadament, a la mateixa altura per tal d'evitar reflexions no desitjades. És per això que al transductor ES10 (blanc) és col·locat dins la caixa. L'altura del transductor ES200-7C (taronja) és de 8cm i la del transductor ES10 amb la caixa i la càmera és de 7,4cm.

La plataforma és subjectada al centre de l'estructura en creu de la gàbia de la següent forma:



Fig. 14: Imatge de la plataforma amb els transductors i la càmera.

Els tres transductors i la càmera són caragolats a la fusta.

IV.1. LIMITACIONS

La limitació més important que es troba és que la profunditat del port és de 4,5 metres i, per tant, aquesta és la màxima fondària a la que poden estar els transductors, cosa que limita l'àrea irradiada pel feix dels transductors.

V. SISTEMA DE MESURA

En el present punt es presenten les especificacions dels aparells utilitzats per a les mesures.

Els aparells utilitzats són els tres transductors i la càmera anomenats anteriorment, la unitat transceptora EK60 de Simrad, un ordinador, una capturadora per a gravar les imatges de la càmera i un monitor per a veure-les en temps real.

Per una banda, els transductors, un per un, són connectats a l'EK60, la qual és connectada a l'ordinador. Per altra banda, la càmera es connecta a una font d'alimentació a 12V i a la capturadora, que també és connectada a l'ordinador.

V.1. ECOSONDA EK60 DE SIMRAD

Aquesta unitat conté circuits de transmissió i de recepció de l'ecosonda i pot configurar-se de diverses formes amb la finalitat d'adaptar-se a les diverses necessitats operatives de cada cas. És la part que s'encarrega de generar els senyals a transmetre pel transductor emissor i de rebre adequar i processar els senyals rebuts pel transductor durant la recepció.



Fig. 15: EK60

L'EK60 es comunica amb l'ordinador, amb un cable *ethernet* al port corresponent. Els transductors es connecten a la unitat al port blau que es veu a la imatge.

V.2. TRANSDUCTOR ES200-7CDE SIMRAD

El transductor ES200-7C de Simrad és un transductor composite del tipus split-beam amb un gran ample de banda. Aquest dona bona resolució, la qual cosa és molt important per a deteccions d'ecos simples i per a realitzar mesures del *TS*. El transductor té quatre quadrants.



Fig. 16: Transductor ES200 – 7C

La seua freqüència de ressonància és de 200kHz i l'obertura del feix de set graus. A continuació es mostra el patró de directivitat del transductor.[9]

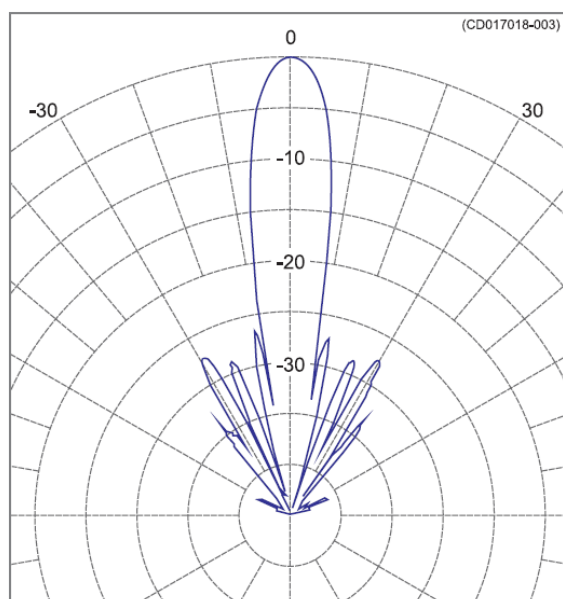


Fig. 17: Patró de directivitat de l'ES200-7C

Tenint en compte els set graus d'obertura de feix, es pot dir que la superfície irradiada pel transductor a 4,5m de és de 0,235 m².

V.3. TRANSDUCTOR ES10 DE SIMRAD

El Simrad ES10, és un transductor composite de feix simple, single-beam, compost per un element ceràmic. En aquest tipus de transductors, el senyal rebut depèn de la posició del blanc respecte a l'eix acústic i no proporciona informació sobre la direcció del blanc.

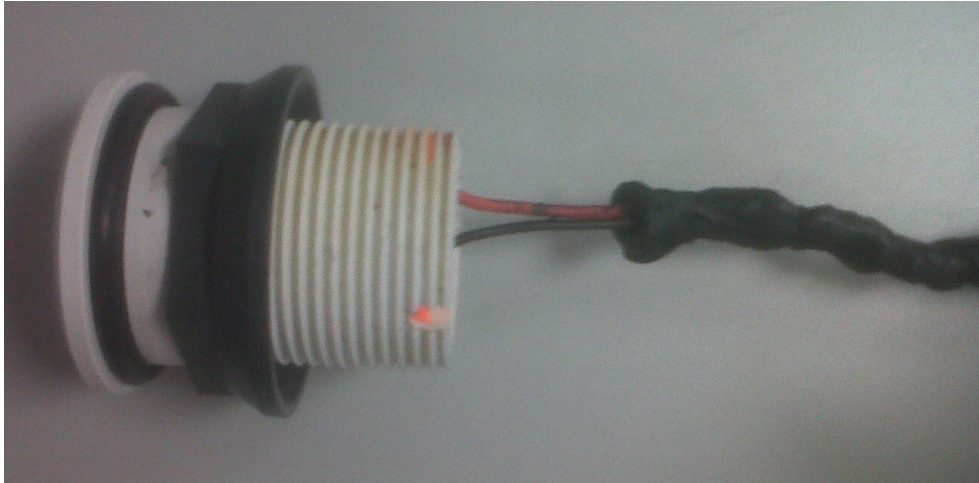


Fig. 18: Imatge del transductor ES10

El transductor treballa a 190kHz i té una obertura de feix de 31°. [10]

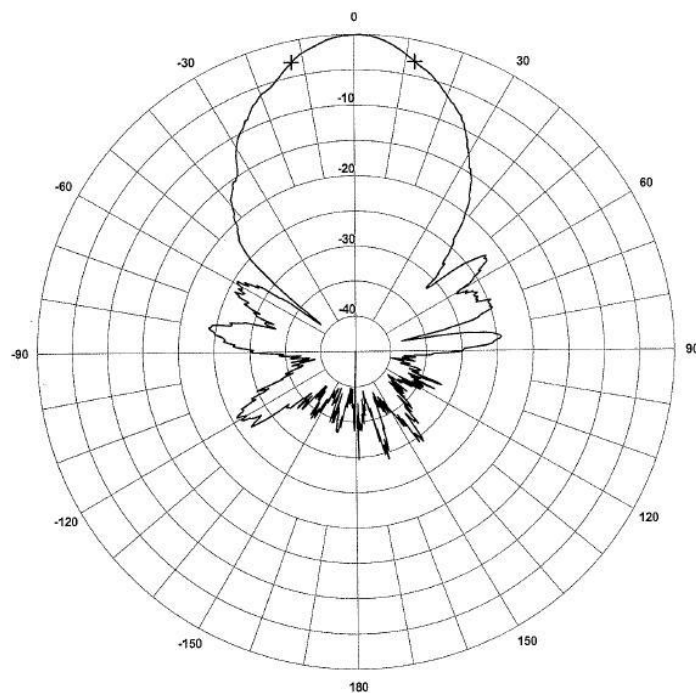


Fig. 19: Patró de directivitat de l'ES10

Tenint en compte els 31° graus d'obertura de feix, es pot dir que la superfície irradiada pel transductor a 4,5m de és de 4,26 m².

V.4. SISTEMA DE GRAVACIÓ

Per a realitzar la gravació s'utilitza una càmera videogràfica submergible, la qual, com ja s'ha mencionat anteriorment, es connecta per una banda a la font d'alimentació PL320 de Thurlby Thandar Instruments i per altra a un monitor per a observar la imatge en temps real.

El monitor és connectat a la capturadora Movie Box DV de Pinnacle Systems que, amb l'ajuda d'un ordinador amb el software *Pinnacle Studio 9.3.5* instal·lat, registra les imatges en el format *.avi.

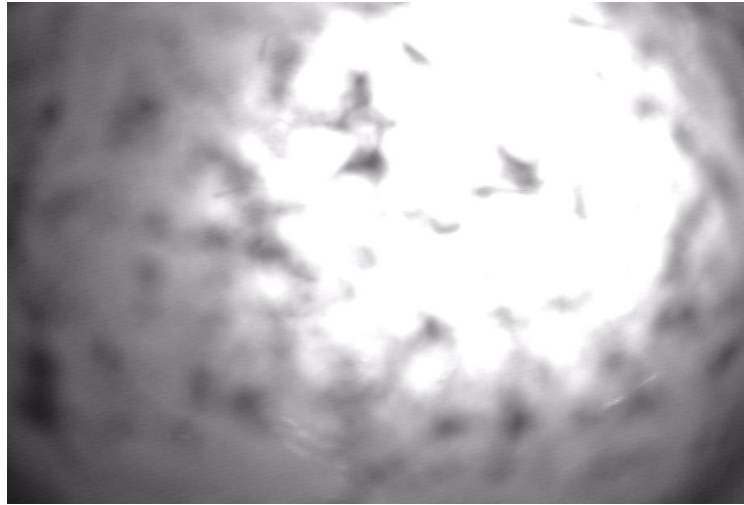


Fig. 20: Imatge realitzada amb la càmera.

En aquest treball la càmera s'ha utilitzat per a visualitzar en temps real mentre es realitzen les mesures de calibratge dels aparells.

VI. CALIBRATGE

Abans de començar un estudi, és necessari calibrar el sistema de mesura per a mantenir la seua precisió. S'ha de realitzar un calibratge per a cada transductor, freqüència, durada de pols i potència de transmissió que va a utilitzar-se.

Existeixen diversos mètodes de calibratge, en aquest cas s'ha utilitzat el mètode '*The standard target calibration*' [2], en el qual s'usa un blanc estàndard, les propietats acústiques del qual són conegudes.

El blanc emprat en aquest estudi és una esfera de coure de 13,7mm.



Fig. 21: Esfera de coure utilitzada per al calibratge.

VI.1. TRANSDUCTOR ES200 – 7C DE SIMRAD

Com ja s'ha comentat, aquest és un transductor *split-beam*, per tant el blanc s'ha de moure per tot el feix del transductor per a determinar la sensibilitat en tot el seu rang.

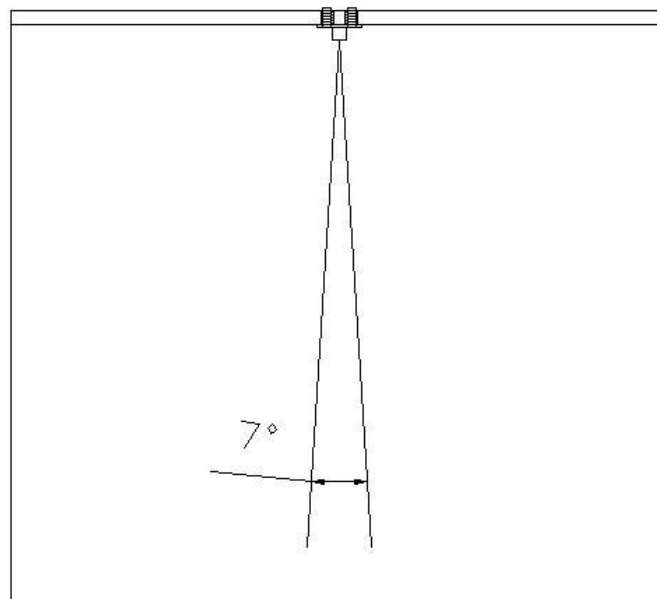


Fig. 22: Alçat del transductor muntat a la gàbia

Per tal d'aconseguir açò, l'esfera és nugada a una canya de pescar per a poder moure-la pel feix del transductor.



Fig. 23: Imatge de presa de mesures per al calibratge

Per a realitzar el calibratge s'utilitza el software ER60 de Simrad, que és configurat de la següent forma:

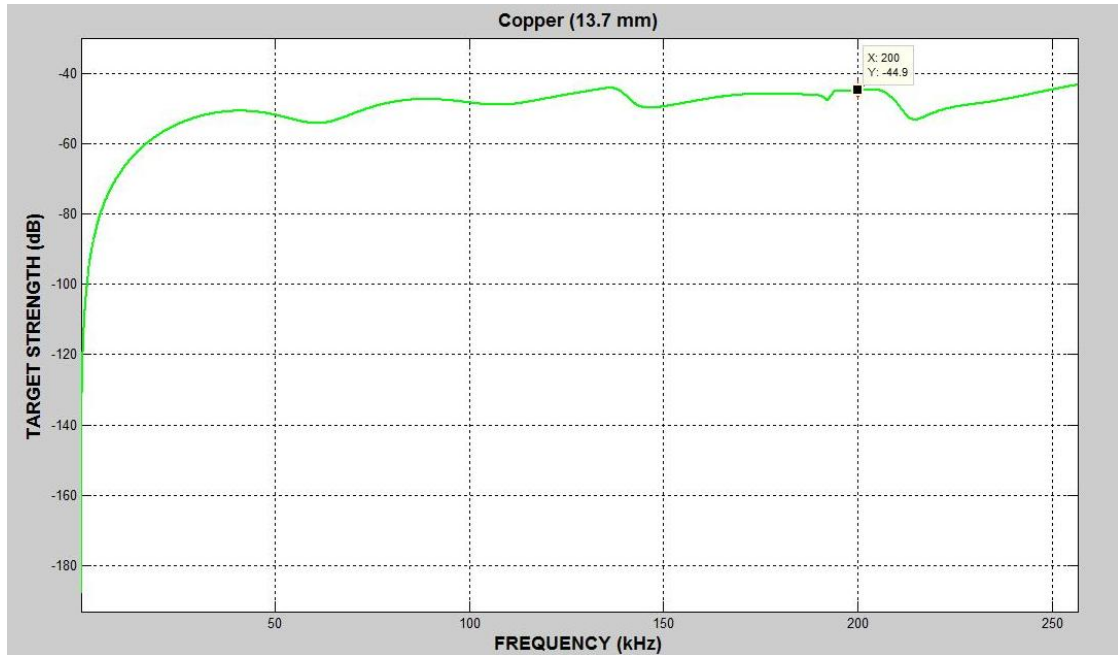
Llindar mínim	-70 dB
Mínima longitud d'eco	0.8 (respecte a la longitud del pols)
Màxima longitud d'eco	1.8 (respecte a la longitud del pols)
Màxima desviació de fase	8
Compensació màxima de guany	5 dB
Mínima distància entre ecos	1

Taula 1: Configuració ecosonda

Per a cadascuna de les mesures de calibratge es mesura la temperatura de l'aigua i s'introdueix en el software per a calcular la velocitat del so; depenent d'ella i de la longitud del pols, s'obté el valor del TS de l'esfera.

