



**Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión
Facultad de Ingeniería Pesquera
Escuela Profesional de Ingeniería Pesquera**

**Calibración y diagnóstico del funcionamiento de las ecosondas
comerciales Simrad**

Tesis

Para optar el Título Profesional Ingeniero Pesquero

Autor

Richard Francisco Ostos Flores

Asesor

Dr. Ing. Oswaldo Francisco Flores Saldaña

Huacho – Perú

2024



Reconocimiento - No Comercial – Sin Derivadas - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Reconocimiento: Debe otorgar el crédito correspondiente, proporcionar un enlace a la licencia e indicar si se realizaron cambios. Puede hacerlo de cualquier manera razonable, pero no de ninguna manera que sugiera que el licenciante lo respalda a usted o su uso. **No Comercial:** No puede utilizar el material con fines comerciales. **Sin Derivadas:** Si remezcla, transforma o construye sobre el material, no puede distribuir el material modificado. **Sin restricciones adicionales:** No puede aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros de hacer cualquier cosa que permita la licencia.



UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN

LICENCIADA

(Resolución de Consejo Directivo N° 012-2020-SUNEDU/CD de fecha 27/01/2020)

“Año de la unidad, la paz y el desarrollo”

Facultad de Ingeniería Pesquera Escuela Profesional de Ingeniería Pesquera

INFORMACIÓN DE METADATOS

DATOS DEL AUTOR (ES)		
NOMBRES Y APELLIDOS	DNI	<u>FECHA DE SUSTENTACION</u>
Richard Francisco Ostos Flores	74067340	15/12/2023
DATOS DEL ASESOR		
NOMBRES Y APELLIDOS	DNI	CODIGO ORCID
Oswaldo Francisco Flores Saldaña	15582719	0000-0001-7582-7430
DATOS DE LOS MIEMBROS DEL JURADO- PREGRADO		
NOMBRES Y APELLIDOS	DNI	CODIGO ORCID
Flores Ignacio Calderón Carrasco	15590393	0000-0002-7347-9601
Jesús Gustavo Barreto Meza	15589980	0000-0002-5790-6757
Jaime David Leandro Roca	15594015	0009-0005-8109-5500

CALIBRACIÓN Y DIAGNÓSTICO DEL FUNCIONAMIENTO DE LAS ECOSONDAS COMERCIALES SIMRAD

INFORME DE ORIGINALIDAD

15%

INDICE DE SIMILITUD

13%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

2%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	www.docstoc.com Fuente de Internet	2%
2	Guobao Chen, Yongzhen Li, Pimao Chen, Jun Zhang, Lichen Fang, Nana Li. "Measurement of single-fish target strength in the South China Sea", Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2012 Publicación	1%
3	www.ccamlr.org Fuente de Internet	1%
4	es.wikipedia.org Fuente de Internet	1%
5	documents.mx Fuente de Internet	1%
6	ihma.org.pe Fuente de Internet	1%
7	Submitted to Universidad Nacional Jose Faustino Sanchez Carrion Trabajo del estudiante	1%

TÍTULO

CALIBRACIÓN Y DIAGNÓSTICO DEL FUNCIONAMIENTO DE LAS
ECOSONDAS COMERCIALES SIMRAD

ASESOR Y MIEMBROS DEL JURADO



Dr. OSWALDO FRANCISCO FLORES SALDAÑA
ASESOR



M(o) FLORES IGNACIO CALDERON CARRASCO
PRESIDENTE



M(o) JESUS GUSTAVO BARRETO MEZA
SECRETARIO



M(o). JAIME DAVID LEANDRO ROCA
VOCAL

DEDICATORIA

A mis padres:

Cecilia Gisella Flores Huamán

Richard Ostos Martínez

A mis abuelos:

Norma Huamán Tena

Oswaldo Francisco Flores Saldaña

A mis tíos:

Oswaldo Miguel Flores Huamán

Francisco Javier Flores Huamán

A mis primos:

Francesca, María José

Saori Michelle, Juan Francisco

Por sus valores y educación que
han sido fundamentales para lograr mis metas.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a mi asesor, el Doc. Oswaldo Francisco Flores Saldaña, y al Ing. Oswaldo Miguel Flores Huamán, por las sugerencias durante el desarrollo de la presente tesis.

A las Empresas Pesqueras que han permitido el desarrollo del presente trabajo.

Al Ing. Martin Oviedo Orellana y el equipo técnico de Robinsson Marine Electronics representante de la marca Simrad (Kongsberg Maritime AS, Norway) en el Perú, por la valiosa información aportada a esta tesis.

INDICE

ÍNDICE DE TABLAS	X
ÍNDICE DE FIGURAS	XII
RESUMEN	XIII
ABSTRACT	XIV
INTRODUCCIÓN	XV
CAPÍTULO I	1
I. Planteamiento Del Problema	1
1.1.Descripción de la realidad problemática	1
1.2.Formulación del problema	2
1.2.1. Problema general	2
1.2.2. Problemas específicos	2
1.3. Objetivos de la investigación	2
1.3.1. Objetivo general	2
1.3.2. Objetivos específicos	2
1.4. Justificación de la investigación	3
1.5. Delimitaciones del estudio	4
1.6. Viabilidad del estudio	4
CAPITULO II	5
II. Marco Teórico	5
2.1. Antecedentes de la investigación	5
2.2. Investigaciones internacionales	5
2.3. Investigaciones nacionales	10
2.3.1. Bases teóricas	12
2.3.1.1. Hidroacústica y acústica pesquera.	12
2.3.1.2. Sistemas de detección acústica	14
2.3.1.3. EK60, EK80, ES60, ES70 y ES80	15
2.3.1.4. Datos	16
2.3.1.5. Potencia de salida del transductor	18
2.3.1.6. Ganancia cronovariable (TVG)	20
2.3.1.7. Duración de pulso	22
2.3.1.8. Seteo y calibración de ecosondas comerciales	23
2.3.1.9. Fuerza de blanco (TS)	24
2.3.1.10. Calibración con blanco estándar	25

2.3.1.11. Ubicación de la zona de calibración	27
2.3.1.12. Pronóstico del tiempo	27
2.3.1.13. Mantenimiento de los transductores	27
2.3.1.14. Rango de la esfera	28
2.3.1.15. Parámetros del transductor-transceptor	29
2.3.1.16. Corrección de los parámetros del transductor	33
2.3.1.17. Medición del ambiente	34
2.3.1.18. Error secuencial de onda triangular (TWES)	36
2.3.1.19. Modelado del patrón del haz	37
2.3.1.20. Modelo polinomial del haz	39
2.3.1.21. Software de calibración	39
2.3.1.22. Actualización de los parámetros calibrados	46
2.3.2. Bases filosóficas	47
2.3.3. Definición de términos básicos	49
2.4. Hipótesis de la investigación	50
2.4.1. Hipótesis general	50
2.4.2. Hipótesis específica	50
2.4.3. Operacionalización de las variables	51
CAPITULO III	52
III. Metodología	52
3.1. Diseño metodológico	52
3.2. Población y muestra	52
3.2.1. Población	52
3.2.2. Muestra	52
3.3. Técnicas de colección de datos	52
3.3.1. Grabación de datos de salida	52
3.4. Técnicas para el procesamiento de la información	53
3.4.1. Procesamiento de datos para la calibración	53
CAPITULO IV	55
IV. Resultados	55
4.1. Análisis de los resultados	55
4.1.1. Resultado general	55
4.1.2. Análisis de los resultados de las calibraciones y evaluación de las ecosondas comerciales Simrad ES60, ES70 y ES80	56

4.1.2.1. Ecosonda Simrad ES60	56
4.1.2.2. Ecosonda Simrad ES70	68
4.1.2.3. Ecosonda Simrad ES80	81
4.2. Contratación de las hipótesis	86
4.2.1. Contratación de la hipótesis general	86
4.2.2. Contratación de las hipótesis específicas	87
CAPITULO V	88
V. Discusión	88
5.1. Discusión de resultados	88
Capítulo VI	92
VI. Conclusiones y recomendaciones	92
6.1. Conclusiones	92
6.2. Recomendaciones	93
VII. Referencias	94
7.1. Fuentes bibliográficas	94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características de los ecosondas EK60, ES60, ES70, ES80 y sistemas correspondientes a las salidas de datos y de calibración.	16
Tabla 2. Potencia de transmisión máxima recomendado para 60% de eficiencia electro-acústica, para algunos tamaños de transductores comunes	20
Tabla 3. Duración de pulso (μ S) aplicable para la operación de las diferentes frecuencias	23
Tabla 4. Diámetro (mm) y fuerza de blanco (dB) de las esferas de cobre	26
Tabla 5. Configuración del transceptor en el TRList.ini	46
Tabla 6. Configuración del transductor en el TRList.ini	47
Tabla 7. Operacionalización de las variables	51
Tabla 8. Ecosondas Simrad digitales de la flota de mayor escala.	55
Tabla 9. Embarcaciones pesqueras y modelos de ecosondas Simrad calibradas y diagnosticadas	56
Tabla 10. Información antes de la calibración de la E/P TASA 419	57
Tabla 11. Resultados de la calibración con el modelo del haz y el modelo polinomial	58
Tabla 12. Información previa a la calibración de la E/P TASA 419	58
Tabla 13. Resultados de la calibración con el modelo del haz y el modelo polinomial	59
Tabla 14. Información previa a la calibración de la E/P POLAR 7	60
Tabla 15. Resultados de la calibración con el modelo del haz y el modelo polinomial	61
Tabla 16. Información previa a la calibración de la E/P ALESSANDRO	61
Tabla 17. Resultados de la calibración con el modelo del haz y el modelo polinomial	62
Tabla 18. Información previa a la calibración de la E/P RODAS	63
Tabla 19. Resultados de la calibración con el modelo del haz y el modelo polinomial	64
Tabla 20. Información previa a la calibración de la E/P CHIARA	64
Tabla 21. Resultados de la calibración con el modelo del haz y el modelo polinomial	65
Tabla 22. Configuración del transceptor en el TRlist.ini de la ecosonda ES60.	66
Tabla 23. Configuración del transductor en el TRlist.ini de la ecosonda ES60.	67
Tabla 24. Actualización de los parámetros del transductor en el TRlist.ini de la ES60	68
Tabla 25. Información previa a la calibración de la E/P OLGA	68
Tabla 26. Resultados de la calibración con el modelo del haz y el modelo polinomial	69
Tabla 27. Información previa a la calibración de la E/P Nueva Ofelita	70
Tabla 28. Resultados de la calibración con el modelo del haz y el modelo polinomial	71
Tabla 29. Información previa a la calibración de la E/P SIMON	71
Tabla 30. Resultados de la calibración con el modelo del haz y el modelo polinomial	72
Tabla 31. Información previa a la calibración de la E/P NUEVA RESBALOSA II	73
Tabla 32. Resultados de la calibración con el modelo del haz y el modelo polinomial	74
Tabla 33. Información previa a la calibración de la E/P NUEVA RESBALOSA II	74
Tabla 34. Resultados de la calibración con el modelo del haz y el modelo polinomial	75
Tabla 35. Información previa a la calibración de la E/P OLGA	76
Tabla 36. Resultados de la calibración con el modelo del haz y el modelo polinomial	77
Tabla 37. Información previa a la calibración de la E/P OLGA	77
Tabla 38. Resultados de la calibración con el modelo del haz y el modelo polinomial	78
Tabla 39. Información previa a la calibración de la E/P ESTELA DE ORO II	79
Tabla 40. Resultados de la calibración con el modelo del haz y el modelo polinomial	80

Tabla 41. Formato del TRlist.xml de la ecosonda ES70.	80
Tabla 42. Información previa a la calibración de la E/P MARU	81
Tabla 43. Resultados de la calibración con el modelo del haz acústico	82
Tabla 44. Información previa a la calibración de la E/P TASA 425	82
Tabla 45. Resultados de la calibración con el modelo del haz acústico	83
Tabla 46. Información previa a la calibración de la E/P TASA 425	84
Tabla 47. Resultados de la calibración con el modelo del haz acústico	85
Tabla 48. Formato del TRlist.ini de la ecosonda ES80.	85
Tabla 49. Resultados de calibración y diagnóstico del funcionamiento de los sistemas acústicos comerciales.	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Representación del Sistema Split beam (Fuente: Manual del Operador de la Ecosonda Simrad ES60 Rev H.)	14
Figura 2. Arreglo general para la calibración de un ecosonda comercial	26
Figura 3. Rango mínimo recomendado para la esfera de calibración (Fuente: Demer et al., 2015)	29
Figura 4. Ángulo de sensibilidad del transductor (Fuente: Boldhot, 2002)	30
Figura 5. Curvas de Velocidad del sonido (Fuente: Mackenzie, 1981; Del Grosso, 1972 y el coeficiente de absorción Francois & Garrison, 1982).	35
Figura 6. Error secuencial de onda triangular (Fuente: Tim Ryan and Rudy Kloser, 2004).	37
Figura 7. Ejemplos de vista de haz para un transductor con el cuadrante superior derecho desconectado (Fuente: Demer et al., 2015).	41
Figura 8. Vista de la cobertura de datos de la esfera (Fuente: Simrad, 2017).	44
Figura 9. Gráficas de diagnóstico del modelo de haz (izquierda) y polinomial (derecha)	57
Figura 10. Gráficas de diagnóstico del modelo de haz (izquierda) y polinomial (derecha)	59
Figura 11. Gráficas de diagnóstico del modelo de haz (izquierda) y polinomial (derecha)	60
Figura 12. Gráficas de diagnóstico del modelo de haz (izquierda) y polinomial (derecha)	62
Figura 13. Gráficas de diagnóstico del modelo de haz (izquierda) y polinomial (derecha)	63
Figura 14. Gráficas de diagnóstico del modelo de haz (izquierda) y polinomial (derecha)	65
Figura 15. Gráficas de diagnóstico del modelo de haz (izquierda) y polinomial (derecha)	69
Figura 16. Gráficas de diagnóstico del modelo de haz (izquierda) y polinomial (derecha)	70
Figura 17. Gráficas de diagnóstico del modelo de haz (izquierda) y polinomial (derecha)	72
Figura 18. Gráficas de diagnóstico del modelo de haz (izquierda) y polinomial (derecha)	73
Figura 19. Gráficas de diagnóstico del modelo de haz (izquierda) y polinomial (derecha)	75
Figura 20. Gráficas de diagnóstico del modelo de haz (izquierda) y polinomial (derecha)	76
Figura 21. Gráficas de diagnóstico del modelo de haz (izquierda) y polinomial (derecha)	78
Figura 22. Gráficas de diagnóstico del modelo de haz (izquierda) y polinomial (derecha)	79
Figura 23. Cobertura de las detecciones de la esfera dentro del haz acústico	81
Figura 24. Cobertura de las detecciones de la esfera dentro del haz acústico	83
Figura 25. Cobertura de las detecciones de la esfera dentro del haz acústico	84
Figura 26. Error RMS de la calibración de las ecosondas comerciales Simrad.	88
Figura 27. Ganancia en el eje de la calibración de las ecosondas comerciales Simrad.	89
Figura 28. Ancho del haz longitudinal (α) y transversal (β) de la calibración de las ecosondas comerciales Simrad.	90
Figura 29. Ángulo de compensación longitudinal (α_o) y transversal (β_o) de la calibración de las ecosondas comerciales Simrad.	91

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue determinar si se puede calibrar y diagnosticar el funcionamiento de los ecosondas comerciales Simrad; se utilizó la metodología descrita por ICES y Simrad para las ecosondas científicas EK60 y EK80, se realizaron 17 procedimientos de calibración y diagnóstico de las ecosondas Simrad de la serie ES (ES60, ES70 y ES80) instaladas a bordo de 12 embarcaciones de la flota de cerco industrial. De acuerdo con los resultados el 82,35 % (14 ecosondas) de las calibraciones fueron buenas y aceptables con un RMS menor a 0.4 dB. Mientras que el 17,65% (3 ecosondas) se obtuvo calibraciones con RMS mayor a 0.4 dB que se considera no aceptable; se relacionaron a sistemas acústicos con sectores disfuncionales o mezclados en el transductor o emisor-receptor. Se recomienda que antes de la temporada de pesca se debe de calibrar y diagnosticar las ecosondas comerciales Simrad y ES60 y ES70, y en su calibración se utilice la subrutina Calibration.exe y para el diagnóstico del funcionamiento del sistema acústico el modelo polinomial del haz; En la validez de una calibración y el diagnóstico correcto funcionamiento del sistema acústico, no basta con observar un modelo de haz polinomial no distorsionado y error RMS menor de 0.4 dB, también es necesario que las diferencias entre las aberturas de haz (α_{-3dB} y β_{-3dB}) y los ángulos de compensación (α_o y β_o) obtenidos en la calibración sean insignificantes. Asimismo, estos valores no deben exceder ± 1 dB la ganancia (G_o) y $\pm 1^\circ$ la abertura del haz (α_{-3dB} y β_{-3dB}) nominales del sistema acústico.

Palabras clave: Ecosonda comercial, Calibración, diagnóstico, Simrad.

ABSTRACT

The aim of the research was to determine whether the performance of commercial Simrad echo sounders can be calibrated and diagnosed; The methodology described by ICES and Simrad was used for the scientific echo sounders EK60 and EK80, 17 calibration and diagnostic procedures were carried out for the Simrad echo sounders of the ES series (ES60, ES70 and ES80) installed on board 12 vessels of the industrial purse seine fleet. According to the results, 82.35 % (14 echo sounders) of the calibrations were good and acceptable with an RMS less than 0.4 dB. While 17.65% (3 echo sounders) calibrations were obtained with RMS greater than 0.4 dB that is considered not acceptable; were related to acoustic systems with dysfunctional or mixed sectors in the transducer or emitter-receiver. It is recommended that before the fishing season the commercial echo sounders Simrad and ES60 and ES70 should be calibrated and diagnosed, and in its calibration the Calibration subroutine is used.exe and for the diagnosis of the operation of the acoustic system the polynomial model of the beam; In the validity of a calibration and the correct diagnosis of the acoustic system, it is not enough to observe an undistorted polynomial beam model and RMS error of 0.2 - 0.4 dB, it is also necessary that the differences between the beam openings (α -3dB and β -3dB) and the compensation angles (α_0 and β_0) obtained in the calibration are negligible. In addition, these values must not exceed ± 1 dB the nominal gain (G_0) and $\pm 1^\circ$ the beam aperture (α -3dB and β -3dB) of the acoustic system.

Keywords: Commercial echosounder, Calibration, diagnosis, Simrad.

INTRODUCCIÓN

En el sector pesquero mundial se utiliza el sistema sonar activo: ecosondas y sonar para la búsqueda, localización, captura e investigación de las especies hidrobiológicas. En el Perú también se utiliza el sistema sonar activo tanto ecosondas como sonares para la búsqueda, ubicación, captura e investigación de la biomasa de los peces comerciales. Las embarcaciones dedicadas a la pesquería de anchoveta han instalado abordo ecosondas comerciales de última generación para la eficiencia en sus faenas de pesca, haciéndose necesario realizar la calibración y el diagnóstico del funcionamiento de las ecosondas comerciales, con la finalidad de contar con equipos funcionando sin distorsión de sus parámetros de fábrica.

Actualmente la flota comercial dispone de sistemas acústicos análogos a los equipos científicos de última generación, los ecosondas para la pesca permiten eco integrar, medir tallas y grabar datos en formato digital (EK5, EK6, HAC, RAW, etc), las que pueden ser calibradas y ser usadas en ciertas situaciones de investigación (Demer et al., 2015).

La tesis pretende demostrar que es posible calibrar con precisión las ecosondas comerciales Simrad instaladas a bordo de las embarcaciones pesqueras, para que el sector pesquero disponga de una herramienta potente como la Hidroacústica, orientada a mejorar las operaciones de pesca, reducir los costos operativos y trazar las estrategias de manejo de flota a través del conocimiento de la abundancia de las especies de interés. Asimismo, la calibración y el diagnóstico de las ecosondas comerciales beneficia a las Direcciones Regionales de la Producción, universidades que cuenten con la carrera profesional de Ingeniería Pesquera, en la ejecución de investigaciones o evaluaciones de los recursos pesqueros a nivel local o regional.

CAPÍTULO I

I. Planteamiento Del Problema

1.1. Descripción de la realidad problemática

La abundancia de una especie se determina por métodos directos o indirectos; entre las metodologías directas tenemos la acústica o Acústica Pesquera, que es una rama de la oceanografía y biología, ampliamente utilizada por entidades científicas a nivel mundial. En nuestro país en el ámbito marino utiliza desde 1975 metodologías acústicas para detectar y cuantificar la abundancia de los principales recursos hidrobiológicos (Pauly & Tsukayama, 1987). La acústica es una herramienta con alto poder de muestreo, que presenta también ciertas limitaciones y sesgos.

Es importante para la explotación racional de los recursos conocer la abundancia y los patrones de distribución de las especies que sustentan las pesquerías (Simmonds & MacLennan, 2005) con la finalidad de optimizar las decisiones de manejo de flota (administración o regulación del esfuerzo, que se traduce en costos operativos), así como contribuir en la sostenibilidad de los recursos, la cual es una función reguladora ejercida por el estado.

El avance tecnológico ha facilitado el uso de nuevas tecnologías orientadas a medir la abundancia de los recursos a través de metodologías digitales y transducción Split beam (Simmonds & MacLennan, 2005). Asimismo, los computadores actuales poseen varios procesadores lógicos, que permiten aplicar programas o software especializado para procesar grandes volúmenes de información en lapsos relativamente breves no obstante la complejidad de los algoritmos necesarios.

Actualmente la flota comercial dispone de sistemas acústicos análogos a los equipos científicos de última generación, las ecosondas para la pesca permiten eco integración, medición

de tallas y grabación de datos en formato digital (EK5, EK6, HAC, RAW, etc). Estos ecosondas comerciales, también se pueden calibrar y usar eficazmente en ciertas situaciones de investigación (Demer et al., 2015).

Sin embargo, estos sistemas acústicos son operadas por patrones, capitanes y pilotos de pesca, que en su mayoría desconocen los fundamentos básicos para configurarlas correctamente. De otro lado, tampoco son calibradas o se les calibra con poca frecuencia, desaprovechando las capacidades de estos equipos, relacionadas a la precisión de las mediciones y la posibilidad de hacer cuantificación.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Es posible calibrar y diagnosticar el funcionamiento de las ecosondas comerciales Simrad?