Amb l'ajuda l'aplicació "TS_Package" de l'"EchoLab Toolkit" del *Matlab* es calcula el valor del TS de l'esfera de coure de 13,7mm. Per a això li s'introdueix la temperatura i la salinitat de l'aigua. La salinitat té un valor de 36 ppm i la temperatura oscil·la entre 27°C i 29°C.

A continuació es mostra el gràfic del TS depenent de la freqüència a $T = 28^{\circ}\text{C}$, és a dir, quan la velocitat de propagació del so és de 1546m/s (Annex 2).



Gràfic1: TS teòric de del blanc de referència

Tot seguit, es mostra el gràfic proporcionat pel fabricant del valor del *TS* de l'esfera. En aquest cas, el *TS* depèn de la velocitat de propagació del so i de la longitud del pols.

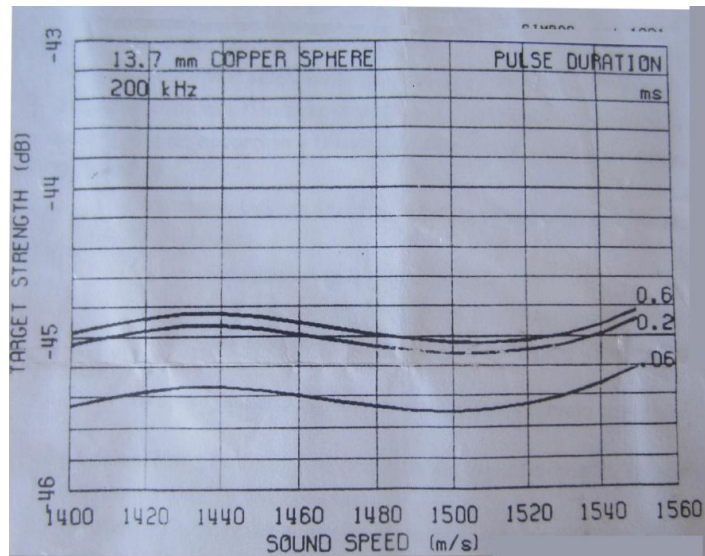


Fig. 24: Gràfic del TS de referència del blanc de referència

Pot observar-se que, per a una freqüència de 200kHz i una velocitat de propagació del so de 1546m/s, s'obté un *TS* teòric de -44,9dB.

Segons el full d'especificacions proporcionat pel fabricant, amb la mateixa velocitat i per als tres valors de longitud de pols, s'obté, aproximadament, el mateix valor de *TS*.

El darrer pas, abans de calibrar, és introduir el valor de referència del *TS*, la dispersió permesa (en aquest cas 5dB) i les distàncies límit de la capa on va a trobar-se l'esfera.

A continuació es mostra la finestra de calibratge.

A la part dreta de la finestra es troben les deteccions de l'esfera. El programa informàtic dona per vàlids el calibratges amb cent deteccions, però en aquest estudi intenten fer-se més de dues-centes.

A la part esquerra de la finestra es mostren les deteccions realitzades en cada quadrant. Les deteccions de color blau, signifiquen que el valor de *TS* està per davall del valor de referència introduït; les de color roig estan per dalt del valor de *TS* introduït i les verdes prop de l'eix són les utilitzades per a determinar el valor de correcció.

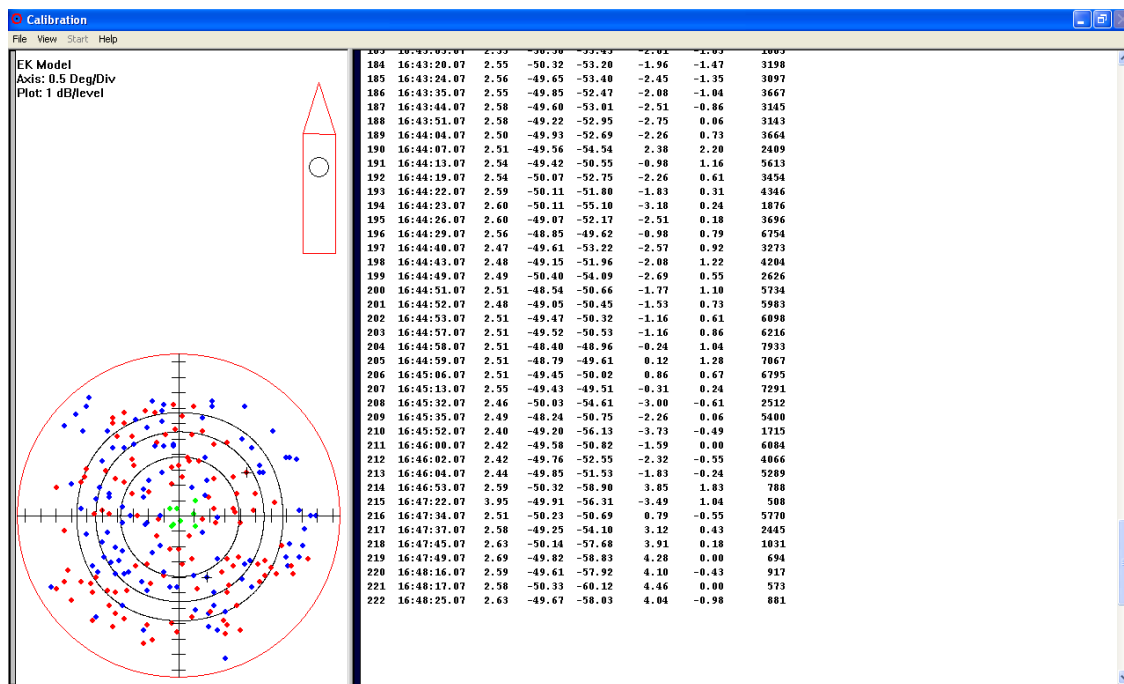


Fig. 25: Finestra de calibratge.

En finalitzar el calibratge, s'ha de comprovar el valor quadràtic mitjà (*RMS*). Si aquest valor és inferior a 0,2, es considera que es té un bon calibratge; si està entre 0,2 i 0,4, es tindrà un calibratge acceptable; si el valor *RMS* és superior a 0,4, el calibratge haurà de repetir-se.

VI.2. TRANSDUCTOR ES10 DE SIMRAD

En aquest cas, degut a que és un transductor *single-beam*, no pot realitzar-se el calibratge explicat anteriorment, ja que no pot detectar l'angle d'incidència de l'eco respecte al transductor. Per tant, el que s'ha fet és realitzar la gravació de l'ecograma durant trenta minuts per a realitzar l'anàlisi amb el software *Sonar5_Pro*.

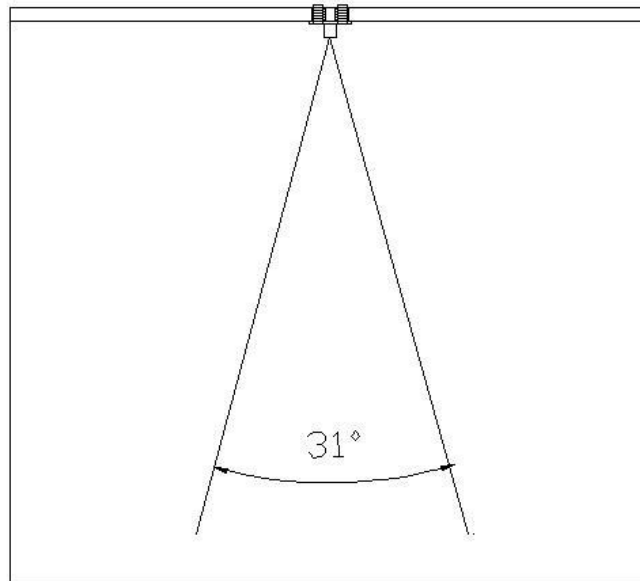


Fig. 26: Alçat del transductor muntat a la gàbia

El software ER60 es configura de la mateixa manera que s'ha explicat anteriorment i l'esfera és introduïda a l'aigua.

Es mostra la finestra del software. La ratlla senyalada amb la fletxa és l'esfera. Les marques que es veuen per dalt i per baix d'aquesta ratlla són peixos que van entrar dins la gàbia.

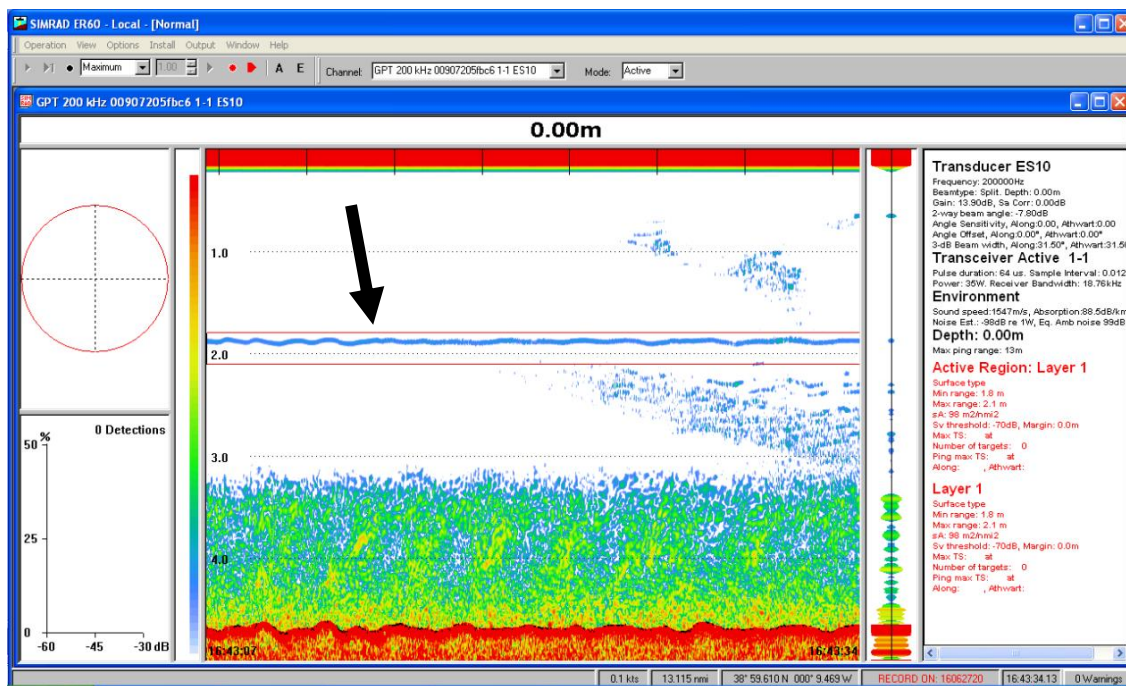


Fig. 27: Finestra del software ER60

Per al cas del transductor *split-beam*, l'ecosonda du implementat el processat dels ecos, però per al *split-beam*, és necessari fer-lo.

Com s'ha comentat anteriorment, s'han realitzat mesures de 30 minuts per a analitzar-les posteriorment.

Les mesures són analitzades amb el software *Sonar5_Pro*, implementat pel Dr. Helge Balk, professor de la Universitat d'Oslo. Aquest software és una ferramenta de post-processat de dades i pot utilitzar-se per a tres tasques principalment: estimació d'abundància, (que inclou estimació de biomassa i recompte de traces), estudis del comportament de les espècies i estudis físics. [11]

La primera tasca per a poder utilitzar el *Sonar5_Pro* és convertir els arxius *.RAW procedents de l'ER60 a *.uuu, arxiu propi del software. En aquesta conversió, s'elegeix la funció *TVG (Time – Varied – Gain)* que, com ja s'ha explicat en la secció II.5, dependrà de si es té una font puntual o extensa. En aquest cas es té una font puntual, per tant s'elegeix la funció $TVG = 40 \cdot \log(R) + 2 \cdot \beta \cdot R$.

Al software li s'insereix la freqüència de treball del transductor, la profunditat, la temperatura i la salinitat.

També s'introdueixen diferents paràmetres inicials referents a l'ecograma *Single Echo Detection (SED)*, de deteccions d'ecos simples. :

Longitud mínima del blanc	-70 dB
Longitud mínima de l'eco	0,4 (relatiu a l'ample del pols)
Longitud màxima de l'eco	2 (relatiu a l'ample del pols)
Eliminació de pics múltiples	Medium (1,5 dB)

Taula 2: Paràmetres inicials

En els *single-beam*, sols s'utilitzen criteris d'amplitud i de durada de pols.

Per a completar la conversió de fitxers, es determina el llindar per a ecogrames *AMP*, d'amplituds. Aquest paràmetre es configura en -100dB.

Després de convertir els arxius, és aconsellable reduir el soroll dels ecogrames, el qual és una combinació de sorolls, ambiental, de reverberació i del propi equip. Per dur-ho a terme, s'utilitza un filtre de creuament (*crossfilter*) que permet separar el soroll dels blancs.

La implementació del filtre està composta per tres passos:

1. Detector: a partir de l'ecograma es realitza un filtrat de detecció amb les següents característiques:

	Amplària (nº de pings)	Altura (nº de mostres)
Filtre de primer pla	3	1
Filtre de segon pla	1	55

Taula 3: Característiques filtres

Posteriorment, el filtre de segon pla és amplificat 6dB i, finalment, els tres es combinen.

2. Avaluador: s'avaluen els objectes detectats i es rebutgen aquells que no acompleixen unes determinades característiques. En aquest cas, com que el que va a analitzar-se no són traces de peixos sinó una traça continua (ja que s'ha gravat l'esfera de calibratge), es configura que el *track length* estiga entre 500 i 5000 pings.
3. Separació del soroll i el blanc: es separa el soroll dels blans transferint-se sols els blans detectats, tant del l'ecograma *AMP*, d'amplituds, com de l'ecograma *SED*

Per a realitzar l'anàlisi *SED*, s'ha de definir la capa d'interès. La distància mínima al transductor ve donada pel camp pròxim del transductor a la freqüència de treball, i la major distància per l'eco de la superfície.

Una vegada definida l'esmentada capa d'interès, es configuren els paràmetres *SED* de qualitat de la següent forma:

Longitud mínima del blanc	-60 dB
Longitud mínima de l'eco	0,8 (relatiu a l'ample del pols)
Longitud màxima de l'eco	1,8 (relatiu a l'ample del pols)
Eliminació de pics múltiples	1,5 dB

Taula 4: Paràmetres de qualitat

Finalment, es procedeix a l'anàlisi. S'elegeix anàlisi de biomassa utilitzant el mètode *Echo counting* per tal d'obtenir distribucions per a les deteccions *SED*.

VII. RESULTATS

VII.1. TRANSDUCTOR ES200 – 7C

A continuació es mostren els resultats dels calibratges amb el transductor ES200 – 7C.

Com ja s'ha explicat anteriorment, el calibratge es realitza per a cada potència de transmissió, en aquest cas 63W, 90W i 300W, i per a cada longitud de pols, en aquest cas 64 μ s, 128 μ s i 256 μ s. El software permet fer mesures amb polsos de 512 μ s i 1024 μ s, però en el moment de realitzar el calibratge amb aquestes configuracions, el software no va realitzar cap detecció del blanc de referència. Degut a açò i a que aquestes longituds de pols no són utilitzades normalment, ja que no proporcionen bona resolució en els ecogrames, es decideix no calibrar l'aparell amb aquestes durades de pols.