1.2.2. Problemas específicos

¿Es posible calibrar las ecosondas comerciales Simrad?

¿Es posible diagnosticar el funcionamiento de las ecosondas comerciales

Simrad?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Determinar si se puede calibrar y diagnosticar el funcionamiento de las ecosondas comerciales Simrad.

1.3.2. Objetivos específicos

Determinar si pueden ser calibradas las ecosondas comerciales Simrad.

Determinar el diagnóstico del funcionamiento de las ecosondas comerciales

Simrad.

1.4. Justificación de la investigación

En el Perú, desde 1975 se emplean metodologías acústicas para detectar y cuantificar la abundancia de los principales recursos hidrobiológicos. Por décadas, la determinación de la abundancia o biomasa ha requerido el uso de sistemas acústicos científicos (EK500, EK60, EK80); ya que cuentan con manuales, protocolos y publicaciones científicas que permiten sean calibrados con precisión para la colección de información acústica. Sin embargo, estos equipos tienen un elevado valor comercial y son adquiridos principalmente por entidades científicas nacionales, tales como IMARPE, e internacionales como ICES, NOAA, IFREMER, etc. para la evaluación de la abundancia y los patrones de distribución de las especies que sustentan las pesquerías a nivel mundial.

A partir del lanzamiento del ecosonda digital ES60 para la pesca comercial el año 2003 (Simrad, 2006) y su sucesora, la ES70 (Simrad, 2010), es posible aplicar los software y procedimientos de calibración de las ecosondas científicos en dichos modelos de ecosondas comerciales. Actualmente, alrededor de 50 embarcaciones pesqueras están equipadas con ecosondas que tienen tecnología digital y pueden ser calibradas eficientemente para coleccionar información acústica, permitiendo obtener un amplio volumen de data sobre cardúmenes, zonas de pesca y la presencia de “patches” de zooplancton como indicador de la formación de futuras zonas de concentración de peces y cardúmenes.

Este proyecto de investigación pretende aplicar la metodología científica para calibrar las ecosondas comerciales Simrad de las embarcaciones pesqueras. De este modo, el sector pesquero dispondrá de una herramienta potente como la Hidroacústica, orientada a mejorar las operaciones de pesca y estrategias de manejo de flota con el conocimiento de la abundancia de las

especies de interés. Asimismo, contribuirá al fortalecimiento de las universidades como centros de investigación y a los alumnos de las facultades de ingeniería pesquera, quienes obtendrán conocimiento respecto a la calibración de los sistemas acústicos comerciales para aplicación en la evaluación de los recursos pesqueros.

1.5. Delimitaciones del estudio

La investigación abarca las calibraciones de las ecosondas comerciales Simrad con tecnología digital ES60, ES70 y ES80 con transductores de la frecuencia de 120 kHz instaladas a bordo de las embarcaciones pesqueras de mayor escala (industriales).

1.6. Viabilidad del estudio

El estudio viable porque se cuenta con acceso a las ecosondas Simrad, así como a la metodología de calibración de las ecosondas científicas; también se cuenta con disponibilidad de bibliografía especializada.

CAPITULO II

II. Marco Teórico

2.1. Antecedentes de la investigación

2.2. Investigaciones internacionales

El antecedente más lejano del uso de ecosondas para la pesca en las evaluaciones acústicas destinadas a evaluar la biomasa de los recursos pesqueros, esta referido a la pesquería de Nueva Zelanda. En el año 2002, En una evaluación acústica de orange roughy (*Hoplostethus atlanticus*) a bordo del barco pesquero San Waitaki, se disiparon las dudas respecto al uso de la generación de pesca ES60 para trabajos científicos (Hampton y Soule, 2003). Se demostró que en un transductor de haz dividido ES38B de 38 kHz a 2 kW de potencia (es decir, por debajo del umbral de cavitación), hubo muy poca diferencia entre el rendimiento de la ecosonda Simrad ES60 y una ecosonda científica Simrad EK60 que funcionaba con el mismo transductor y calibrada con la misma precisión a través de un blanco estándar (esfera) (Hampton & Soule 2003). El efecto de la fluctuación de onda triangular en la sensibilidad del sistema descubierta en el ES60 por Ryan y Kloser (2004) se eliminó de los datos de la exploración a través de ES60Adjust: un programa de software desarrollado por CSIRO, Hobart (Keith et al., 2005) específicamente para eliminar este error.

O'Driscoll (2011) describe que entre el 2004 y 2009, se han realizado cinco estudios acústicos de desove de bacaladilla austral (SBW) en la plataforma Bounty que desde 2004 utiliza embarcaciones de la industria. Se realizaron evaluaciones en 2004, 2006, 2007 y 2008 con un solo barco (FV Tomi Maru 87), mientras que en 2009 se recopilieron datos acústicos de tres barcos (FV Tomi Maru 87, FV A. Buryachenko y F.V. Meridian 1). El enfoque de las evaluaciones en todos los años fue el mismo: los barcos con ecosondas Simrad ES60 calibradas

y transductores de 38 kHz montados en el casco. Las evaluaciones intentaron cubrir todas las áreas de alta densidad de SBW. La biomasa resultante se usó como una estimación absoluta de la abundancia de SBW en desove.

O'Driscoll (2013) refiere que se continuo con el barco de pesca FV Tomi Maru 87 equipado con un ecosonda ES70 previamente calibrada, recolectó datos acústicos entre el 16 y el 26 de agosto de 2012, a lo largo de 61 transectos en nueve instantáneas en la Plataforma Bounty. Las estimaciones de biomasa acústica de bacaladilla del sur para las instantáneas completadas en 2012, con cero transectos eliminados osciló entre 466 t (c.v. 82%) para la instantánea 2 y 28 294 t (c.v. 18%) para la instantánea 9.

Hampton y Nelson (2014) describen las investigaciones acústicas de la biomasa de bacaladilla austral (SBW) en Pukaki Rise desde los barcos pesqueros FV Aleksandr Buryachenko y FV San Waitaki en septiembre y principios de octubre de 2012, durante el período de desove. Los datos acústicos de SBW se recolectaron en la plataforma de la isla Campbell en el transcurso de las operaciones de pesca comercial. Los estudios de Pukaki Rise fueron diseñados para hacer un seguimiento y ser comparables con los estudios acústicos de agregaciones realizados por dos embarcaciones comerciales en 2009 (O'Driscoll, 2011).

Las investigaciones acústicas de la biomasa de bacaladilla austral (SBW) en la plataforma Bounty con barcos pesqueros equipados con ecosondas para la pesca, han continuado posteriormente, en agosto del 2014 se efectuaron 46 transectos en 5 instantáneas y la biomasa promedio estimada fue 11 832 t (CV 31 %) (O'Driscoll, 2015). En setiembre del 2016 se colectaron datos acústicos a lo largo de 17 transectos en 2 instantáneas, la biomasa promedio de SBW estimada de las dos instantáneas, fue de 6 201 t (CV 35%) (O'Driscoll, 2017). En setiembre

del 2017 se colectaron datos acústicos en 15 transectos, siendo 7 719 t (CV 24%) la biomasa estimada de SBW (O'Driscoll, 2018).

El Consejo Internacional para la Exploración del Mar (ICES) en 2003, estableció un grupo de estudio (Study Group on the Collection of Acoustic Data from Fishing Vessels - SGAFV) conformado por expertos de 12 países para evaluar la recopilación de datos acústicos de los barcos de pesca y proporcionar recomendaciones apropiadas. El resultado del aporte del grupo SGAFV en los tres años trabajo, fue la publicación en agosto del 2007 del Cooperative Research Report (CRR) N° 287 “Collection of acoustic data from fishing vessels”, donde se recomiendan criterios para la selección, colección y procesamiento de datos acústicos con embarcaciones pesqueras (ICES, 2007).

En mayo del 2015, el Grupo de Trabajo de Acústica, Ciencia y Tecnología Pesqueras (WGFAST) conformado por 23 expertos auspiciados por ICES, publicó el Cooperative Research Report (CRR) N° 236 “Calibration of acoustic instruments” donde se describen los métodos de calibración de los equipos acústicos utilizados en investigaciones pesqueras, incluyendo a las ecosondas SIMRAD ES60 y ES70 de la flota pesquera (Demer et al., 2015).

La Convención sobre la Conservación de la Marina Antártica (CAMLR), a través de su Subgrupo de Trabajo sobre Prospecciones Acústicas y Métodos de Análisis (SG-ASAM) ha considerado el uso de datos acústicos recopilados por barcos pesqueros para proporcionar información cualitativa y cuantitativa sobre la distribución y la abundancia relativa del kril antártico (*Euphausia superba*) (CAMLR, 2015).

El subgrupo SG-ASAM elaboró documentos técnicos destinados a la(s) persona(s) a cargo de la recopilación de datos acústicos en bruto a bordo de barcos de pesca de kril que operan dentro del Área de la Convención de la Conservación de Recursos Vivos Marinos

Antárticos, este protocolo contiene instrucciones para las ecosondas Simrad ES60, Simrad ES70 y Simrad EK60 (CAMLR, 2015).

Asimismo, el grupo SG-ASAM (CAMLR, 2015) se refirió a los dos desafíos asociados a la calibración estándar con esferas del ecosonda Simrad ES60: la ecosonda ES60 agrega una función de ruido de onda triangular en el transceptor para distorsionar la señal. Si bien esta función de ruido no tiene ningún efecto global sobre la ecointegración a nivel de la prospección, puede causar problemas durante la calibración. El Dr. Kloser observó que es posible utilizar el software de la Organización de Investigación Científica e Industrial de la Commonwealth de Australia (CSIRO) para eliminar este ruido sistemático. Aunque la información del ángulo de la esfera es visible en la pantalla, no existe ningún procedimiento de calibración en el software del ecosonda ES60. Por lo tanto, los datos deben registrarse y procesarse con otros programas, tales como Echoview, antes de estimar los coeficientes de calibración.

En 2007, el Centro de Ciencias Pesqueras de Alaska (AFSC) inició un crucero cooperativo para evaluar la abundancia de abadejo de lucioperca (*Theragra chalcogramma*) con pescadores locales en el oeste del Golfo de Alaska. El alcance del proyecto consistió en evaluar la viabilidad de realizar estudios de arrastre acústicos del abadejo utilizando barcos pesqueros locales (Romain, 2012).

El propósito de la prospección fue estimar la abundancia y distribución del abadejo de lucioperca en áreas batimétricamente complejas relativamente pequeñas utilizando embarcaciones pesqueras locales activas en la pesquería de abadejo. Estos estudios cooperativos de arrastre acústico se realizaron durante septiembre y enero de 2007-2011 a bordo del barco pesquero FV Temptation equipado con un ecosonda ES60 e inicialmente con un transductor de

haz dividido Simrad ES38-12 de 38 kHz. En septiembre de 2010, el sistema se actualizó a una ecosonda Simrad ES70 y agregó un transductor de haz dividido ES120-7C de 120 kHz (Romain, 2012).