En la taula que apareix a continuació, es mostren el nombre de deteccions realitzades i el valor *RMS* per a les mesures realitzades amb 63W:

Durada de pols	Nº de deteccions	RMS (dB)
64 μ s	231	0,3
128 μ s	221	0,35
256 μ s	194	0,21

Taula 5: Deteccions i *RMS* quan $P = 63W$

A continuació es mostren les imatges de les deteccions per a cadascuna de les configuracions.

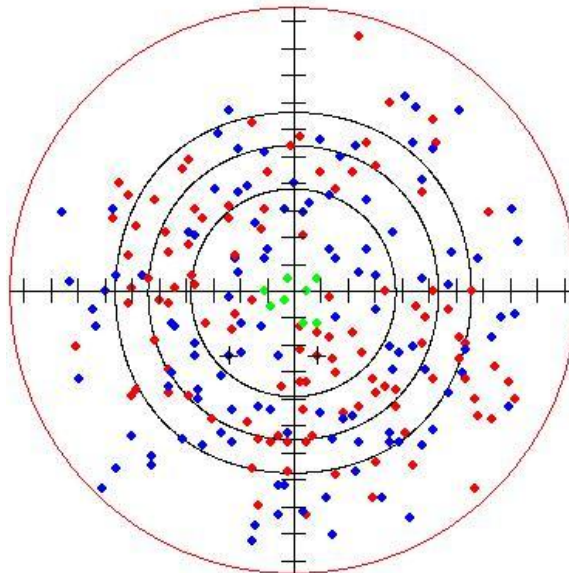


Fig. 28: Calibratge realitzat amb $P = 63W$ i $\tau = 64\mu$ s

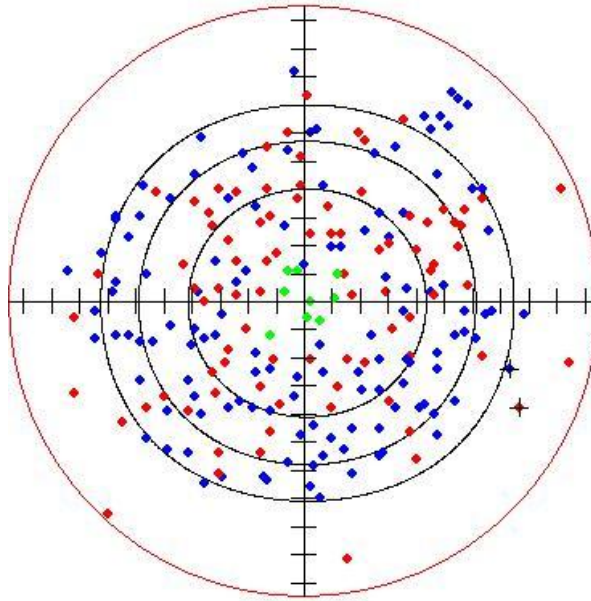


Fig. 29: Calibratge realitzat amb $P = 63W$ i $\tau = 128\mu s$

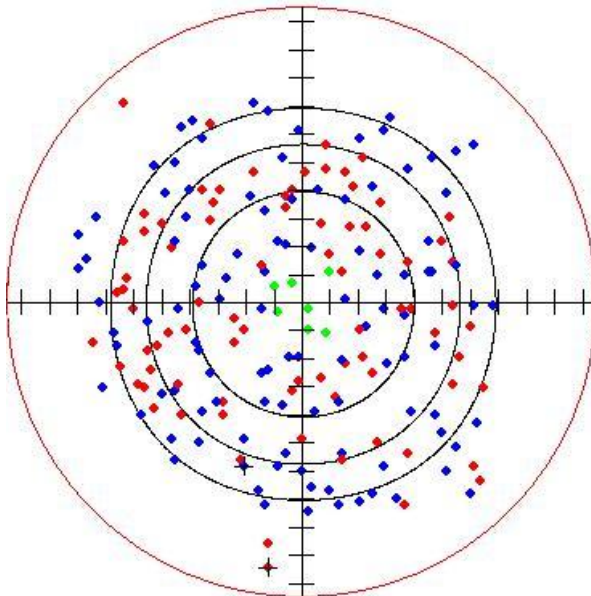


Fig. 30: Calibratge realitzat amb $P = 63W$ i $\tau = 256\mu s$

En la taula que apareix a continuació, es mostren el nombre de deteccions realitzades i el valor *RMS* per a les mesures realitzades amb 90W:

Durada de pols	Nº de deteccions	RMS (dB)
64 μs	222	0,27
128 μs	251	0,28
256 μs	173	0,12

Taula 6: Deteccions i *RMS* quan $P = 90W$

A continuació es mostren les imatges de les deteccions per a cadascuna de les configuracions.

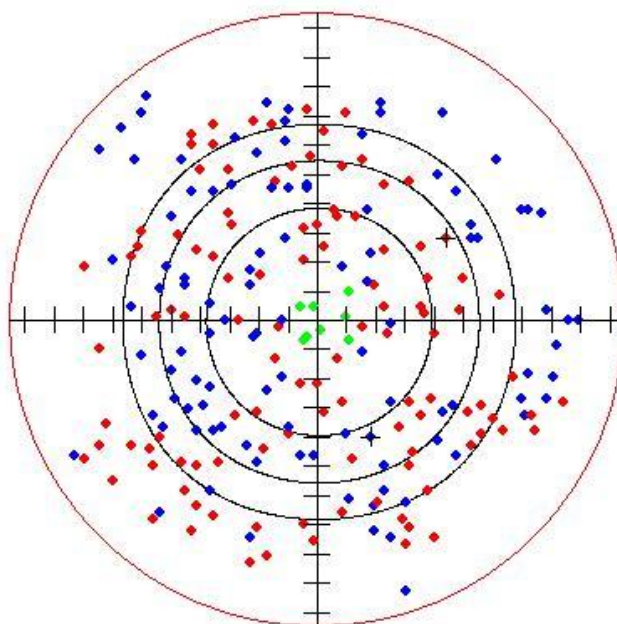


Fig. 31: Calibratge realitzat amb $P = 90\text{W}$ i $\tau = 64\mu\text{s}$

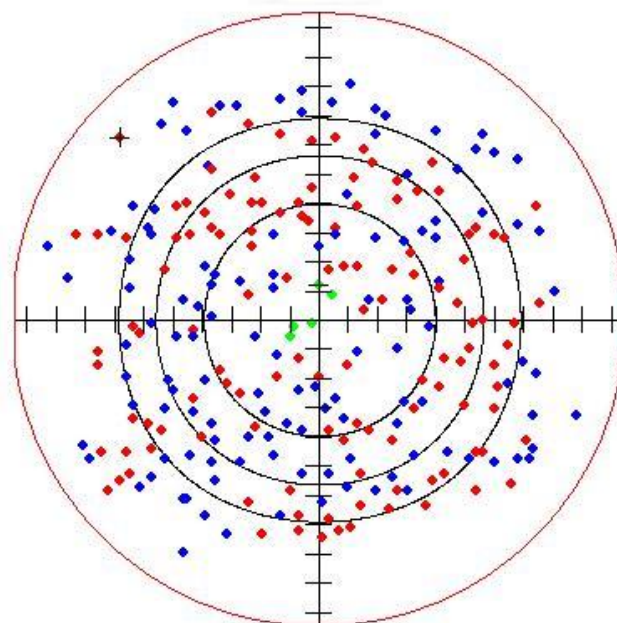


Fig. 32: Calibratge realitzat amb $P = 90\text{W}$ i $\tau = 128\mu\text{s}$

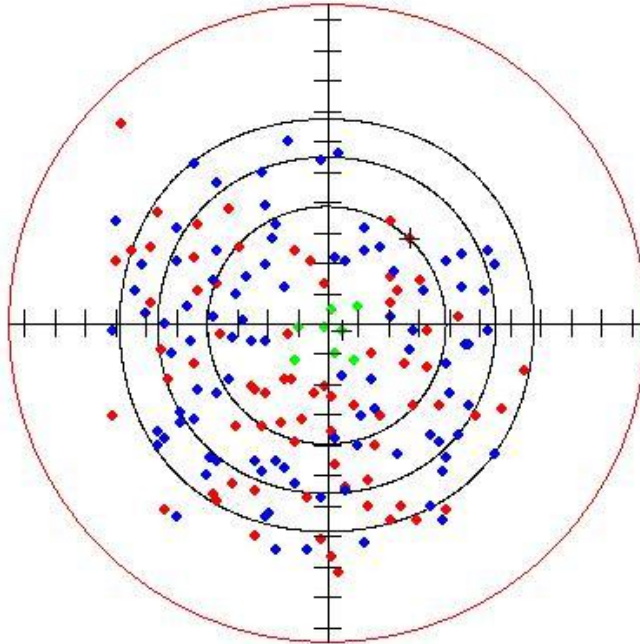


Fig. 33: Calibratge realitzat amb $P = 90W$ i $\tau = 256\mu s$

En la següent taula, es mostren el nombre de deteccions realitzades i el valor *RMS* per a les mesures realitzades amb 300W:

Durada de pols	Nº de deteccions	RMS (dB)
64 μs	204	0,28
128 μs	201	0,29

Taula 7: Deteccions i *RMS* quan $P = 300W$

Pot observar-se que en aquest cas no es van fer les mesures per a la duració de pols de 256 μs , açò és degut a que no es realitzaven deteccions en el moment de la mesura.

A continuació es mostren les imatges de les deteccions per a cadascuna de les configuracions.

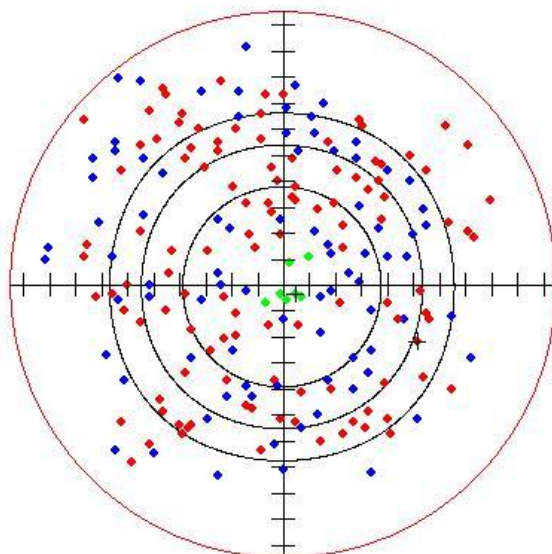


Fig. 34: Calibratge realitzat amb $P = 300\text{W}$ i $\tau = 64\mu\text{s}$

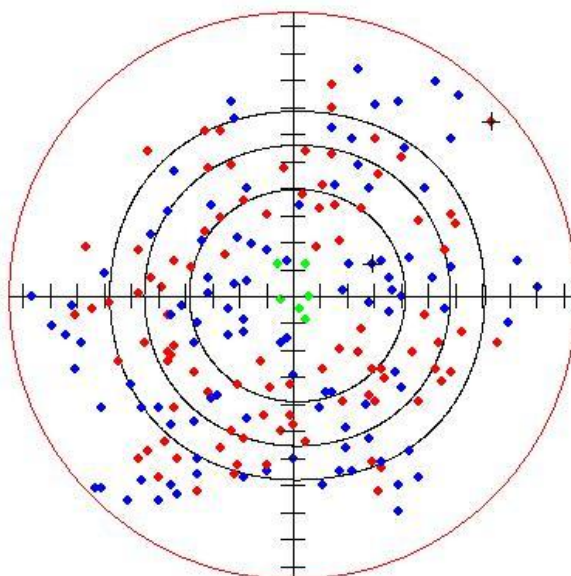
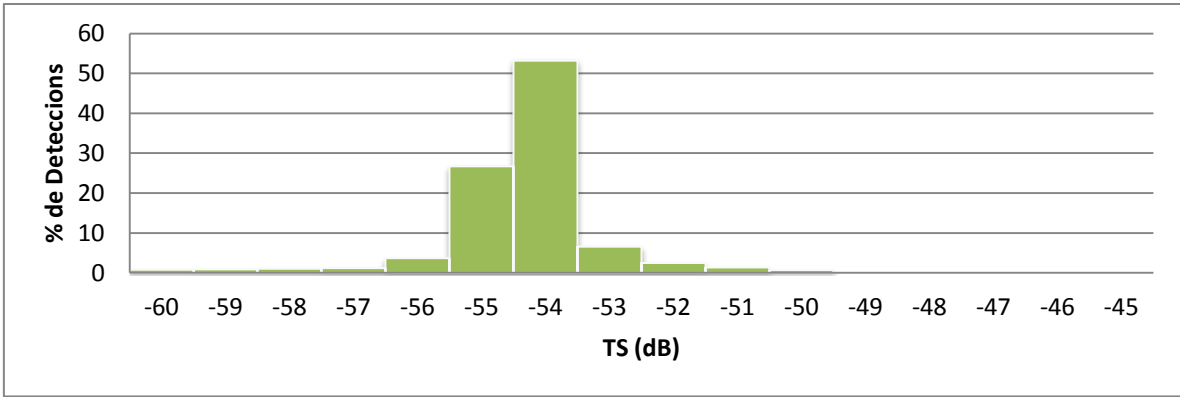


Fig. 35: Calibratge realitzat amb $P = 300\text{W}$ i $\tau = 256\mu\text{s}$

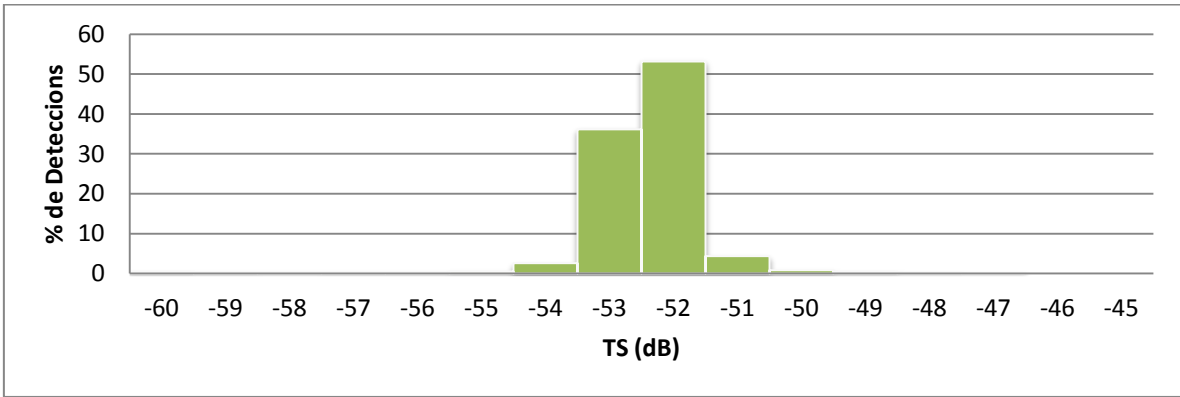
VII.2. TRANSDUCTOR ES10

Amb aquest transductor, s'han realitzat mesures amb 25W, 35W i 50W per a cada durada de pols, de $64\mu\text{s}$, $128\mu\text{s}$, $256\mu\text{s}$, $512\mu\text{s}$ i $1024\mu\text{s}$.