Se utilizó la utilidad ES60 Adjust Versión 1.6 Java (Keith et al., 2005), Simrad ER60 Lobes (Versión 2.1.1) y Echoview (Versión 4.9, Myriax, Pty. Ltd.), para analizar calibraciones y datos acústicos. La velocidad del sonido y el coeficiente de absorción para las calibraciones se calcularon utilizando los algoritmos de Echoview (Mackenzie, 1981; Francois y Garrison, 1982). Las calibraciones se realizaron de acuerdo con los métodos estándar de calibración de esferas (Foote et al., 1987).

Las estimaciones de biomasa para estudios realizados en el área de Guillemot en 2008 fueron de 8.287 tn. Las diferencias de prospecciones comparativas diurnas y nocturnas fueron menos extremas en 2011, con 1.182 tn estimadas para la abundancia durante el día y 1.275 tn para la noche kHz (Romain, 2012).

La biomasa más alta de abadejo fue 30 646 tn, se observó en 2010 en el área de Nagai, un año después se observaron solo 3 283 tn en las mismas líneas transversales. En la región del Estrecho de Korovin, la estimación de biomasa más alta de 3 050 tn se obtuvo en 2007, en los años posteriores fue menor la abundancia de abadejo. En la región de las ballenas, se estimó una biomasa total de 3 067 tn en septiembre y 4 187 tn enero de 2008. En la región de Morzhovoi, se observaron 262 tn de abadejo en enero de 2010 y 1 949 tn en septiembre de 2011. En el área de Pavlof, se observaron 5 539 tn en septiembre de 2007, aumentando a 8 478 tn en septiembre de 2011 (Romain, 2012).

2.3. Investigaciones nacionales

La FAO (2014), en su documento Informe final de la Auditoría Técnica Internacional del Instituto del Mar del Perú, recomienda ‘fortalecer las relaciones con el sector productivo para aprovechar a las embarcaciones comerciales como plataformas generadoras de información científica’ (recomendación R-6, p. 2).

Con el objetivo de determinar la biomasa, distribución, concentración y condiciones biológico-pesqueras de la anchoveta y otros recursos pelágicos; en la zona entre Paita y San Juan, hasta las 50 mn de distancia a la costa, en octubre del 2015 se efectuó la primera Exploración Acústica Conjunta para evaluación de anchoveta; con la participación de dos barcos científicos (Luis Flores Portugal y José Olaya Balandra) y once pesqueros (Bamar I, Constanza, Jadranka B, Maru, Norma, Polar VII, Resbalozza II, Stefano, Tasa 41, Tasa 51 y Tasa 54) equipados con ecosondas comerciales digitales Simrad modelos ES60 o ES70 de 120 kHz y transductor tipo Split Beam (Imarpe, 2015).

Previo al inicio de la evaluación se calibraron las ecosondas comerciales en la Isla San Lorenzo, con un protocolo desarrollado por la Universidad Nacional Federico Villareal (UNFV) a través del método del eje (Imarpe, 2016). El diseño del muestreo consistió en transectos paralelos a la línea de costa entre los 05°S-15°S; los barcos científicos de forma paralela a la costa en una distancia aproximada de 2.5 mn y las embarcaciones pesqueras entre las 7.5 mn, 15 mn, 25 mn, 35 mn, 45 mn y 55 mn de la costa (Imarpe, 2015). La biomasa estimada en la Operación acústica conjunta fue de 6.07 millones de toneladas de anchoveta y las zonas con altas densidades se localizaron entre Malabrigo y Pucusana (07°30’S -12°30’S) principalmente dentro de las 40 mn de la costa.

Entre el 09 y 11 de febrero 2016, se efectuó un experimento de calibración, intercalibración y medición de ruido con dos barcos científicos: BIC José Olaya B. y BIC Luis Flores Portugal, y cuatro E/P de la flota de cerco industrial: Tasa 56, Alessandro, Tasa 54, Nueva Resabalosa, Maru, Constanza, Nueva Ofelia, equipadas con ecosondas comerciales digitales Simrad modelos ES60 o ES70 de 120 kHz y transductor tipo Split Beam. Las calibraciones se realizaron en la Isla San Lorenzo a 30 m de profundidad, los datos fueron procesados en la subrutina “Calibration.exe” del software de la ecosonda EK60 (ER60), el código en lenguaje de Matlab “exCal” y el protocolo desarrollado por la UNFV a través del método del eje (Imarpe, 2016). La intercalibración se realizó los días 10 y 11 de febrero en un área aproximada de 150 mn², localizada al suroeste de las Islas Hormigas, a 35 mn frente a Callao.

En mayo del 2016, en apoyo al Crucero de Evaluación Hidroacústica 1605-06, las empresas pesqueras aportaron las embarcaciones Alessandro, Don Ole, Maru, Tasa 53, Tasa 58 y Mariana B, equipadas con ecosondas comerciales digitales Simrad modelos ES60 o ES70 de 120 kHz y transductor tipo Split Beam. Las calibraciones se llevaron a cabo entre los días 11 y 19 de mayo 2016 según el protocolo desarrollado por la Universidad Nacional Federico Villarreal (UNFV) a través del método del eje. Las primeras 5 embarcaciones fueron calibradas en las proximidades de la isla San Lorenzo y la restante en Chimbote (Gutiérrez, 2016, p. 10).

En setiembre del 2016, a través de un Taller de calibración de ecosondas comerciales se presentaron los procedimientos estándar para calibrar óptimamente las ecosondas para la pesca Simrad ES60/70, con la participación de investigadores del Imarpe, de la Sociedad Nacional de Pesquería (SNP) y de la Universidad Nacional Federico Villarreal (UNFV). Los métodos de calibración presentados fueron el script ExCal que es un código abierto de Matlab (The Mathworks, MA, USA), escrito por Gavin Macaulay de New Zealand's National Institute

of Water and Atmospheric Research Lt (NIWA) y la subrutina Calibration.exe del software de las ecosondas EK60; además de una demostración del ingreso de parámetros calibrados al software de las ecosondas para la pesca según lo descrito por Demer et al. (2015). Por su parte, la UNFV en el marco de una investigación conjunta con la SNP presentó un protocolo de calibración a través del método del eje usando el software Echoview (Myriax en Hobart, Tasmania). Se concluyó que la diferencia entre los resultados de ExCal y Calibration.exe se encuentran dentro del error de medición de ± 0.1 decibeles (dB); sin embargo, la calibración en el eje presentó una ganancia distinta en 0.3 dB (Imarpe, 2016).

No obstante, el uso de estas embarcaciones requiere profundizar en el análisis referido a los métodos y técnicas para la calibración eficaz de dichos sistemas acústicos, los diseños de muestreo acústico y pesquero (ejecución de lances de pesca para la obtención de información biológica y sobre la estructura de tallas) que óptimamente se podría adoptar según las condiciones ambientales imperantes (Gutierrez, 2016, p. 09).

2.3.1. Bases teóricas

2.3.1.1. Hidroacústica y acústica pesquera.

La hidroacústica es la rama de las ciencias marinas que estudia la propagación del sonido en el medio acuático. La acústica pesquera, es la integración de ciencias biológicas, pesqueras y oceanográficas en el estudio físico de la propagación del sonido en el agua, se aboca al desarrollo y aplicación de técnicas y métodos basados en la utilización de la energía sonora para la prospección de los recursos pesqueros (Madirolas, 2023).

La utilización de ecosondas para la detección y cuantificación de los organismos acuáticos, constituye una de las metodologías más recientes para el estudio de los recursos pesqueros (El autor, 2023).

Los métodos acústicos para la evaluación de los stocks de peces y la clasificación de sus hábitats han alcanzado mayor importancia, en la última década, se han efectuado mejoras sustanciales en los métodos de evaluación acústica, así como en las técnicas de análisis (Higginbottom et al., 2000). Estas técnicas corresponden tanto al desarrollo de superiores sistemas de transmisión y recepción de pulsos acústicos como los que se logran con tecnologías split beam (Foote et al., 1991) y dual beam (Takao y Furusawa, 1996), las que han permitido mejorar la precisión de las estimaciones de abundancia y eco-conteo. Otras tecnologías contribuyen al entendimiento del comportamiento como en el caso de las tecnologías multihaz (Gerlotto et al., 1999) y, otras a mejorar la estimación de la Fuerza de Blanco TS (Madureira et al., 1993; Kloser et al., 1998).

El sistema dual beam, es el haz múltiple más sencillo. Diseñado por Ehrenberg en los años 70, consiste en un transductor compuesto de un haz estrecho, que actúa como transmisor, así como receptor, y un haz ancho que actúa solamente como receptor. En el haz dual no se determina la posición precisa del blanco en el haz, sino su posición radial en función del cociente de intensidades entre las medidas en el haz estrecho y el ancho. Para ello se asume que el haz ancho es fundamentalmente plano en el lóbulo principal del haz estrecho. Con esta información se puede eliminar el “efecto haz” y obtener una estimación del TS del blanco (Ehrenberg, 1974).

El sistema Split beam o de haz partido es el único método estándar que estima simultáneamente la intensidad y posición de los ecos recibidos. El transductor está dividido en cuadrantes. La posición del eco se determina por comparación de las diferencias de fase entre pares de cuadrantes. Conociendo con exactitud la posición del blanco, se puede directamente corregir el efecto haz en la intensidad del eco; la figura 1 representa el sistema Split beam.

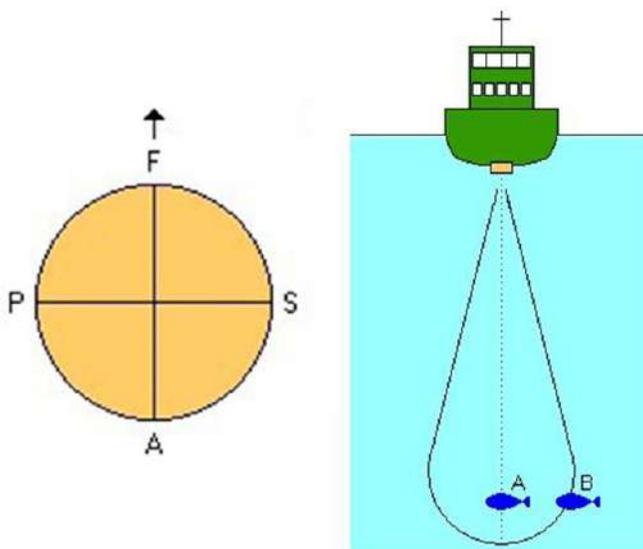


Figura 1. Representación del Sistema Split beam (Fuente: Manual del Operador de la Ecosonda Simrad ES60 Rev H.)

Según Ehrenberg (1979), quien comparó los sistemas dual y partido, el sistema de haz partido es teóricamente superior en presencia de ruido y cuando hay interferencia entre señales. Sin embargo, en condiciones ideales ambos sistemas producen resultados comparables. Dada la menor complejidad del sistema dual este ha sido muy popular en el pasado. A medida que los métodos de detección de fase y de medida del haz se han mejorado la popularidad del sistema de haz partido ha aumentado considerablemente.

2.3.1.2. Sistemas de detección acústica

En la actualidad en el mercado existen una gran variedad de ecosondas; que son utilizadas en mapeos batimétricos, estudios de sedimentos y detección de bancos de peces, etc. En el Perú las ecosondas utilizadas para detección y/o cuantificación de peces son diseñadas con tecnología digital; así los entes de investigación están equipados con ecosondas científicas Simrad de los modelos EK60 y EK80, diseñadas exclusivamente para evaluar organismos vivos. Por su parte, la flota pesquera dedicada a la extracción de peces pelágicos (como la anchoveta), cuentan con ecosondas comerciales Simrad de los modelos ES60, ES70 y ES80, diseñadas para

la pesca profesional o comercial, que operan con los mismos transductores Split beam que las científicas, pudiendo ser calibradas con los mismos procedimientos y precisión que los modelos científicos.

2.3.1.3. EK60, EK80, ES60, ES70 y ES80

La ecosonda científica EK60 (Simrad, 2008) reemplazó a la EK500 (Simrad, 1997) en el año 2003. En lo sucesivo, EK60 es un sistema de una sola frecuencia completa u onda continua (CW por sus siglas en inglés), incluyendo el transmisor-receptor de uso general (GPT por sus siglas en inglés), conectores, cables, transductor, ordenador y el software de control y registro de datos “ER60” (Simrad, 2008). Calibration.exe es la utilidad de calibración que se puede ejecutar desde, o independientemente, del ER60.

La ecosonda científica EK80 (Simrad, 2017) es la sucesora de la EK60, es un sistema que puede soportar transmisión en banda ancha o frecuencia modulada (FM) y la transmisión tradicional de una sola frecuencia (CW). En el modo FM puede operar con un largo rango de frecuencias de 10 kHz a 500 kHz. El sistema puede incluir uno o varios transmisores-receptores de banda ancha (WBT por sus siglas en inglés): WBT 402578 (10-30 kHz), WBT 402579 (25-50 kHz), WBT 402579 (25-50 kHz), WBT 402580 (45-90 kHz), WBT 402581 (85-170 kHz), WBT 402582 (150-300 kHz), WBT 402583 (250-500 kHz); conectores, cables, transductor, ordenador y el software de control y registro de datos “EK80” (Simrad, 2017), con una versión renovada de la utilidad de calibración “Calibration.exe”.

La ecosonda ES60 comercial (Simrad, 2004) y su sucesora, la ES70 (Simrad, 2010), se componen de un hardware transceptor (GPT) de la generación EK60, con diferente firmware, software y funciones. La ES80 es la ecosonda comercial con capacidades de transmisión

en banda ancha (FM), que cuenta con un hardware transceptor de banda ancha (WBT) de la generación EK80, con firmware, software y funciones nuevas.

Estas ecosondas comerciales, también se pueden calibrar y usar eficazmente en ciertas situaciones de investigación. ES60, ES70 y ES80 se refieren a los respectivos sistemas de ecosonda y su software con los mismos nombres. La calibración se realiza con el método de la esfera. Los resultados de una calibración con esfera son relevantes para todo el sistema acústico. Por lo tanto, si el GPT, transductor, cable o conector se cambian o alteran, el sistema debe ser recalibrado (Demer et al., 2015), como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 1. Características de los ecosondas EK60, ES60, ES70, ES80 y sistemas correspondientes a las salidas de datos y de calibración.

Características	EK60/EK80 Ecosonda científica	ES60 Ecosonda para pesca	ES70 Ecosonda para pesca	ES80 Ecosonda para pesca
Soporte de Simrad como ecosonda científica	Si	No	No	No
Tipo de sistema	Split beam	Split and single beam	Split and single beam	Split beam
Salida de datos RAW	Si	Si (Versión 1.4.3.64 +) Sí, a Ethernet;	Si	Si
Salida de datos EK5 y EK6	Si, a archivo o ethernet	conectándose con Echolog500; error de cuantificación puede afectar a las calibraciones, pero no afecta el muestreo	Sí, a archivo y Ethernet. Es incierto si los datos EK5 tienen error de cuantificación	No
Herramienta de calibración	Si	No	No	No
Error secuencial de onda triangular	No	Si	Si	No
Registro de los parámetros de GPT	Calibration.exe actualiza trlist.ini	Actualización manual trlist.ini	Actualización manual trlist.ini	Actualización manual trlist.ini

Fuente: Demer et al., 2015

2.3.1.4. Datos

Los datos de salida EK60, EK80, ES60, ES70 y ES80 tienen tres formatos que pueden ser utilizados para las mediciones acústicas cuantitativas: los datos crudos (.raw), datos

legados de la EK500 o datos de EK5 (.ek5 o telegrama Q) y datos EK6, convertidos a la fuerza del volumen de retrodispersión (S_v) y remuestreados (Demer et al., 2015).

Para cada transmisión de la ecosonda (ping), los datos RAW incluyen potencia del eco recibido, P_{er} (W), ángulos de fase en dos planos ortogonales, α , β ($^\circ$) (para sistemas splitbeam), y los siguientes valores de GPT: frecuencia, f (kHz), la potencia de transmisión, P_{et} (W), duración del impulso, τ (s), G_0 , S_{acorr} , y el ángulo de haz equivalente de dos vías, Ψ (dB re 1 sr). Estos datos y valores se utilizan para calcular y mostrar el S_v y la fuerza de blanco, TS (dB re 1 m²):

$$S_v = P_{er} + 20\log_{10}(r) + 2\alpha_a r - 10\log_{10}\left(\frac{(P_{et}\lambda^2 g_0^2 c_w \tau \psi)}{32\pi^2}\right) - 2S_{acorr}, \text{ and}$$

$$TS = P_{er} + 40\log_{10}(r) + 2\alpha_a r - 10\log_{10}\frac{(P_{et}\lambda^2 g_0^2)}{16\pi^2} - 20\log_{10}\left(\frac{g(\alpha,\beta)}{g_0}\right),$$

Donde r (m) es el rango de la esfera, P_{er} (dB re 1 W) es la potencia recibida, P_{et} (W) es la potencia de transmisión, α_a (dB m⁻¹) es el coeficiente de absorción, g_0 (adimensional) la ganancia en el eje (pico) del transductor, $g(\alpha, \beta)$ (adimensional) es la ganancia del transductor en la dirección de fuera del eje de los ángulos α y β ($^\circ$), λ (m) es la longitud de onda, f (Hz) es la frecuencia, c_w (ms⁻¹) es la velocidad del sonido del agua, τ (s) es la duración del pulso de transmisión, ψ (sr) es el ángulo del haz de dos vías equivalente, y S_{acorr} (dB re 1) es la corrección del factor S_a . El software (por ejemplo, LSSS por IMR en Bergen, Noruega, o Echoview por Myriax en Hobart, Tasmania) se puede utilizar para convertir los datos en bruto de ecogramas de S_v o TS . (Demer et al., 2015).

Aunque los datos EK5 y EK6 son menos voluminosos que los datos crudos, no contienen la configuración de GPT (metadatos importantes) y pueden contener errores de cuantificación. Para las versiones de ER60 anteriores a 2.2.0, todas las versiones de ES60 y,

posiblemente, algunas o todas las versiones de ES70, hay un error de cuantificación en los datos de EK5 que puede causar errores significativos ($4 > \text{dB}$) en los resultados de calibración. Este error de cuantificación es extremo para medidas de objetos altamente reflectantes en un intervalo fijo (por ejemplo, una esfera de calibración). Por lo tanto, siempre grabar datos RAW y, utilizar al menos la versión ER60 2.2.0 o superior, calibrar siempre utilizando datos RAW. Si se desea, puede registrar los datos EK5 simultáneamente y de forma independiente (Demer et al., 2015).

2.3.1.5. Potencia de salida del transductor

En cuanto a la potencia de salida (p_{et}) de un transductor, los efectos de la distorsión armónica no lineal pueden afectar el patrón de directividad del transductor y limitar la energía del sonido radiado en el agua (Tichy et al., 2003; Korneliussen et al., 2008).

Estos efectos no lineales generalmente aumentan con la potencia y la frecuencia. Aunque las interacciones acústicas no lineales están siempre presentes, estas se reducen mucho en comparación con el sonido lineal, particularmente cuando se reduce la potencia acústica de los transductores. Estas interacciones no lineales tienen lugar en la insonificación de la columna de agua y dependen de la intensidad y la frecuencia acústica (Tichy et al., 2003; Pedersen, 2007).

Cuando la potencia de la fuente se incrementa a niveles muy altos, se encontrará que el nivel de sonido en el campo de la 1^{era} armónica no resultará en el mismo aumento, y, finalmente, aumentar la señal recibida no producirá más alcance, sin importar la cantidad de energía que sea radiada por la fuente.

La razón de este efecto es que, a altas intensidades, las señales normalmente sinusoides, se distorsionan por la creación de armónicos de orden superior en el agua, lo que resulta en una onda con forma de dientes aserrados o de ondas de choque repetido. Esto es causado por la no linealidad en el agua, como los armónicos más altos sufren una mayor absorción

en el agua, las señales, hasta un cierto rango, vuelven a ser sinusoides. Sin embargo, como los armónicos más altos se han disipado, la energía del sonido es menor (Demer et al., 2015).

El efecto no lineal también tendrá influencia en el patrón del haz del transductor. El lóbulo principal se convertirá en más plano y por lo tanto más amplio, y los lóbulos laterales se incrementarán en comparación con el lóbulo principal. El cambio en el patrón del haz implica que las mediciones de la fuerza de blanco (TS) y valores de integración no serán correctos (Demer et al., 2015).

Simrad (2002) realizó extensas mediciones de este efecto en las frecuencias más utilizadas por las ecosondas: 38, 70, 120 y 200 kHz, a través de transductores estándar y transceptores de la ecosonda Simrad EK60. Los transductores se montaron 2,5 m por debajo de la superficie del agua durante las mediciones:

1. El efecto no lineal es insignificante en 38 y 70 kHz dentro de los límites máximos estándar para la potencia de salida, 2000 W y 1000 W, respectivamente.
2. Para 120 kHz, los efectos no lineales causan una reducción en el nivel de señal de aproximadamente 1 dB a 10 m de alcance a plena potencia (1000 W).
3. Para 200 kHz, la reducción en el nivel de la señal es de 4,5 dB a 10 m de alcance a plena potencia (1000 W).

Para reducir el efecto de las interacciones no lineales, la potencia de salida de un transductor se debe ser seleccionada a un nivel donde el sonido generado de forma no lineal sea insignificante en comparación con el sonido generado de forma lineal. Para mitigar estos efectos, Korneliussen et al. (2008) recomendó la potencia de transmisión máxima para varios transductores Simrad, como se presenta en la tabla 2.

Tabla 2. Potencia de transmisión máxima recomendado para 60% de eficiencia electroacústica, para algunos tamaños de transductores comunes

Frecuencia (Hz)/1000	18	38	70	70	120	200	333	400
Área del transductor (10^{-3} m ²)	200	100	30	12	10	4.4	1.6	1.1
Nominal $\theta_{-3\text{ dB}}$ (°)	11	7	7	11	7	7	7	7
Máxima p_e (W)	5000	2500	750	300	250	110	40	28

Fuente. Korneliussen et al. (2008)

2.3.1.6. Ganancia cronovariable (TVG)

Cuando se envía un pulso acústico por el agua, va perdiendo energía gradualmente. Cuanto mayor sea la distancia entre el transductor y los blancos, mayor será la pérdida de energía. El TVG compensa la pérdida de energía acústica causada por la distancia geométrica y la absorción (Simrad, 2006).