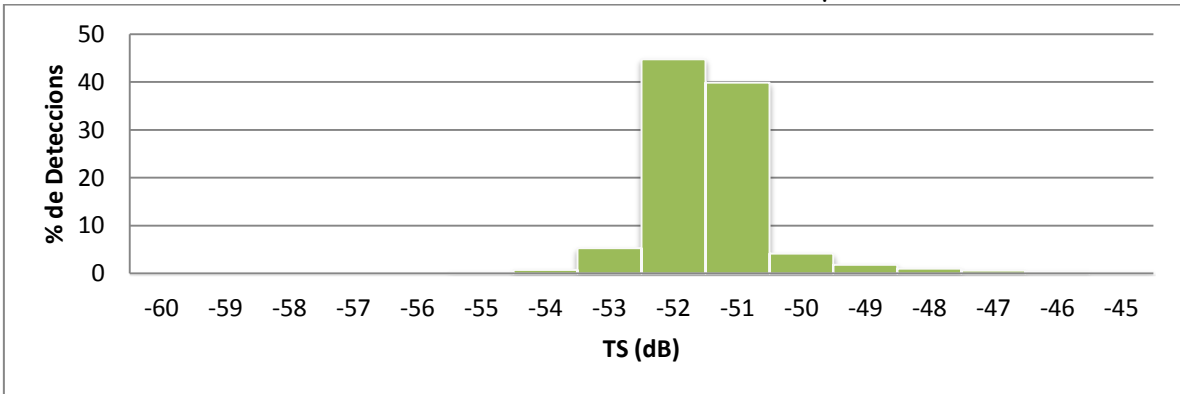
Als gràfics següents es mostren les distribucions del *TS* mitjà de l'eco, per a cadascuna de les configuracions amb 25W:



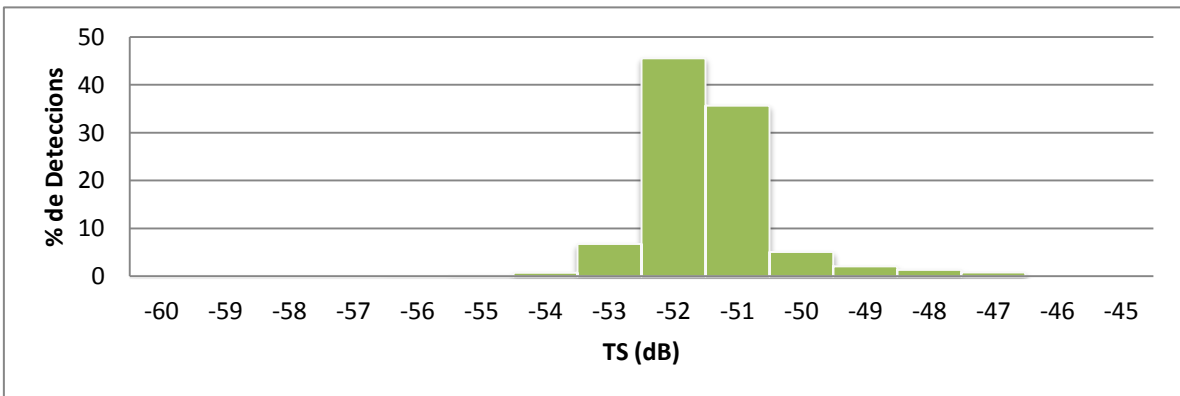
Gràfic 2: Distribució del TS amb $P = 25W$ i $\tau = 64\mu s$



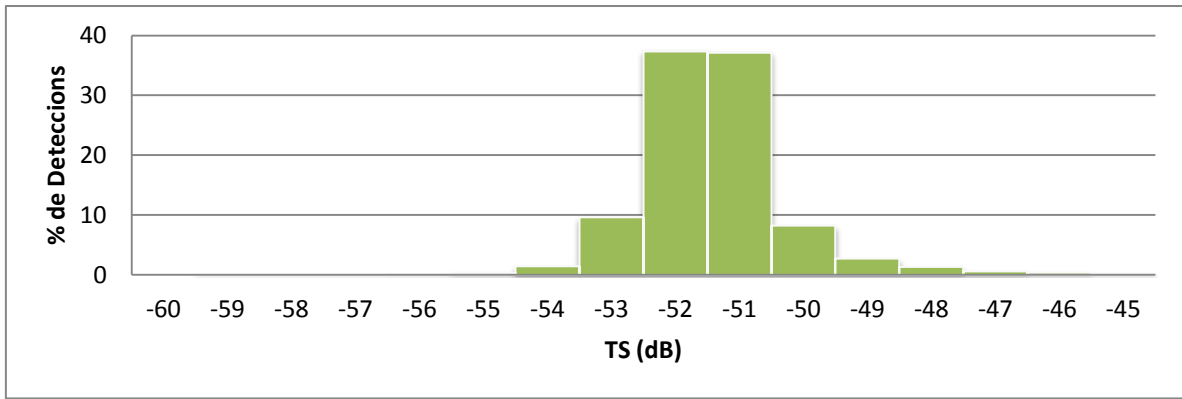
Gràfic 3: Distribució del TS amb $P = 25W$ i $\tau = 128\mu s$



Gràfic 4: Distribució del TS amb $P = 25W$ i $\tau = 256\mu s$



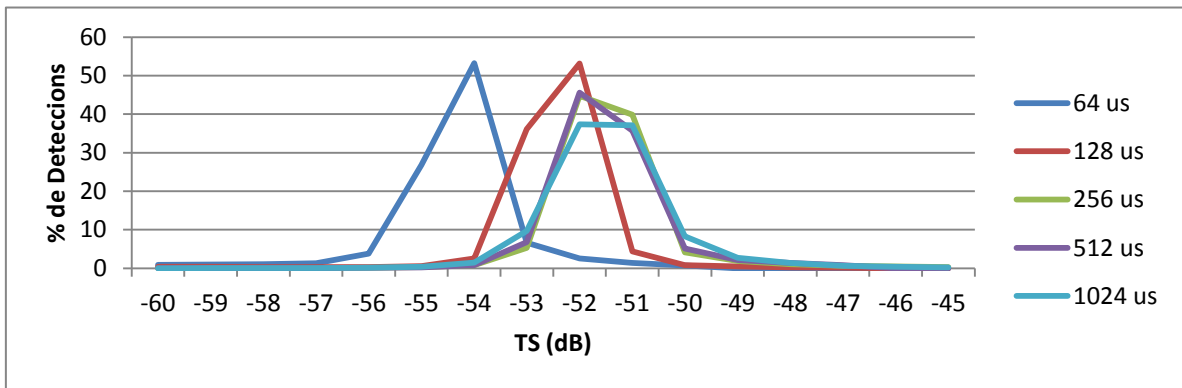
Gràfic 5: Distribució del TS amb $P = 25W$ i $\tau = 512\mu s$



Gràfic 6: Distribució del TS amb $P = 25W$ i $\tau = 1024\mu s$

Tal i com pot observar-se, totes les distribucions del TS mitjà, quan s'ha utilitzat una potència de transmissió de 25 W, són unimodals.

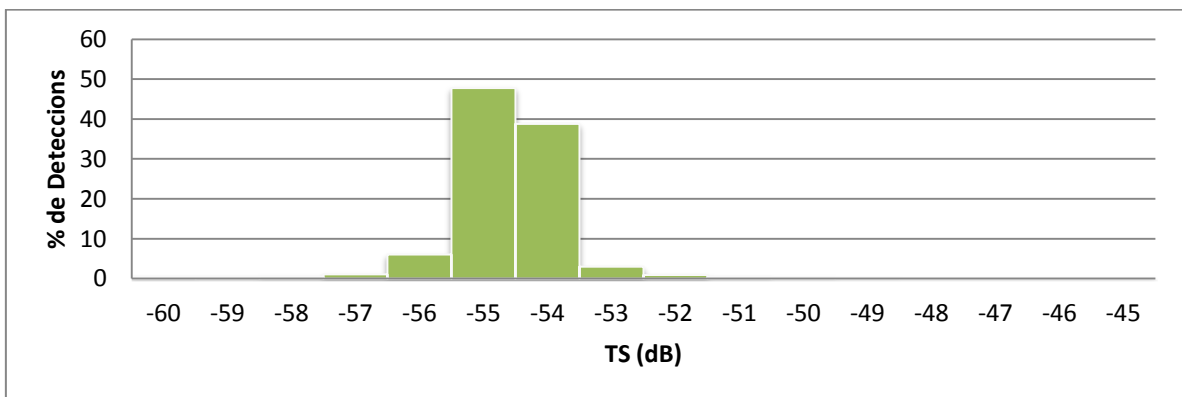
El gràfic que es veu a continuació, mostra totes les distribucions del TS mitjà per a les distintes durades de polsos:



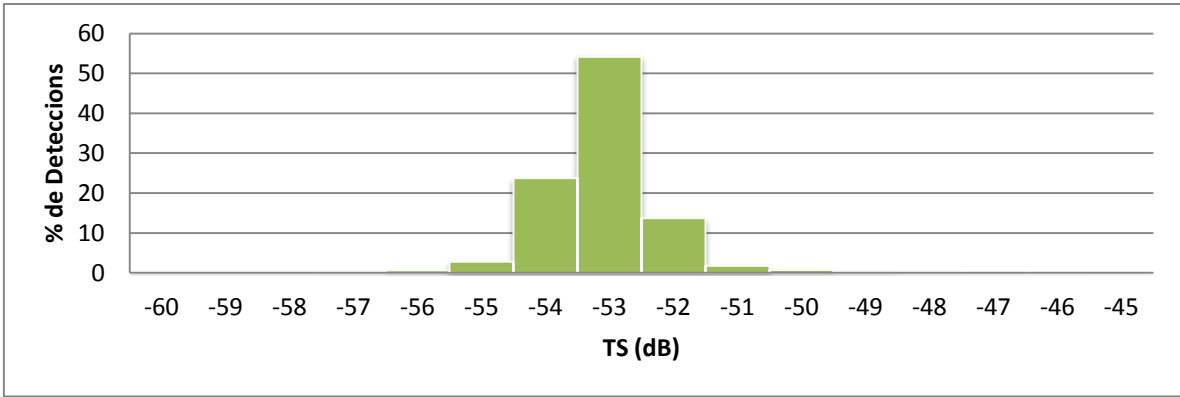
Gràfic 7: Distribucions del TS amb $P = 25W$

Es pot observar que per a tots els casos, excepte quan la durada del pols és de 64us, es té el màxim de deteccions per al mateix valor de TS, -52 dB.

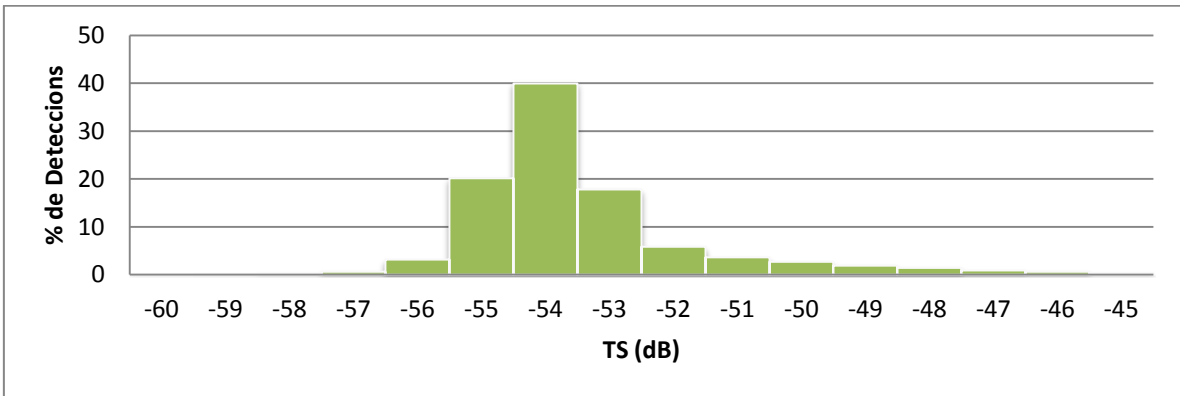
A continuació es mostren els gràfics de les distribucions del TS mitjà per a cadascuna de les configuracions amb 35W:



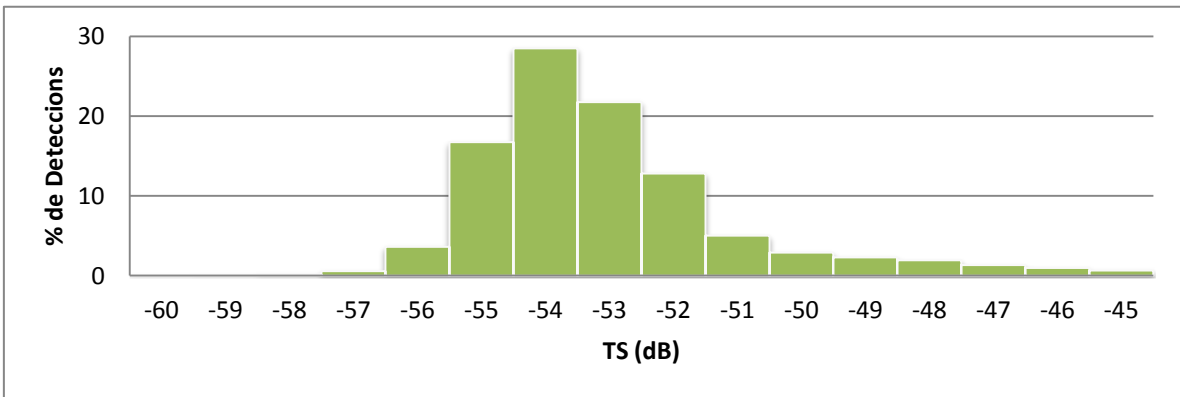
Gràfic 8: Distribució del TS amb $P = 35W$ i $\tau = 64\mu s$