Las pérdidas en la propagación, ocasionadas por la absorción, son muy superiores en agua de mar que en agua dulce. La absorción también se incrementa con la frecuencia. A 38 kHz la absorción es de 0.5 dB/km (en agua dulce) y de 10 dB/km en agua salada. A 200 kHz la absorción es de 10 dB/km, en agua dulce y de 50 dB/km en agua salada. Se entiende, por tanto, la importancia de configurar el sistema acústico de acuerdo al medio donde está operando, a fin de compensar correctamente estas pérdidas (Simrad, 2006).

La compensación TVG se expresa con una curva logarítmica. Cada curva tiene una pendiente diferente, creando una compensación de ganancia diferente y cada una se identifica con la ecuación $X \log \text{TVG}$. El coeficiente "X" es un número entero con valores típicos de 10 a 40 (Simrad, 2006).

Hay varios ajustes de compensación TVG disponibles en las ecosondas comerciales:

- Sin TVG: La compensación TVG no está implementada. Este ajuste casi no se utiliza.

- Cardumen (20 log R): Este ajuste de ganancia ofrece una amplificación más débil cerca del fondo. Se ha diseñado para proporcionar los mejores ecos posibles para bancos. El tamaño físico del banco permite detectarlo incluso con ganancia reducida.

- Pez (40 log R): Este ajuste de ganancia ofrece una mayor amplificación cerca del fondo. Se ha diseñado para proporcionar los mejores ecos posibles para peces aislados.

- Blancos (40 log R): Este ajuste utiliza la misma amplificación TVG que Pez (40 log R), pero con filtrado y compensación implementados de forma adicional. Solo se muestran los ecos detectados e interpretados como peces aislados. Se realiza una compensación de los ecos para su posición física en el haz (compensación del haz). Esto significa que los peces en las partes más externas del haz se ajustan al tamaño correcto incluso cuando sus ecos son más débiles.

- Distintos blancos (40 log R): Este ajuste utiliza la misma amplificación TVG que Pez (40 log R), pero con compensación del haz implementada de forma adicional. Los ecos detectados e interpretados como peces individuales se ajustan al tamaño correcto de acuerdo a su posición física en el haz.

- Usuario: Este ajuste le permite definir su propio ajuste TVG. Para seleccionar su propia curva de TVG, utilice la función en el cuadro de diálogo Ecograma.

Un gran cardumen de peces refleja las ondas sonoras de forma similar. Este tipo de dispersión se conoce como ley cuadrática o dispersión 20 log TVG. La situación es ligeramente diferente cuando observamos ecos generados por peces individuales. La onda transmitida se propaga por la ley cuadrática, desde la superficie hasta el pez. La vejiga natatoria del pez propaga,

en todas direcciones, una pequeña fracción de la energía que llega. En el trayecto desde el pez hasta el retorno a la superficie, la onda propagada sufre otra expansión de ley cuadrada. El efecto combinado se conoce como "dispersión cuádruple" o 40 log TVG (Simrad, 2006).

En la función "Ecograma" de las ecosondas comerciales, 20 log TVG se denomina ganancia de cardumen y ganancia de fondo, siendo equivalente al ecograma de sv en ecosondas científicas; mientras que 40 log TVG conocida como ganancia de pez o blanco, son equivalentes al ecograma de TS en las ecosondas científicas (Simrad, 2006).

2.3.1.7. Duración de pulso

La resolución vertical de un ecograma se incrementa con una duración de pulso corta; por ejemplo: Con una duración de pulso de 1.024 milisegundos (ms) se tiene una resolución vertical de 19.2 cm, para las duraciones de pulso de 0.512 y 0.256 ms, las resoluciones verticales respectivas 9.6 cm y 4.8 cm. Si la distancia vertical que separa dos ecos es menor que esta, ambos ecos pueden ser observados como uno. Estos parámetros son interdependientes, no se pueden cambiar individualmente. Sin embargo, para cada canal del transceptor, se puede elegir entre un grupo de parámetros. El parámetro duración de pulso controla la duración del pulso de transmisión (Simrad, 2006), como se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 3. Duración de pulso (μ S) aplicable para la operación de las diferentes frecuencias

kHz	64	128	256	512	1024	2048	4096	8192	16384
12	-	-	-	-	OK	OK	OK	OK	OK
18	-	-	-	OK	OK	OK	OK	OK	-
38	-	-	OK	OK	OK	OK	OK	-	-
70	-	OK	OK	OK	OK	OK	-	-	-
120	OK	OK	OK	OK	OK	-	-	-	-
200	OK	OK	OK	OK	OK	-	-	-	-

Fuente: (Simrad, 2006)

La duración del pulso transmitido es muy importante para la detección de los peces (Simrad, 2006).

a) Con una duración de pulso corta se tiene una resolución vertical muy fina, permite detectar peces dispersos y encontrar los que se mueven cerca del fondo.

b) Una duración de pulso larga puede proveer un rango largo, pero reduce la resolución vertical

2.3.1.8. Seteo y calibración de ecosondas comerciales

El software de las ecosondas científicas dispone de dos aplicativos básicos para la calibración: “environment” para calcular la velocidad del sonido (m/s) y coeficiente de absorción (dB/m) de acuerdo a la frecuencia con la temperatura ($^{\circ}$ C) y salinidad (ppm) del agua, y “calibration.exe” necesario para el proceso de calibración, sea con mediciones in situ de la esfera de calibración o virtual a través de un replay de la data en formato RAW grabada con la esfera de calibración dentro del haz acústico; permitiendo cargar directamente al sistema los parámetros derivados de la calibración (Demer et al., 2015).

Las comerciales cuentan con una unidad de proceso y un software de control para los parámetros de operación del transmisor-receptor (GPT), como duración de pulso (ms), potencia

(w), intervalo de emisión de pulsos (ms), salida de datos, velocidad del sonido (m/s) etc. Sin embargo, este software carece de la opción de calibración. En este caso, la calibración se efectúa a través del “modo de reproducción” de la data en formato RAW grabada con la esfera de calibración dentro del haz acústico y la actualización al sistema de los parámetros derivados de la calibración se realiza a través de un fichero de extensión .ini o .xml, que configura los parámetros de funcionamiento del transceptor (Demer et al., 2015).

La mayoría de los protocolos de calibración presentados en este documento son aplicables genéricamente a EK60, EK80, ES60, ES70 y ES80. Los protocolos se presentan principalmente para los sistemas Split beam (Demer et al., 2015).

2.3.1.9. Fuerza de blanco (TS)

El TS es clave en la determinación de la abundancia de peces (L.Midttun, 1984). Es esencial para expresar las mediciones del econtegrador en términos de abundancia de peces. El principio de econtegración es el siguiente: la señal de salida calibrada de la ecosonda, la cual está ya compensada respecto a la dispersión geométrica y a la absorción, es elevada al cuadrado e integrada para un rango e intervalo definidos cuando es recibida (Johannesson and Mitson, 1983). El resultado debido a un solo ping es proporcional a la suma de las secciones transversales de retrodispersión de los peces detectados, las que son ponderadas con el producto de los factores del patrón de haz para emisión y recepción; esto se hace para cada dispersor si es que éste se halla lo suficientemente separado de otros. Aun cuando los ecos individuales se superpongan se espera el mismo resultado (Foote, 1987).

En cualquier caso, la econtegración es la medición de la acumulación de sección transversal de retrodispersión de los dispersores observados. Si los ecos son de peces, entonces el valor de econtegración puede ser convertido a número de peces al ser dividido por un adecuado

promedio del sección transversal de retrodispersión. El TS es la sección transversal de retrodispersión cuando se le expresa logarítmicamente (Dalen, 2000).

Para medir la fuerza de blanco (TS), partimos del principio de que medir la intensidad de un eco es relativamente simple. Sin embargo, cuando medimos la intensidad de nuestros blancos intentamos aprender cuanto sea posible del comportamiento y naturaleza de los objetos insonificados. De ahí que ciertos métodos de medición de la TS (los llamados ex situ) sean de poca utilidad, pues necesitan de la fijación de los blancos por medio de hilos de nylon frente al transductor, o de un confinamiento en jaulas de tamaño limitado, que afectan al comportamiento del pez. En ambos casos no se espera que los blancos se comporten como lo harían en su medio natural.

Los métodos in situ precisan de un conocimiento de la posición del blanco respecto al eje principal del transductor, para permitir la corrección de la energía medida debido al efecto del haz. Es por esto que los métodos directos capaces de medir la TS en condiciones in situ son altamente recomendables. En ellos la tecnología pretenderá separar los ecos provenientes de blancos aislados de los ecos compuestos o múltiples. Los dos métodos más utilizados son los basados en el uso de transductores dual beam (haz dual) o split beam (partido) (Simrad, 2016).

2.3.1.10. Calibración con blanco estándar

La calibración permite ajustar los parámetros de funcionamiento del equipo mediante mediciones de la Fuerza de Blanco (Target Strength, TS) de un Blanco Estándar (esfera de cobre o carburo de tungsteno) cuyo TS es conocido, el diámetro de la esfera depende de la frecuencia. (Tabla 4)

Tabla 4. Diámetro (mm) y fuerza de blanco (dB) de las esferas de cobre

Frecuencia (kHz)	Diámetro (mm)	Fuerza de blanco (dB)
38	60,0	-33,6
70	32,1	-39,1
120	23,0	-40,4
200	13,7	-45,0

Fuente: Simrad (2012)

Durante la calibración se sumerge la esfera quedando suspendida con tres reductores y la Fuerza de Blanco medida se compara con la fuerza de blanco nominal conocida de la esfera; de existir una diferencia significativa se realizan cambios en los parámetros de operación de la ecosonda hasta conseguir el valor correcto. El arreglo general del procedimiento está descrito en Foote, et. al (1987), como se observa en la figura 2.

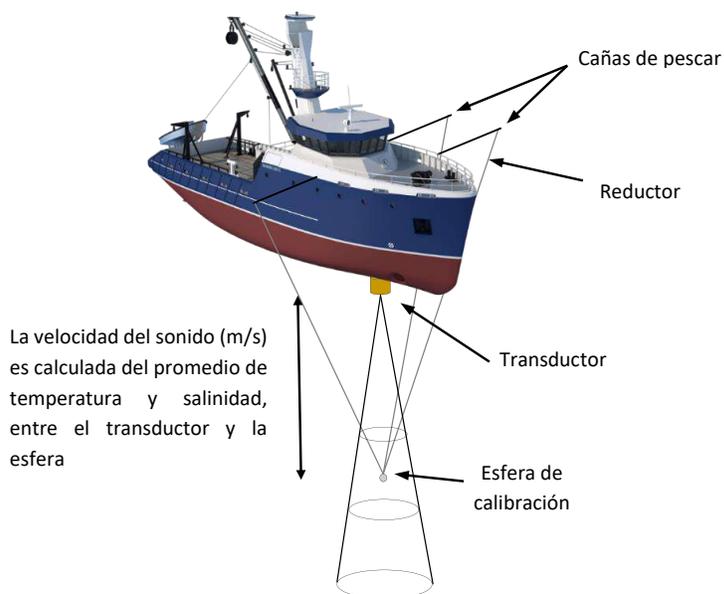


Figura 2. Arreglo general para la calibración de un ecosonda comercial

2.3.1.11. Ubicación de la zona de calibración

En lo posible, la calibración debe realizarse en condiciones ambientales similares a la evaluación (Demer y Renfree, 2008). Se debe elegir una zona con poca o ninguna presencia de peces, que no interfieran en la medición de la reflectividad del blanco estándar. Es recomendable, anclar en una bahía protegida a partir de uno o más puntos; la profundidad del lugar debe ser suficiente para colocar la esfera en el campo lejano de los transductores (profundidad recomendada mayor a 15 m) (Demer et al., 2015).