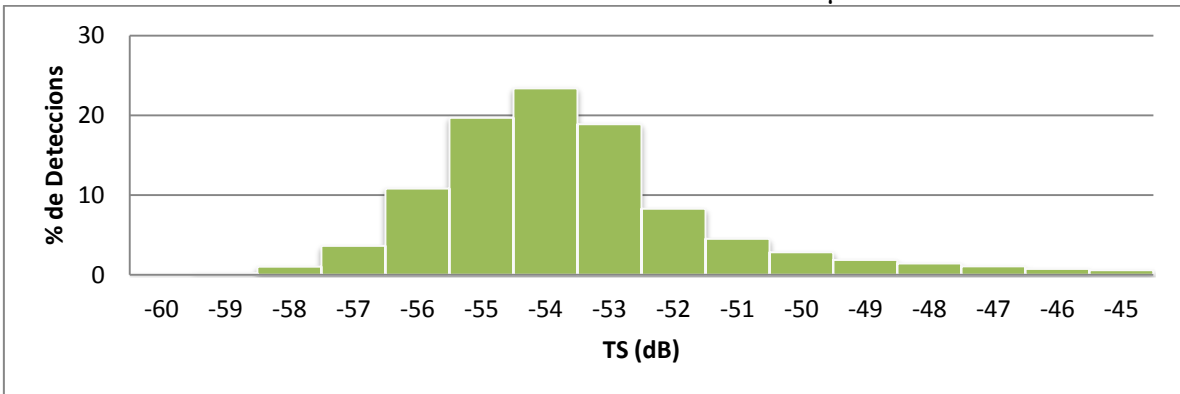
Gràfic 9: Distribució del TS amb $P = 35W$ i $\tau = 128\mu s$



Gràfic 10: Distribució del TS amb $P = 35W$ i $\tau = 256\mu s$



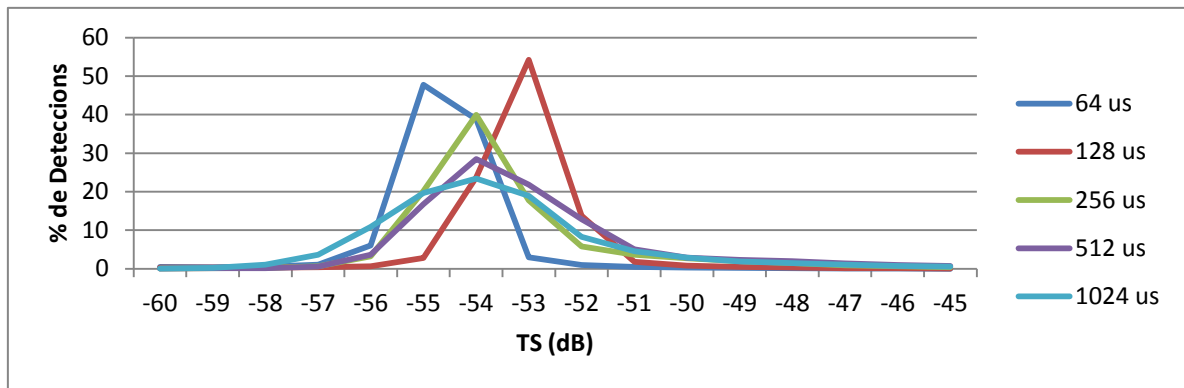
Gràfic 11: Distribució del TS amb $P = 35W$ i $\tau = 512\mu s$



Gràfic 12: Distribució del TS amb $P = 35W$ i $\tau = 1024\mu s$

En aquest cas, igual que en l'anterior, les distribucions són també unimodals

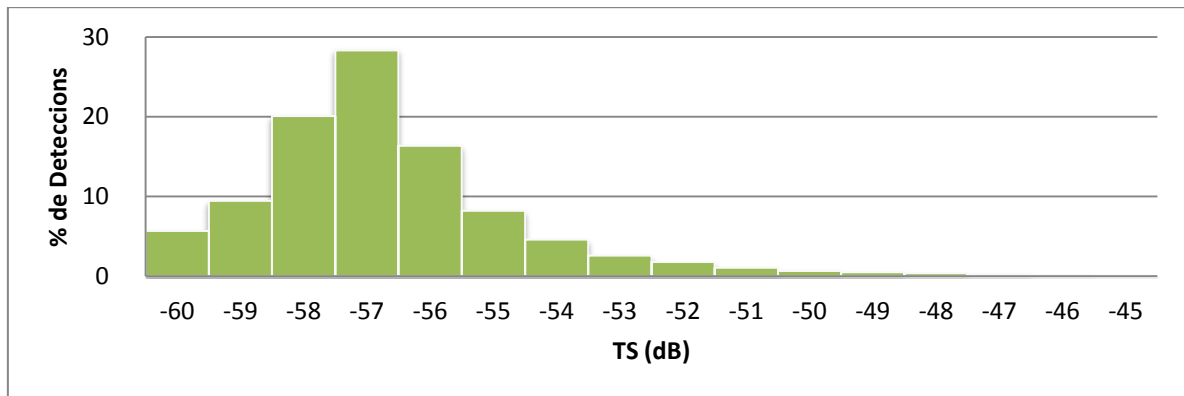
Seguidament, es mostra el gràfic general amb totes les distribucions obtingudes amb aquesta configuració.



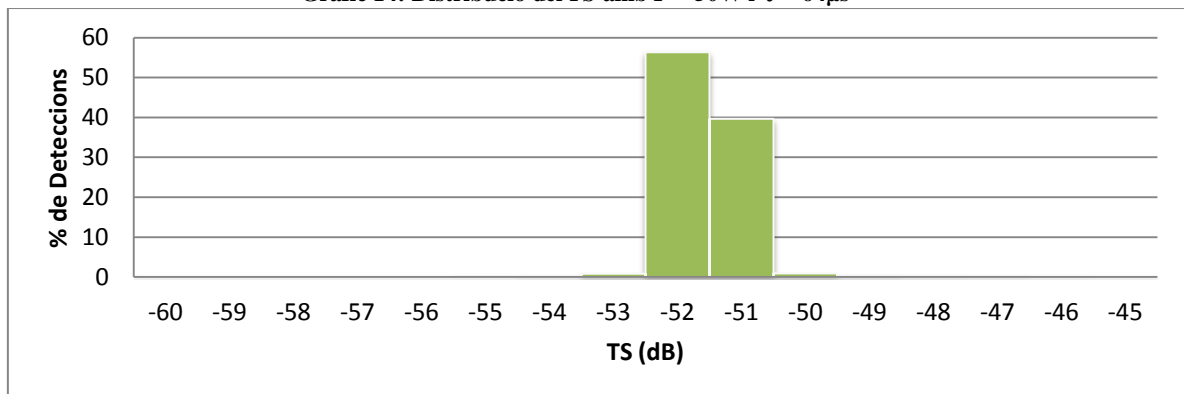
Gràfic 13: Distribució del TS amb P = 35W.

En aquest cas, sols les tres darreres distribucions (256us, 512us i 1024us), coincideixen en el seu valor màxim de deteccions, quan el TS val -54dB, mentre que el valor del TS quan es troba el màxim de deteccions per al pols de 64us és menor, -55dB; amb la durada de 128us el valor del TS és superior, -53dB.

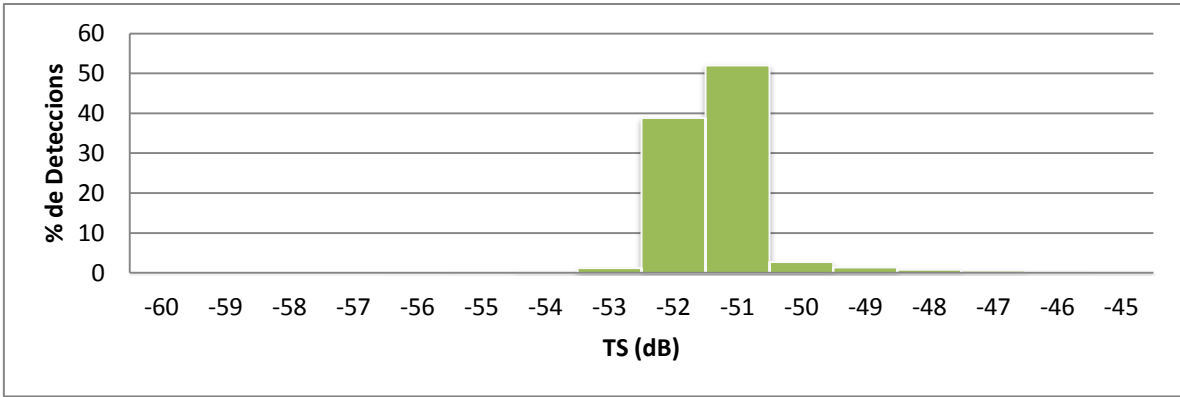
Finalment, es mostren els gràfics de les distribucions del TS per a cadascuna de les configuracions amb 50W:



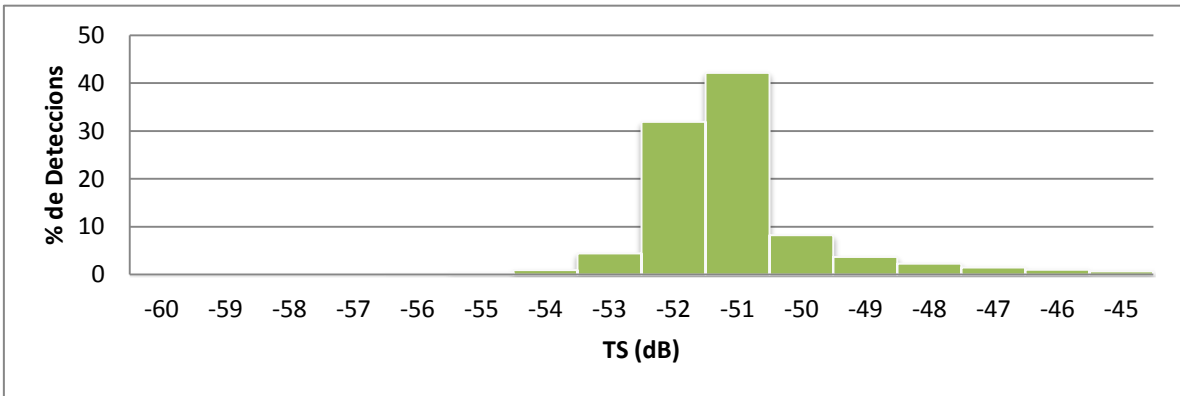
Gràfic 14: Distribució del TS amb P = 50W i $\tau = 64\mu s$



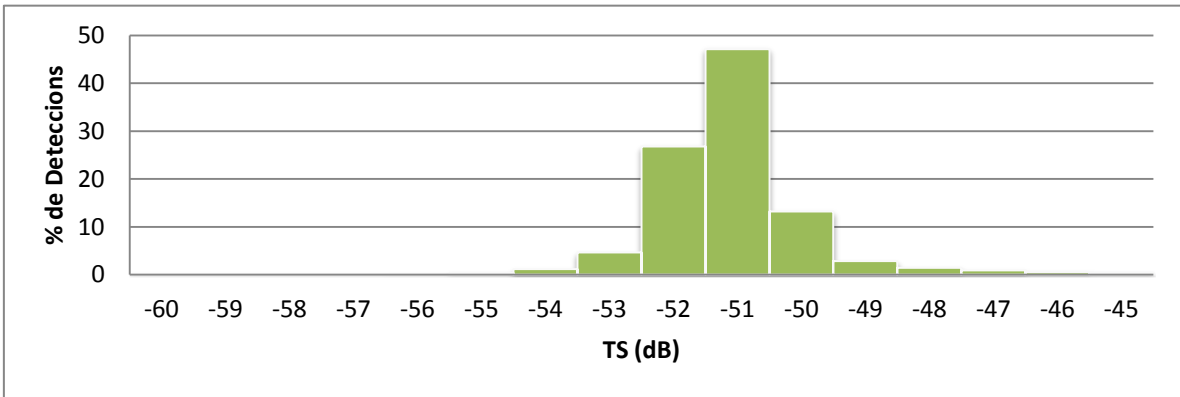
Gràfic 15: Distribució del TS amb P = 50W i $\tau = 128\mu s$



Gràfic 16: Distribució del TS amb $P = 30W$ i $\tau = 256\mu s$



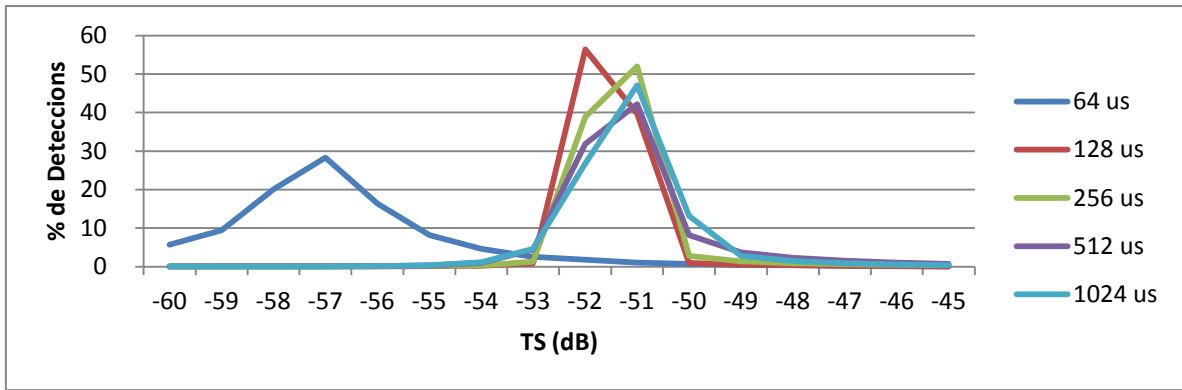
Gràfic 17: Distribució del TS amb $P = 50W$ i $\tau = 512\mu s$



Gràfic 18: Distribució del TS amb $P = 50W$ i $\tau = 1024\mu s$

Aquesta vegada, igual que en els dos casos anteriors, es tenen distribucions unimodals.

Al gràfic següent es mostren les cinc distribucions juntes:

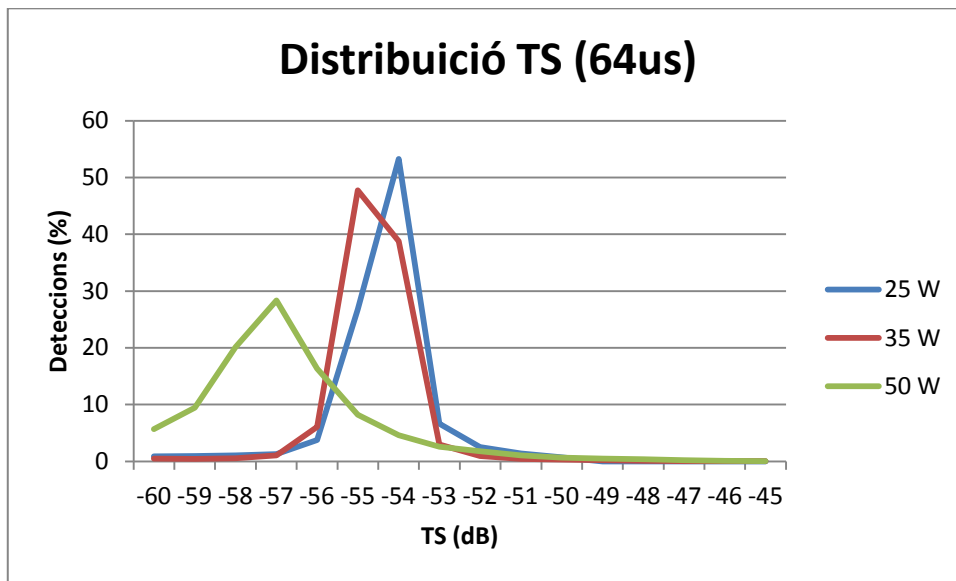


Gràfic 19: Distribució del TS amb P = 50W.

Es pot observar que el màxim de deteccions, per a la durada de pols de 64us, es produeix abans que en els altres, quan el TS té un valor de -57dB. La resta de casos tenen aquest màxim més tard, primer es troba el de 128us, a -52 dB i el tres restants estan al mateix punt, a -51dB.

Finalment, es mostren els gràfics amb la distribucions del TS per a una determinada durada de pols per a totes les potències utilitzades.

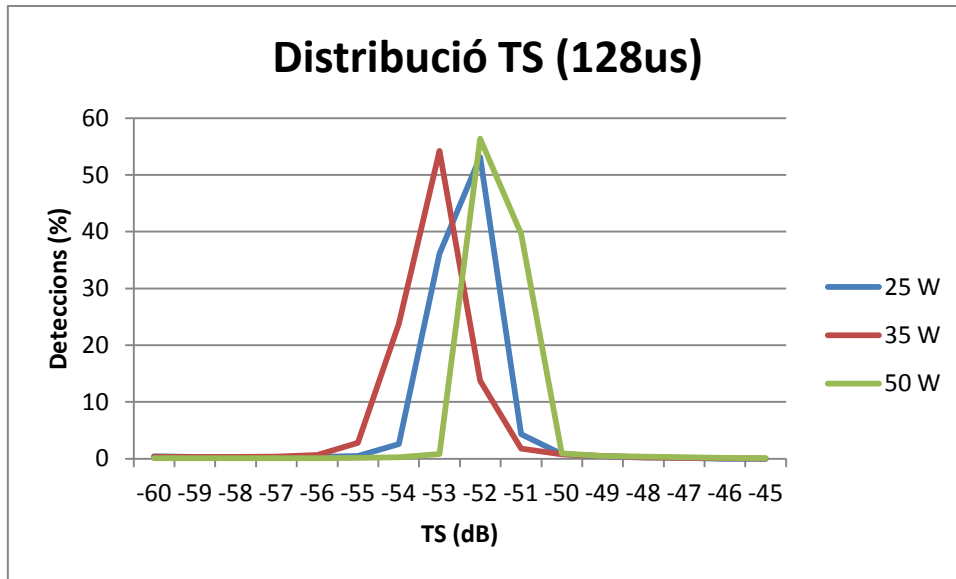
En primer lloc es mostra la distribució per a $\tau = 64\mu\text{s}$:



Gràfic 20: Distribució del TS per a 64 μs i totes les potències utilitzades.

Pot observar-se que a mesura que s'augmenta la potència, el TS disminueix.

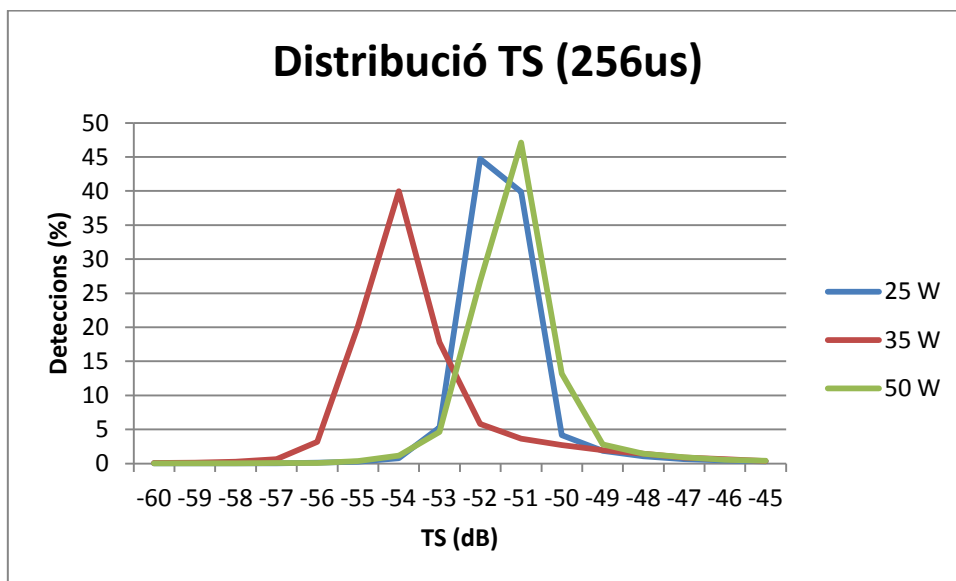
Seguidament es mostra la distribució per a $\tau = 128\mu\text{s}$:



Gràfic 21: Distribució del *TS* per a 128 μ s i totes les potències utilitzades.

En aquest cas s'observa que el valor del *TS* és semblant en els tres casos, al voltant dels -53dB.

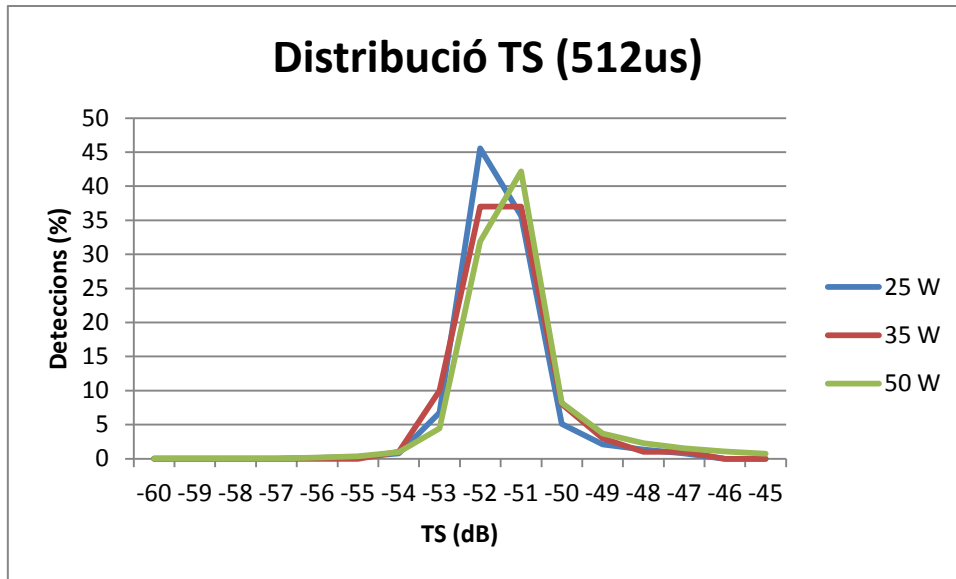
En tercer lloc, es mostra el gràfic per a $\tau = 256\mu$ s:



Gràfic 22: Distribució del *TS* per a 256 μ s i totes les potències utilitzades.

En el gràfic 22, el valor de *TS* quan es té una potència de 35W és entre 2 i 3dB inferior que quan s'utilitzen les altres potències.

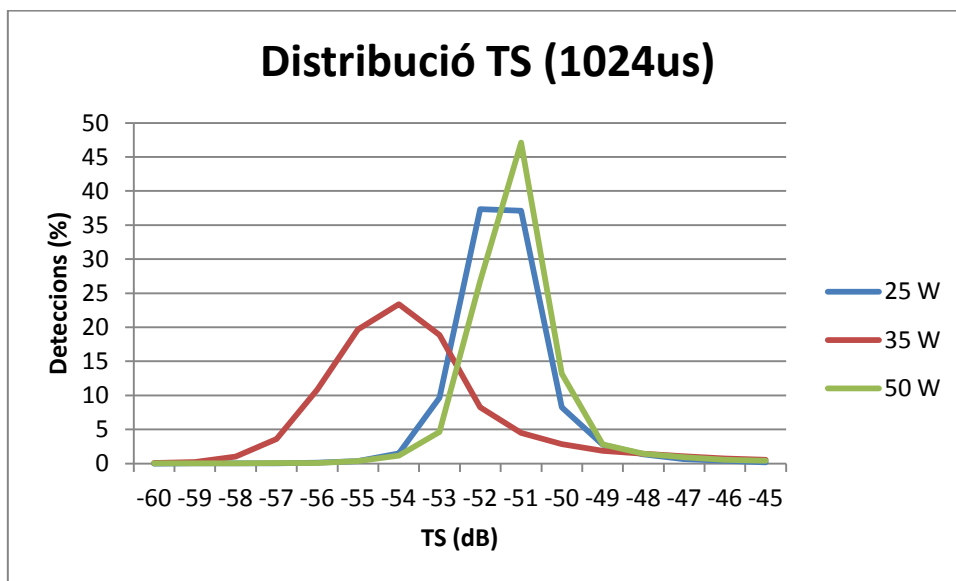
A continuació, es mostra el gràfic per a $\tau = 512\mu$ s:



Gràfic 23: Distribució del TS per a 512µs i totes les potències utilitzades.

En aquest cas, igual que en el segon cas que s'ha mostrat, s'observa que el valor del TS és semblant en els tres casos, al voltant dels -52dB.

Finalment, es mostra el gràfic per a $\tau = 1024\mu\text{s}$:



Gràfic 24: Distribució del TS per a 1024µs i totes les potències utilitzades.

En el gràfic 25 s'observa que el menor valor del TS s'obté per a la potència de 35W, mentre que per a les altres potències s'obté un valor 3dB major.

VIII. CONCLUSIONS

Al llarg del document s'ha descrit el muntatge del dispositiu experimental ubicat al port de Gandia, com també s'han explicat els diferents procediments utilitzats per a realitzar els calibratges dels dos tipus de transductors utilitzats.

En el cas del transductor *split – beam*, es pot dir que per a les tres potències utilitzades, per a temperatures entre 27°C i 29°C i una salinitat de 36ppm, al augmentar les durades del pols transmès, les deteccions de l'esfera de calibratge disminueixen. Als resultats mostrats no es troba aquesta disminució, ja que, al realitzar les mesures, es va utilitzar més temps en les de major ample de pols. Aquest efecte és degut a la combinació de dos efectes. Per una banda, al augmentar la durada del pols, augmenta el soroll de reverberació causat per la matèria en suspensió que hi ha a l'aigua, per altra banda, l'augment de la durada del pols causa major dificultat per a distingir els ecos procedents de l'esfera i el soroll ambient.

A més a més, s'ha comprovat que, quan es realitza el calibratge a $P = 300W$, les deteccions tarden més en aconseguir-se. Açò és degut, probablement, a que apareixen efectes no lineals en el transductor i el medi quan s'augmenta l'energia emesa, i part de l'energia es perd.

Pel que fa al transductor *single – beam*, després d'analitzar els resultats s'observa que, per al les tres potències de transmissió utilitzades, quan es té una temperatura entre 27°C i 29°C i una salinitat de 36ppm, el menor resultat del *TS* s'obté per a les durades de pols de 64µs.

Com s'ha observat als gràfics on es representa la distribució del *TS* per a una longitud de pols donada i totes les potències utilitzades, per a les longituds de pols de 128µs i 512µs els resultats són més coincidents, mentre que per a la resta hi ha més variabilitat. No obstant, no segueixen cap linealitat amb la potència; per tant, amb les mesures preses no pot concloure's la raó de les diferències de nivell pel canvi de potència, però és possible que estiguen influenciades per la relació de senyal a soroll (*SNR*), que s'empitjora degut a la poca profunditat a la que es troba la gàbia i a tots els seus elements, i a la reverberació.

Quan es van realitzar les mesures de calibratge, la temperatura de l'aigua del mar estava al voltant de 28°C i la velocitat del so a l'aigua era d'uns 1550 m/s. Mirant el gràfic proporcionat pel fabricant de l'esfera de calibratge, mostrat a la secció VI.1, el *TS* de l'esfera per a polsos de 64µs de duració hauria de ser de -45, 2dB. Després d'analitzar les mesures s'observa que aquest valor és de 9dB menys quan s'emet a 25W, 10dB quan s'emet a 35W i 12dB menys quan la potència és de 50W.

Aquesta diferència en el nivell és deguda a que la configuració del fitxer *.ini de l'unitat EK60 està realitzada per al transductor *split – beam*, i, per tant, la sensibilitat que apareix en ell no és la correcta per al transductor ES10. Hi ha que tenir-ho en compte quan es mesure amb aquest transductor per tal d'obtenir mesures més fiables.

IX. LÍNIES FUTURES

Com a línies futures d'estudi es proposa:

- Realitzar un major nombre de mesures per al transductor *single-beam* per tal d'establir una relació entre els calibratges dels dos tipus de transductors, ja que en l'actualitat no hi ha estudis sobre els calibratges dels transductors d'aquest tipus.
- Prendre les mesures del *TS* de les daurades utilitzant el sistema de vídeo i els sistemes acústics per a obtenir un sistema de monitoratge de peixos en gàbies de cultiu que permeti fer eficient i rentable la seua cria en captivitat.

AGRAÏMENTS

A Victor Espinosa per guiar-me al llarg de tot aquest treball.

A Ester i Vicent per la seua ajuda, tant a l'hora de resoldre els diferents dubtes que han sorgit, com en el muntatge del dispositiu.

A Julio per la seua col·laboració en la presa de les mesures, sense la qual no haguera pogut realitza-les.

A la meua família pel seu recolzament.

REFERÈNCIES

- [1] Apromar, “La acuicultura marina de Peces en España. Informe anual 2012”
www.apromar.com
- [2] D. N. MacLennan, E. J. Simmonds “Fisheries Acoustics” *Chapman & Hall* (1992)
- [3] Lawrence E. Kinsler, Austin R. Frey, Alan B. Coppens, James V. Sanders “Fundamentals of Acoustics” *Jon Wiley & Sons Inc.* (Quarta edició, 2000)
- [4] Herman Medwin , “Sounds in the Sea” *Cambridge University Press* (2005)
- [5] E. Ona, “Methodology for Target Strength Measurements” *ICES Cooperative Research Report 235* (1999)
- [6] Josep Lluís Moreno Jorge, “ Medida *in situ* del TS de la dorada” Treball Final de Carrera E.T. Telecomunicacions, especialitat Imatge i So, Universitat Politècnica de València. (2010)
- [7] E. Soliveres, J.L. Moreno, A. Cebrecos–Ruiz, V. Espinosa, “ Dorsal and ventral measurements on gilt-head sea-bream (*Sparus aurata*)”, X European Conference on Underwater Acoustics (ECUA), Estambul (2010)
- [8] A. Cebrecos, E. Soliveres M. Mozsynki, V. Espinosa “Medida del *TS* de la dorsal y ventral de la dorada en jaulas marinas empleando métodos directos e indirectos” , Congrés TecniAcústica León. (2010)
- [9] Full d’especificacions del transductor ES200-7C.
- [10] Full d’especificacions del transductor ES10
- [11] H. Balk, T. Lindem “Sonar4 and Sonar5_Pro post processing systems. Operator manual” *University of Oslo, Norway* (2008).