2.3.1.12. Pronóstico del tiempo

La calibración de los equipos acústicos se ven afectadas por las condiciones del oleaje, corrientes y viento etc., estos influyen desestabilizando la detección de la esfera y limitan la capacidad de desplazarla para cubrir los cuatro cuadrantes y el eje del haz acústico.

Es importante conocer el pronóstico del oleaje y viento para programar la calibración, por ejemplo, en el sitio web <http://www.olasperu.com/pronostico/> se puede conocer el pronóstico del estado de mar para distintas playas a nivel nacional.

Si la velocidad del viento es menor a 15 nudos y el oleaje menor a 2 m, la deriva puede ser el mayor inconveniente para la calibración (Demer et al., 2015).

2.3.1.13. Mantenimiento de los transductores

Previo a cada calibración se debe efectuar un mantenimiento de los transductores, que puede consistir en remover los organismos marinos que se incrustan sobre la superficie cerámica, tales como choros, balanus (cirripedos), etc.; ya que esto degrada el rendimiento del sistema acústico (Simrad, 2006).

2.3.1.14. Rango de la esfera

A distancias cortas, la compensación del eco esfera perdido por la dispersión puede variar significativamente con pequeños cambios en el rango estimado. Por lo tanto, las mediciones de σ_{bs} esfera (o cualquier otra retrodispersión cuantitativa) no deben hacerse a distancias cortas. Simmonds y MacLennan (2005) recomiendan que el rango de la esfera sea al menos dos veces el campo cercano, r_{nf} (m):

$$r_{nf} = \frac{d_t^2}{\lambda},$$

Donde d_t (m) es el diámetro del transductor y λ es la longitud de onda acústica (m). Medwin y Clay (1998) recomiendan que el rango de la esfera sea al menos tres veces el r_{nf}

$$r_{nf} = \frac{\pi d_t^2}{4\lambda},$$

Donde d_t (m) es la distancia más grande a través de los elementos activos en un proyector de pistón circular. La recomendación de Medwin y Clay (1998) es 0.356 veces más conservador que por Simmonds y MacLennan (2005). Los puntos a -3 dB en el lóbulo principal de un patrón de directividad del transductor se producen en un ángulo respecto al eje: $\theta_{-3 \text{ dB}}/2 \cong \sin^{-1}(3.2/kd_t)$, donde $k = 2\pi/\lambda$ es el número de onda, Por lo tanto, d_t se puede estimar a partir de la anchura de haz $\theta_{-3 \text{ dB}}$, utilizando:

$$d_t \cong \frac{3.2}{k \sin(\theta_{-3 \text{ dB}}/2)}.$$

Combinando las ecuaciones anteriores, el rango mínimo recomendado para la esfera (Medwin y Clay, 1998) es estimada para una selección de frecuencias y ancho de haz del transductor, como se presenta en la figura 3:

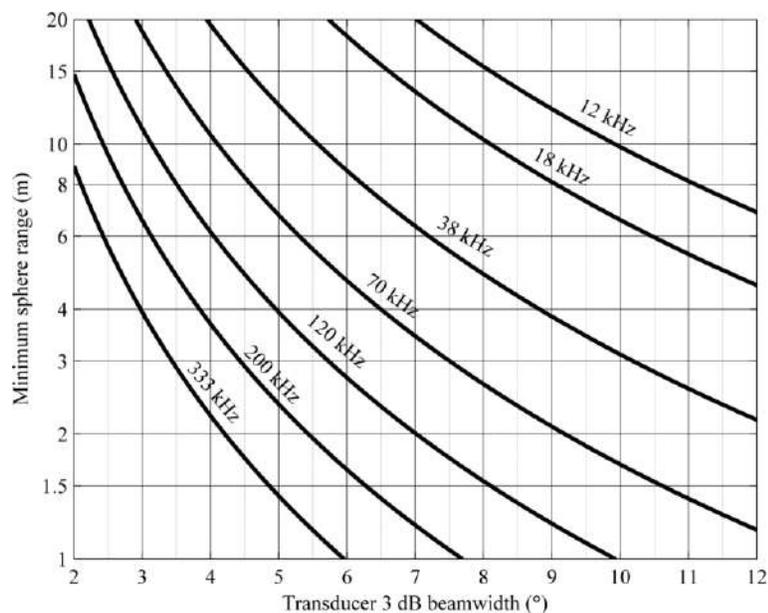


Figura 3. Rango mínimo recomendado para la esfera de calibración (Fuente: Demer et al., 2015)

2.3.1.15. Parámetros del transductor-transceptor

Ángulos direccionales (α , β)

El ángulo se coordina en planos ortogonales, típicamente a lo largo y transversalmente o alineado con los ejes mayor y menor del transductor, respectivamente (Demert et al., 2015).

Ángulo de sensibilidad del transductor (Δ)

Es el factor para convertir los ángulos eléctricos del haz dividido (split-beam) en ángulos de orientación del objetivo en los planos α o β (Demert et al., 2015). El efecto de primer orden, y la medición del ángulo en un plano se simplifica a una medición de la diferencia de fase entre las señales recibidas en los puntos centrales de las mitades del transductor (Boldhot, 2002), como se presenta en la figura 4:

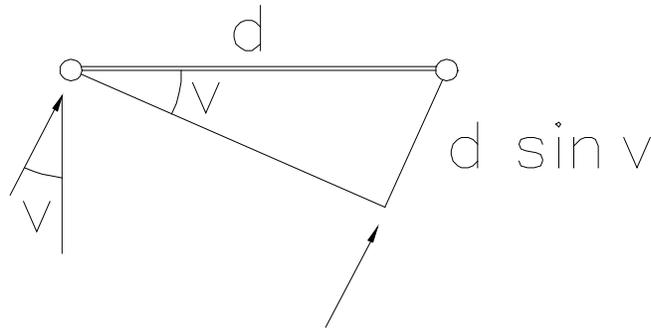


Figura 4. Ángulo de sensibilidad del transductor

(Fuente: Boldhot, 2002)

Donde d es la distancia entre los puntos centrales, φ es la diferencia de fase medida, v es la dirección de las ondas entrantes (ángulo desde el eje del haz), f es la frecuencia, λ es la longitud de onda, $c = \lambda f$ es la velocidad del sonido en el agua frente al transductor.

$$\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} d \sin v = \frac{2\pi f}{c} d \sin v$$

Para ángulos pequeños, esta fórmula se puede aproximar a:

$$\varphi = \frac{2\pi f d}{c} v$$

El coeficiente delante de v se llama sensibilidad angular n . Es la relación entre el ángulo de fase medido y el ángulo geométrico al pez (Boldhot, 2002).

$$n = \frac{2\pi f d}{c} = \frac{2\pi f d}{c_o} \cdot \frac{c_o}{c} = n_o \frac{c_o}{c}$$

Compensación de ancho de haz del transductor (α_o, β_o)

Es el desplazamiento angular del haz del eje de respuesta máxima del transductor desde el eje de fase cero del haz dividido, en los planos α o β (Demert et al., 2015).

Ancho del haz ($\theta_{-3\text{ dB}}$)

También denominado ángulo nominal, para un solo haz acústico, es el ángulo entre los puntos de media potencia del lóbulo principal del patrón de haz del transductor medido en grados. Si el haz es elíptico, el ángulo del haz de -3 dB se mide por separado a lo largo de los ejes mayor (α) y menor (β) (Echoview, 2012).

Para un transductor donde el área activa es circular y tiene un diámetro D , el ancho del haz u (en radianes) es aproximadamente (Boldhot, 2002):

$$u = \frac{\lambda}{D} = \frac{c}{Df} = \frac{c_o}{Df} \cdot \frac{c}{c_o} = u_o \cdot \frac{c}{c_o}$$

Ganancia del transductor (g o G)

La ganancia del transductor, g (adimensional), se define como la relación de $i_t(\alpha, \beta)$ de un transductor real y un transductor omnidireccional sin pérdidas idealizado, $i_{t\text{ omni}}$ (W m^{-2}). Da cuenta de la eficiencia del transductor, η (adimensional), que es la proporción de p_{et} , referida a un punto en el lado eléctrico del transductor, convertida a p_{at} (Demert et al., 2015):

$$g(\alpha, \beta) = \frac{i_t(\alpha, \beta)}{i_{t\text{ omni}}} = \frac{p_{at}}{p_{et}} d(\alpha, \beta) = \eta d(\alpha, \beta) = g_0 b(\alpha, \beta) .$$

La ganancia en el eje, g_0 (adimensional), es la $g(\alpha, \beta)$ en la dirección de máxima directividad (normalmente en $\alpha = 0^\circ$, $\beta = 0^\circ$). Tanto g_0 como $b(\alpha, \beta)$ dependen de λ , que cambia con c_w (Bodholt, 2002).

Ángulo equivalente en dos vías (ψ)

Es el ángulo sólido subtendido por un haz cónico ideal que produciría la misma integral de volumen que el cuadrado de la directividad normalizada del transductor y que produciría el mismo eco de una biomasa distribuida aleatoriamente que el transductor real

(MacLennan y Simmonds 1992). Este ángulo ideal equivalente tiene una respuesta plana dentro del haz y cero por fuera. De acuerdo a Boldhot (2002), el ángulo de haz equivalente está relacionado con el ancho de haz del transductor por:

$$\psi = a \cdot u^2$$

Donde u es el ancho de haz en radianes; a es aproximadamente 0.00017 (Urlick, 1983).

La variación con la velocidad del sonido será:

$$\psi = a \cdot u_o^2 \frac{c^2}{c_o^2} = \psi_o \frac{c^2}{c_o^2}$$

Corrección del coeficiente del área de retrodispersión ($S_{a,corr}$)

El $S_{a,corr}$ se obtiene a partir de los valores del área de retrodispersión (S_a) y la fuerza de blanco (TS) de la esfera de calibración. La subrutina Calibration.exe del software ER60 inicialmente solo usa detecciones de un solo blanco de las celdas 3x3 más cercanas al centro. Si hay menos de tres detecciones en estas nueve celdas, Calibration.exe usa datos de las celdas 5x5 más cercanas al centro. Si hay menos de cinco detecciones en estas celdas, se notifica al usuario que se necesitan más detecciones alrededor del centro. Se utiliza un "promedio" de las estimaciones de estas detecciones como la estimación final de $S_{a,corr}$ (Simrad, 2008).