ANNEXOS

ANNEX 1: Càlcul del coeficient d'absorció de l'aigua del mar.

En l'aigua del mar es produeixen absorcions addicionals degudes a diferents inhomogeneïtats, com les sals dissoltes, els sòlids o les bombolles. L'atenuació és deguda, per una banda, a mecanismes d'absorció que transformen l'energia acústica en energia tèrmica, i per altra banda, a mecanismes que dispersen l'energia acústica fora del feix.

S'han desenvolupat una sèrie d'equacions per a predir quin serà el coeficient d'absorció dependent de la freqüència, la temperatura, la salinitat, la profunditat i el pH de l'aigua.

Les equacions més recents, de Francois i Garrison (1982), són les més precises per a calcular aquest coeficient.[2] el coeficient d'absorció s'obté amb la suma dels tres components que representen l'absorció deguda a l'àcid bòric, al sulfat de magnesi i a la viscositat.

$$\beta = f^2 \left[\left(\frac{A_1 f_1}{f_1^2 + f^2} \right) + \left(\frac{A_2 f_2 P_2}{f_2^2 + f^2} \right) + A_3 P_3 \right] \left(\text{dB}/\text{km} \right) \quad (17)$$

Quan es tracta d'aigua dolça, els dos primers termes són insignificants, per tant sols es té en compte el paràmetre corresponent a la viscositat ($\beta = f^2 A_3 P_3$).

En aquest cas, cal tenir en compte els tres factors.

$$A_1 = \left(\frac{8,86}{c} \right) \cdot 10^{(0,78 \cdot pH - 5)} \quad (18)$$

$$f_1 = 2,8 \left(\frac{s}{35} \right)^{0,5} \cdot 10^{\left(\frac{4 \cdot 1245}{T + 273} \right)} \quad (19)$$

$$A_2 = 21,44 \left(\frac{s}{c} \right) \cdot (1 + 0,0025T) \quad (20)$$

$$f_2 = \frac{8,17 \cdot 10^{\left(\frac{8 \cdot 1990}{T + 273} \right)}}{1 + 0,0018 \cdot (s - 35)} \quad (21)$$

$$P_2 = 1 - 1,34 \cdot 10^{-4} D + 6,2 \cdot 10^{-9} D^2 \quad (22)$$

$$P_3 = 1 - 3,83 \cdot 10^{-5} D + 4,8 \cdot 10^{-10} D^2 \quad (23)$$

El valor d' A_3 depèn de la temperatura, si $T \leq 20^\circ\text{C}$:

$$A_3 = 4,937 \cdot 10^{-4} - 2,59 \cdot 10^{-5} \cdot T + 9,11 \cdot 10^{-7} \cdot T^2 - 1,5 \cdot 10^{-8} \cdot T^3 \quad (24)$$

si $T > 20^\circ\text{C}$:

$$A_3 = 3,964 \cdot 10^{-4} - 1,146 \cdot 10^{-5} \cdot T + 1,45 \cdot 10^{-7} \cdot T^2 - 6,5 \cdot 10^{-10} \cdot T^3 \quad (25)$$

on T és la temperatura ($^\circ\text{C}$), s la salinitat (ppm), D la profunditat (m), f la freqüència d'interès (kHz) i c la velocitat de propagació del so (m/s) (Annex 2). Aquest model prediu el coeficient d'absorció amb un error del 5% per a temperatures de $-1,8^\circ\text{C}$ a 30°C , salinitats de 30 a 35 ppm i freqüències de 400Hz a 1 MHz. El pH de l'aigua oscil·la entre 7,8 i 8,2. Si no es coneixen els valor del pH i de la salinitat, s'assumeix que el pH val 8 i la salinitat 32 ppm.

ANNEX 2: Càlcul de la velocitat de propagació del so en l'aigua del mar.

Igual que l'absorció, la velocitat del so en l'aigua del mar depèn de la temperatura, la profunditat i la salinitat.

L'equació de Mackenzie (1981) és el mètode més recomanat per a realitzar un càlcul precís de la velocitat del so coneixent les condicions ambientals de l'aigua [2]. Aquest mètode presenta un error d'un 1% en el valor calculat.

$$c = 1448,96 + 4,591 \cdot T - 0,05304 \cdot T^2 + 2,374 \cdot 10^{-4} \cdot T^3 + 1,34 \cdot (s - 35) + 0,0163 \cdot D + 1,675 \cdot 10^{-7} \cdot D^2 - 0,01025 \cdot T \cdot (s - 35) - 7,139 \cdot 10^{13} \cdot T \cdot D^3 \quad (25)$$

on T és la temperatura (°C), s la salinitat (ppm) i D la profunditat (m). Aquest model prediu el coeficient d'absorció amb un error del 5% per a temperatures de -2°C a 30°C, salinitats de 25 a 40 ppm i profunditats de 0 a 8000 m. Dins d'aquests rangs, l'error estàndard de la predicció de la velocitat del so és de ±0,7 m/s. Per a profunditats inferiors a 1000m, el darrer terme de l'equació pren un valor molt menut i pot ser ignorat.

Freqüentment, en molts càlculs és adequat utilitzar una velocitat nominal de 1500m/s, que és la velocitat típica en les mesures en aigües superficials que cobreixen les plaques continentals en latituds mitjanes. A aquesta velocitat nominal li s'associa la impedància acústica característica $\rho_0 \cdot c = 1,54 \cdot 10^6 Pa \cdot s/m$.

D'igual forma que per al càlcul de l'absorció de l'aigua del mar, si es desconeix el valor de la salinitat, es recomana suposar una salinitat de 32 parts per miler.

ANNEX 3: Característiques del transductor ES200-7C de Simrad

Simrad ES200-7C Split beam echo sounder transducer

Introduction

The Simrad ES200-7C is a split-beam composite transducer with a large bandwidth. This provides a fine range resolution, which is important for single fish detection and target strength measurement. The transducer has four quadrants.

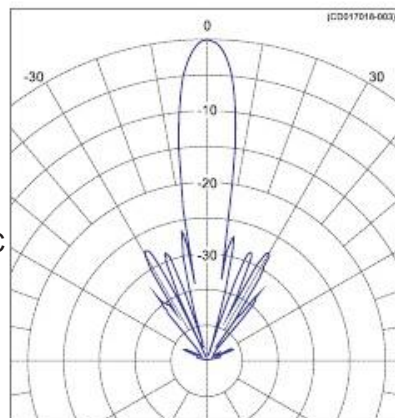
Order number

KSV-203003

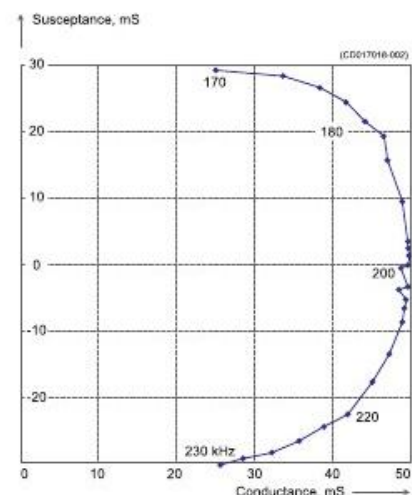
Technical specifications

The following specifications are valid when all four quadrants are wired in parallel.

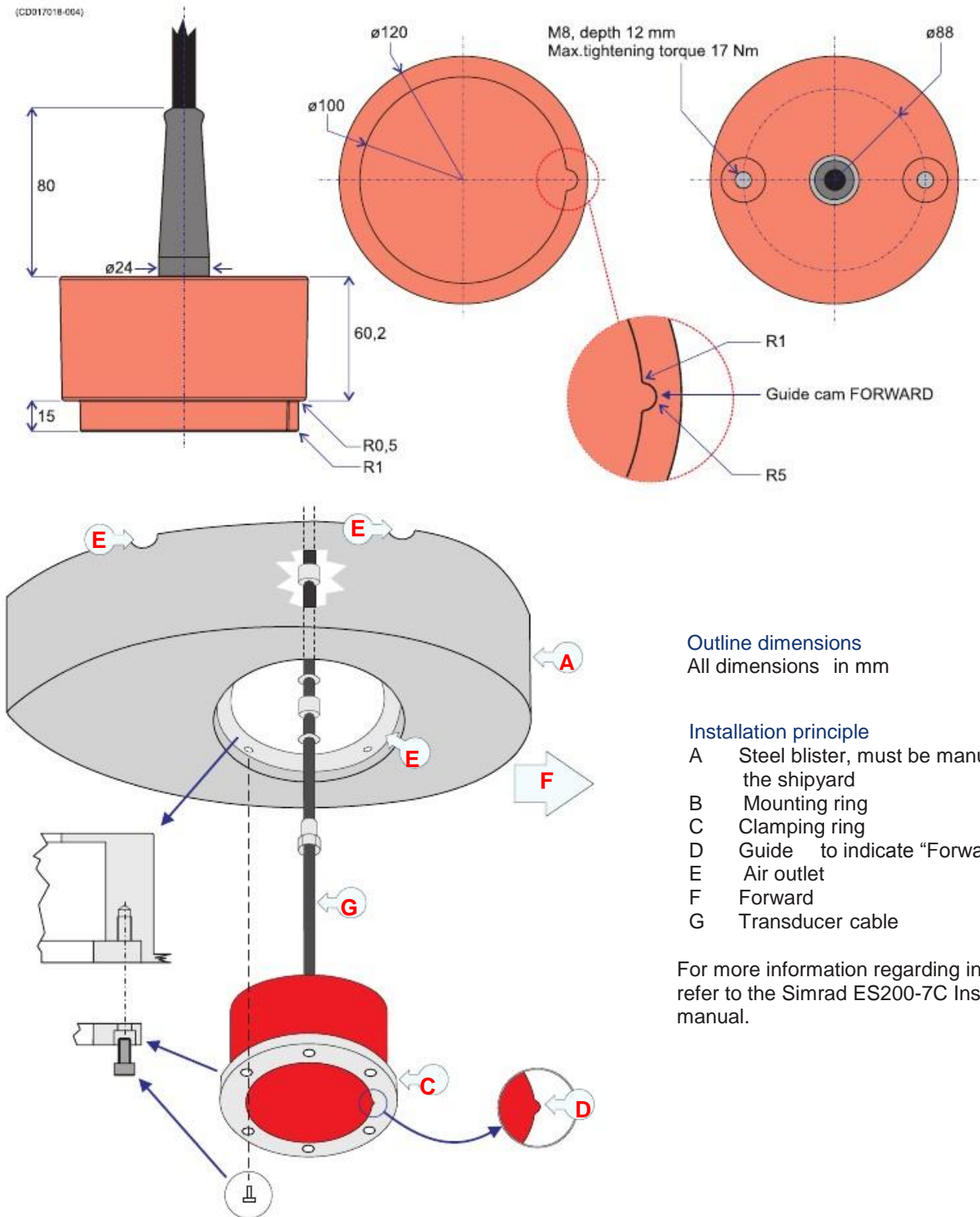
- Resonant frequency: 200kHz
- Circular beamwidth: 7deg
- Directivity:
D:650
DI=10log D: 28dB
- Equivalent two-way beam angle:
 Ψ :0.009
10log Ψ :-20.5 dB
- Side lobes: Less than -23dB
- Back radiation: Less than -40 dB
- Nominal impedance: 19 Ω
(Each quadrant:75 Ω)
- Transmitting response:
185 dB re 1 μ Pa per V
- Receiving sensitivity, open circuit:
-190 dB re 1V per μ Pa
- Electro-acoustic efficiency:0.75
- Max. Pulse power input: 1000W
- Max. Continuous input: 10W
- Max. Transducer depth 20m
- Cable length: 20m
- Cable diameter: 10.6mm
- Weight: 1.1kg
- Storage temperature: -20° to 70°C



Beam pattern



Admittance

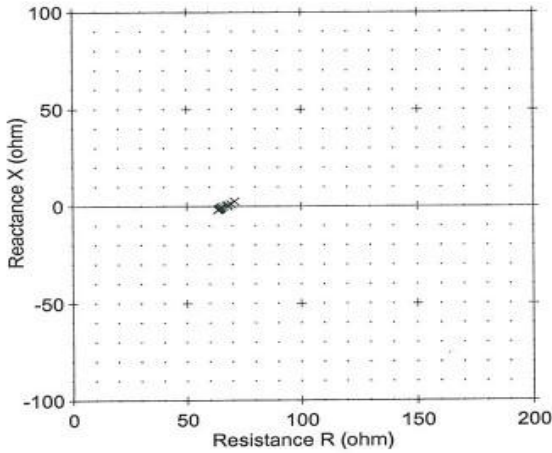


Annex 4: Característiques del transductor ES10 de Simrad

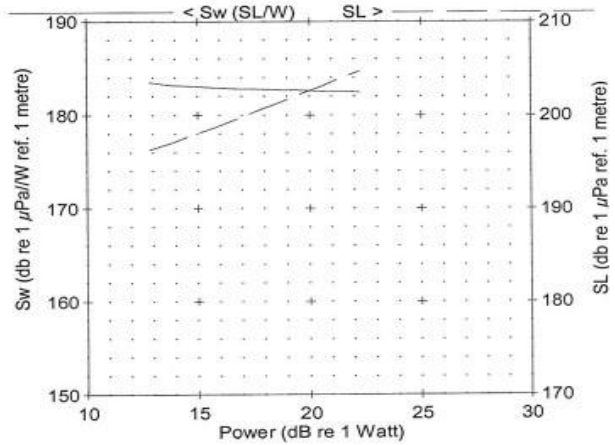
SIMRAD
A KONGSBERG Company

M. Strooban Laster

Impedance



Transmitting Response



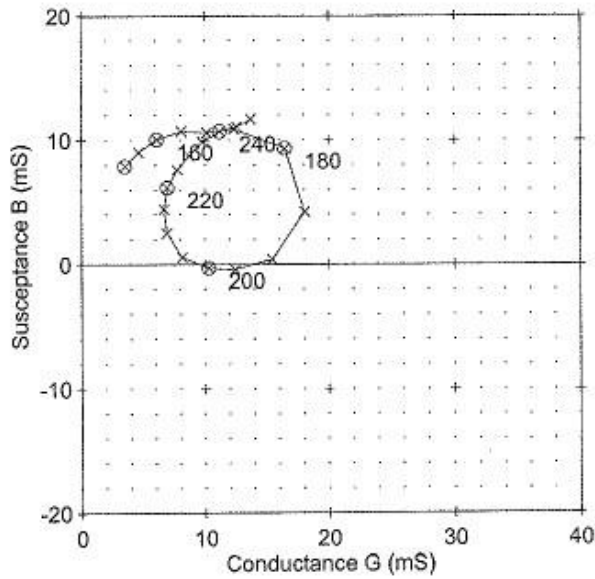
Transducer Type: CombiWide-38 312-209012
Serial no.: ES10
Frequency: 190,0 kHz
Tested by: bjornko
Date/time: 06.10.2009 12:15:32
Voltage Generator: 250 mV
Amplifier Gain: 20 dB

Hydrophone Type: B&K 8103
Hydrophone Serno.: 2429024
Hydrophone Cal.Date: 04.06.09
Distance to Hydrophone: 3,88 m
Water Temperature: 21 °C
Module: 1
Element: 1

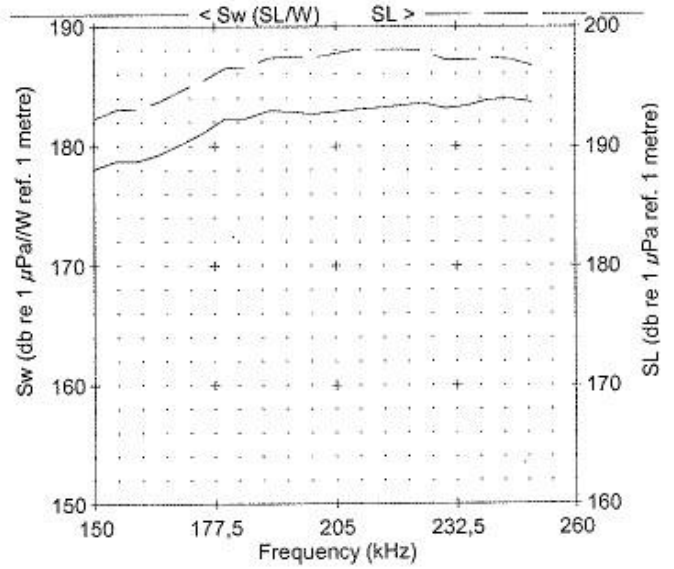
Meas. no.	Power		Impedance (ohms)	Phase (°)	SL (dB re 1 µPa)	Transmitting (S)			M Open (dB re 1V/µPa)
	(Watts)	(dB re 1W)				(dB re 1 µPa/W)	(dB re 1 µPa/A)	(dB re 1 µPa/V)	
1	19,2	12,8	63,6	-1,7	196,3	183,5	201,5	165,4	-198,2
2	24,2	13,8	64,0	-1,5	197,0	183,2	201,2	165,1	-198,4
3	30,4	14,8	64,3	-1,4	197,9	183,1	201,2	165,0	-198,5
4	37,7	15,8	64,5	-1,0	198,7	182,9	201,0	164,8	-198,7
5	47,9	16,8	65,1	-0,8	199,6	182,8	200,9	164,7	-198,7
6	60,0	17,8	65,5	-0,5	200,6	182,8	200,9	164,6	-198,7
7	74,7	18,7	66,3	0,0	201,4	182,7	200,9	164,5	-198,8
8	92,7	19,7	67,6	0,1	202,3	182,6	200,9	164,3	-198,7
9	113,1	20,5	68,0	0,5	203,1	182,5	200,9	164,2	-198,8
10	138,5	21,4	69,4	0,9	204,0	182,5	201,0	164,1	-198,7
11	167,7	22,2	71,0	2,0	204,7	182,4	200,9	163,9	-198,7



Admittance



Transmitting Response



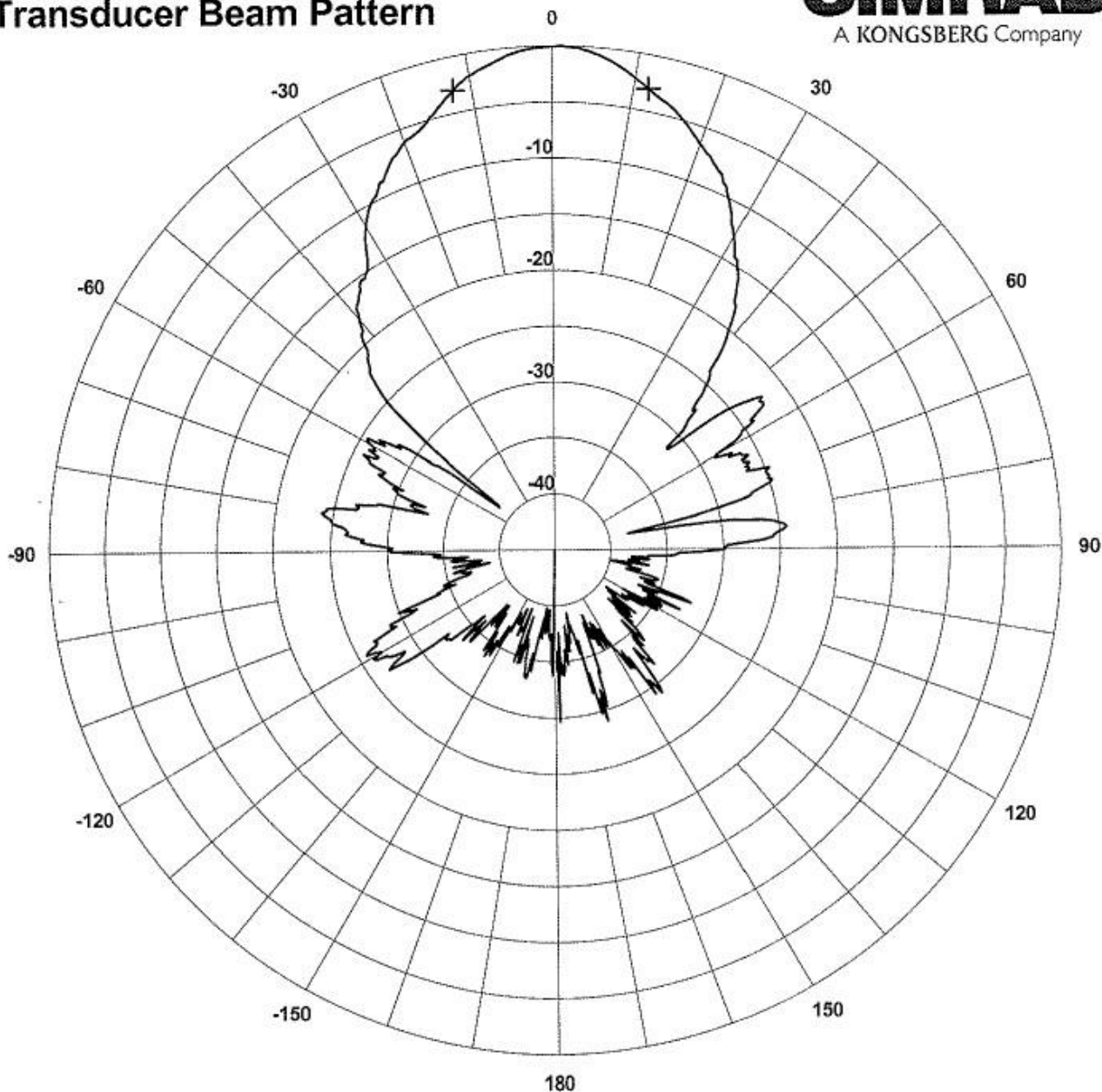
Transducer Type: CombiWide-38 312-209012
Serial no.: ES10
Tested by: bjornko
Date/time: 06.10.2009 12:17:58
Voltage Generator: 300 mV
Amplifier Gain: 36 dB

Hydrophone Type: B&K 8103
Hydrophone Serno.: 2429024
Hydrophone Cal.Date: 04.06.09
Distance to Hydrophone: 3,88 m
Water Temperature: 21 °C
Module: 1
Element: 1

Frequency (kHz)	Power		Conductance (mS)	Susceptance (mS)	SL (dB re 1 µPa)	Transmitting (S)			M Open (dB re 1V/µPa)
	(Watts)	(dB re 1W)				(dB re 1 µPa/W)	(dB re 1 µPa/A)	(dB re 1 µPa/V)	
150,0	26,2	14,2	3,54	7,89	192,3	178,1	194,8	153,6	-202,8
155,0	26,8	14,3	4,63	9,00	193,0	178,8	195,3	155,4	-202,6
160,0	27,2	14,4	6,12	10,03	193,1	178,8	195,2	156,6	-203,0
165,0	27,7	14,4	8,09	10,69	193,7	179,3	195,8	158,4	-202,6
170,0	28,0	14,5	10,2	10,6	194,6	180,2	196,9	160,2	-201,8
175,0	27,4	14,4	12,3	10,9	195,5	181,1	197,7	162,0	-201,3
180,0	26,4	14,2	16,5	9,3	196,5	182,3	198,9	164,4	-200,3
185,0	26,9	14,3	18,0	4,2	196,6	182,3	199,5	164,9	-199,9
190,0	27,4	14,4	15,4	0,4	197,3	183,0	201,1	164,8	-198,6
195,0	28,8	14,6	12,4	-0,4	197,5	182,9	201,9	163,8	-198,0
200,0	29,7	14,7	10,3	-0,3	197,4	182,7	202,5	162,8	-197,6
205,0	30,6	14,9	8,15	0,57	197,7	182,9	203,7	162,0	-196,6
210,0	31,7	15,0	6,94	2,50	198,1	183,1	204,1	161,5	-196,4
215,0	30,9	14,9	6,68	4,41	198,1	183,2	203,4	161,4	-197,4
220,0	29,5	14,7	6,97	6,17	198,1	183,4	202,4	161,8	-198,5
225,0	27,4	14,4	7,77	7,61	197,9	183,6	201,7	162,5	-199,4
230,0	25,4	14,0	8,71	8,75	197,2	183,1	200,7	162,5	-200,6
235,0	24,1	13,8	9,80	9,85	197,2	183,3	200,4	163,2	-201,1
240,0	22,5	13,5	11,2	10,7	197,4	183,8	200,5	164,3	-201,2
245,0	21,3	13,3	12,6	11,1	197,2	183,9	200,4	164,9	-201,4
250,0	20,1	13,0	13,7	11,6	196,7	183,6	199,9	165,0	-202,2



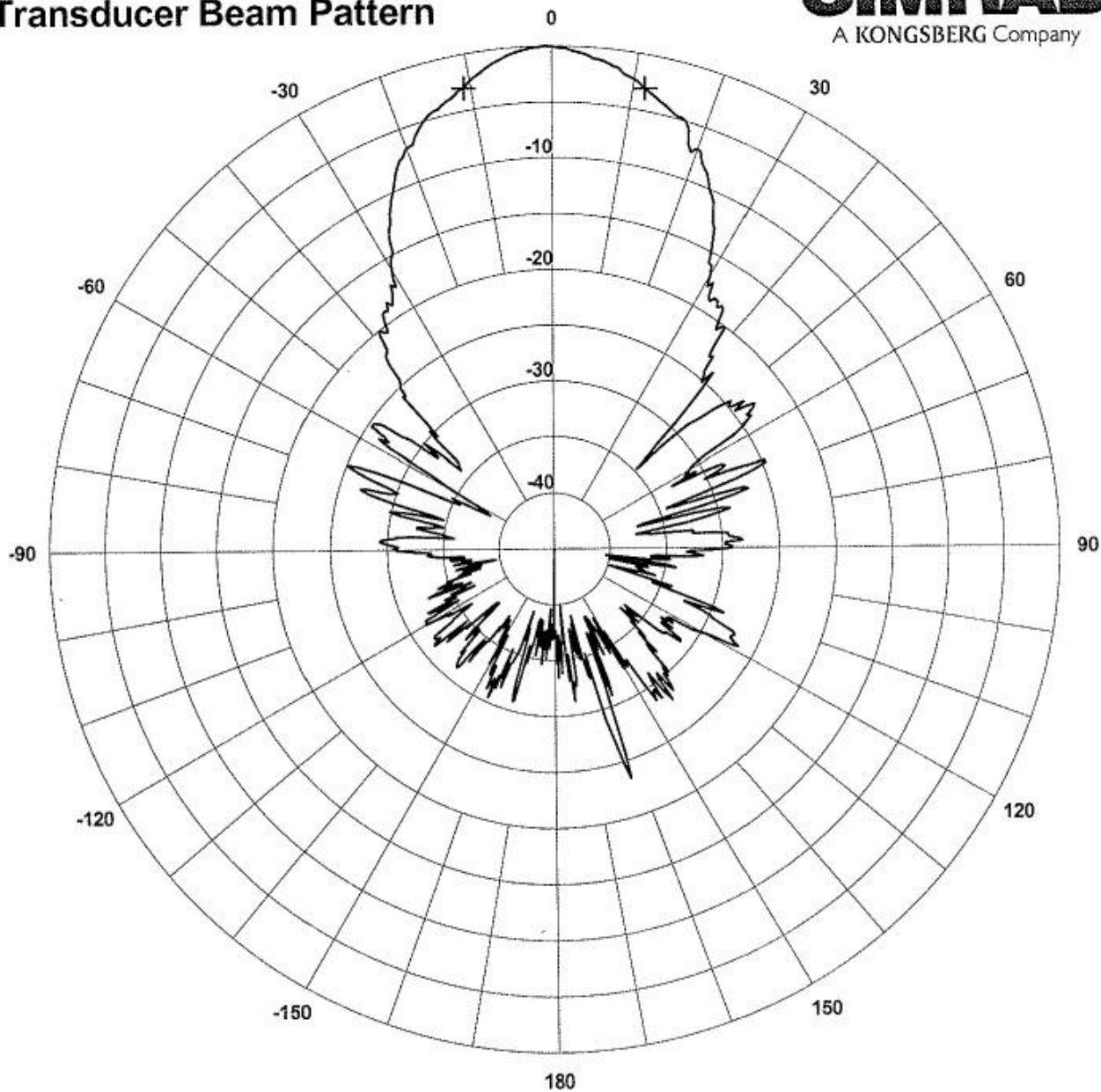
Transducer Beam Pattern



Transducer Type:	CombiWide-38 312-209012	Plane:	Athworthship
Serial no.:	ES10	Hydrophone Type:	B&K 8103
Frequency:	190,0 kHz	Hydrophone Serno.:	2429024
Tested by:	bjornko	Hydrophone Cal.Date:	04.06.09
Date/time:	06.10.2009 12:24:48	Distance to Hydrophone:	3,88 m
Voltage Generator:	400 mV	Water Temperature:	21 °C
Amplifier Gain:	48 dB	Module:	1
Beam Width:	24,07°	Element:	1
Source Level:	199,71 dB		
DI:	16,60 dB		



Transducer Beam Pattern



Transducer Type: CombiWide-38 312-209012
Serial no.: ES10
Frequency: 190,0 kHz
Tested by: bjornko
Date/time: 06.10.2009 12:27:35
Voltage Generator: 400 mV
Amplifier Gain: 48 dB
Beam Width: 22,32°
Source Level: 199,79 dB
DI: 17,40 dB

Plane: Fore and aft
Hydrophone Type: B&K 8103
Hydrophone Serno.: 2429024
Hydrophone Cal.Date: 04.06.09
Distance to Hydrophone: 3,88 m
Water Temperature: 21 °C
Module: 1
Element: 1