La sección transversal de retrodispersión para la esfera de calibración se estima (Simrad, 2008):

$$\sigma_{bs,sphere} = \frac{P_{r,max} 16\pi^2}{P_t g^2(\theta, \phi) \lambda^2} r_{sphere}^4 10^{2\alpha r_{sphere}}$$

Cada muestra del volumen de retrodispersión de la esfera se estima como (Simrad, 2008):

$$s_{v,i} = \frac{P_{r,i} 32\pi^2}{P_i g_0^2 \lambda^2 c \tau_{nom} \Psi} r_i^2 10^{2\alpha_i}$$

$$= \frac{P_{r,i}}{P_{r,max}} \frac{g^2(\theta, \phi)}{g_0^2} \frac{r_i^2 10^{2\alpha_i}}{r_{sphere}^4 10^{2\alpha_{sphere}}} \frac{2\sigma_{bs,sphere} c \tau_{nom}}{c \tau_{nom} \Psi} \frac{c \tau_{nom}}{8}$$

La fuerza del área de retrodispersión para la esfera de calibración utilizando las muestras del volumen de retrodispersión se estima como (Simrad, 2008):

$$s_{a,sphere} = \sum_i s_{v,i} \frac{c \tau_{nom}}{8}$$

Si hacemos la aproximación $r_i \approx r_{sphere}$ obtenemos (Simrad, 2008):

$$s_{a,sphere} = \frac{\sum_i P_i}{4P_{max}} \frac{\sigma_{bs,sphere}}{\Psi r_{sphere}^2} \frac{g^2(\theta, \phi)}{g_0^2}$$

Reordenando obtenemos (Simrad, 2008):

$$s_{a,corr} = \frac{1}{2} \frac{\sum_i P_i}{4P_{max}} = \frac{1}{2} s_{a,sphere} \frac{\Psi r_{sphere}^2}{\sigma_{bs,sphere}} \frac{g_0^2}{g^2(\theta, \phi)}$$

2.3.1.16. Corrección de los parámetros del transductor

Para cada transductor de ecosonda científica, Simrad mide bajo control, en las condiciones de un tanque de agua dulce las anchuras de haz, $\theta_{-3dB'}$ (°) y las sensibilidades de ángulo, A' (electrical°/geometrical°) (Demer et al., 2015).

Simrad utiliza entonces el estimado de los valores $\alpha_{-3dB'}$ y $\beta_{-3dB'}$ para estimar el ángulo del haz equivalente de dos vías [$\Psi' = 10 \log_{10} (\alpha_{-3dB'} \beta_{-3dB'} / 5800)$] (Demer et al., 2015).

Sin embargo, una vez que el transductor se trasladó a un entorno diferente y montado en una

plataforma (por ejemplo, el casco de un barco, orza, o el cuerpo remolcable), estos valores pueden ser diferentes (Simmonds, 1984a, 1984b; Reynisson, 1998). Esto es porque el c_w local afecta a λ , A , $\theta_{-3\text{dB}}$, ψ y g_o ; por lo tanto, las medidas de TS y S_v . Bodholt (2002) mostro que estos se pueden ajustar a la velocidad de sonido local, c_w , a partir de valores específicos, A' , $\theta_{-3\text{dB}}'$, ψ' y g_o' , medidos por el fabricante a la velocidad del sonido, c_w' :

$$A = A' (c_w / c_w');$$

$$\theta_{-3\text{dB}} = \theta_{-3\text{dB}}' (c_w / c_w');$$

$$\psi = \psi' (c_w^2 / c_w'^2);$$

$$g_o = g_o' (c_w'^2 / c_w^2).$$

La medidas del A y $\theta_{-3\text{dB}}$ requieren mediciones independientes de la ecosonda para la localización de los blancos (Reynisson, 1990, 1998). Debido a que tales mediciones son difíciles de realizar de forma rutinaria (Simmonds, 1984a), utilice el valor nominal para A , y derivar ψ a partir de la ecuación $\psi = \psi' (c_w^2 / c_w'^2)$, utilizando una medida local de c_w y ψ' a partir de mediciones de fabricación bajo c_w' . Entonces, se estiman valores de $\alpha_{-3\text{dB}}$ y $\beta_{-3\text{dB}}$ a partir de los resultados de la calibración. En este caso, las estimaciones de $\alpha_{-3\text{dB}}$ y $\beta_{-3\text{dB}}$ no indican el verdadero ancho de haz, pero su uso en el modelo del patrón directividad compensarán correctamente las medidas de σ_{bs} para el patrón de directividad (Bodholt, 2002).

2.3.1.17. Medición del ambiente

La velocidad del sonido c_w afecta a λ , A , $\theta_{-3\text{dB}}$, ψ , y g_o ; y por lo tanto, las medidas de TS y S_v (Bodholt, 2002). La c_w en el transductor se utiliza para calcular el ángulo del haz equivalente de dos vías, ψ (sr) y en la esfera para calcular el σ_{bs} de la esfera (Demer et al., 2015).

La c_w se calcula del promedio de la temperatura y salinidad medidos con un CTD entre el transductor y la esfera de calibración (Demer et al., 2015).

La velocidad del sonido puede ser calculada a través de la ecuación de 9 términos de Mackenzie (1981):

$$c = 1448.96 + 4.591T - 5.304 \times 10^{-2}T^2 + 2.374 \times 10^{-4}T^3 + 1.340(S-35) + 1.630 \times 10^{-2}D + 1.675 \times 10^{-7}D^2 - 1.025 \times 10^{-2}T(S-35) - 7.139 \times 10^{-13}TD^3$$

Donde: T= Temperatura (°C), D= Profundidad (m), S= Salinidad (ppm).

El coeficiente de absorción se obtiene según Francois y Garrison (1982) válida para frecuencias entre 100 Hz y 1 MHz, y se expresa según la ecuación:

$$\alpha = \frac{A_1 P_1 f_1 f^2}{f^2 + f_1^2} + \frac{A_2 P_2 f_2 f^2}{f^2 + f_2^2} + A_3 P_3 f^2$$

Donde α tiene unidades de dB·km⁻¹ y f es la frecuencia de la señal en kHz. El primer término proviene de la contribución del ácido bórico, el segundo de la contribución del sulfato de magnesio y el tercero de la viscosidad del agua, f_1 y f_2 son las frecuencias de relajación del ácido bórico y el sulfato de magnesio respectivamente, en kHz, y los coeficientes A_i y P_i pueden depender del pH, la salinidad, la profundidad, la temperatura y la velocidad del sonido (Demer et al., 2015), como se observa en la siguiente figura:

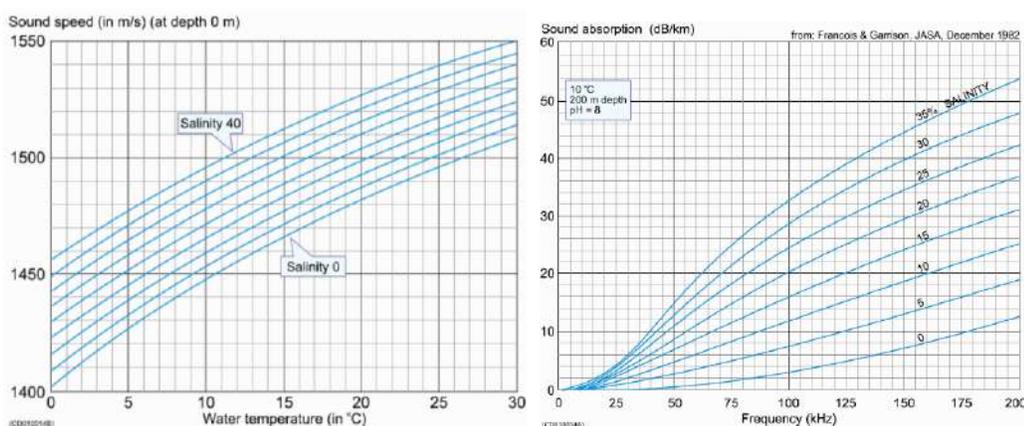


Figura 5. Curvas de Velocidad del sonido (Fuente: Mackenzie, 1981; Del Grosso, 1972 y el coeficiente de absorción Francois & Garrison, 1982).

2.3.1.18. Error secuencial de onda triangular (TWES)

Previo a la calibración de las ecosondas Simrad ES60 y ES70, se debe remover el error secuencial de onda triangular (TWES, siglas en inglés), que tiene una amplitud aproximada de 1 dB pico-pico y un periodo exacto cada 2721 puntos o datos. Un análisis a menor escala del paso cuantitativo de la onda triangular, revela típicamente que los datos mantienen el mismo valor durante 16 pings, después de los cuales hay un paso hasta el siguiente nivel donde residirá el siguiente grupo de 16 datos puntuales (Ryan and Kloser, 2004). El valor de cuantificación es igual a la resolución de amplitud de la ecosonda ES60, expresado como $10 \cdot \log(2)/256$ o 1,176e-2 dB. Este valor de cuantificación se debe a la compresión de la energía de los datos contenidos en el datagrama; para restaurar los valores correctos, debe ser descomprimida de acuerdo a la siguiente ecuación (Simrad, 2003).

$$y = x \frac{10 \log 2}{256}$$

Donde:

x = valor de la energía derivado del datagrama

y = valor convertido (en dB)

La dirección del paso (sea arriba o abajo) depende de la localización del grupo de 16 datos puntuales en relación a la secuencia de la forma total de la onda triangular. La estructura del error de la onda triangular puede determinarse desde la sección de transmisión del pulso en los datos del ecograma. Se ha desarrollado y aplicado un algoritmo de corrección para este error de onda a los datos sobre la base de cada emisión de pulso (ping a ping). Se ha encontrado que en el peor de los casos el error puede ser hasta 1 dB. Sin embargo, el error será sustancialmente menor, dependiendo de la porción de data que es utilizada (Ryan y Kloser, 2004), como se presenta en la figura 6.

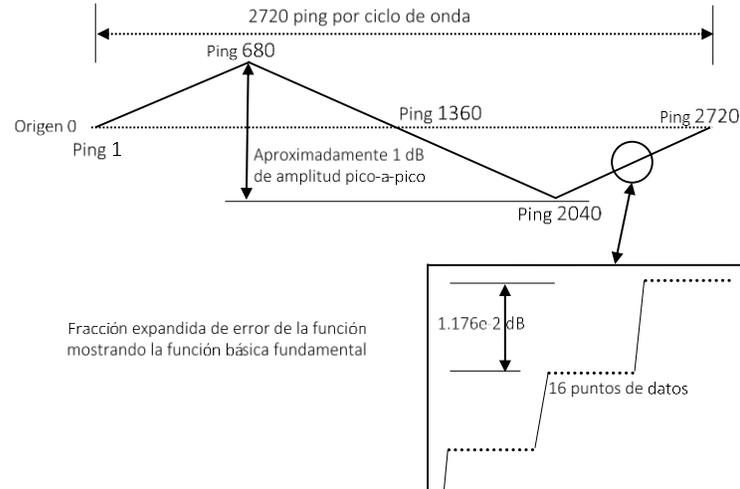


Figura 6. Error secuencial de onda triangular (Fuente: Tim Ryan and Rudy Kloser, 2004).

Este procedimiento puede realizarse utilizando la función de procesamiento por lotes de ES60adjust.jar (una utilidad de código abierto desarrollado por CSIRO Marine and Atmospheric Research, disponible en la página web del ICES)

2.3.1.19. Modelado del patrón del haz

En una ecosonda splitbeam se estiman α y β , que son los ángulos de detección de los blancos, θ a lo largo del barco y de babor a estribor, desde los ángulos de fase de las señales eléctricas recibidas por los sub-sectores del transductor, φ_e (Demer et al., 2015):

$$\varphi_e = kd_{eff}\sin(\theta) = \Lambda\sin(\theta),$$

A medida que la esfera de calibración se mueve en todo el haz del transductor, las coordenadas angulares splitbeam, α y β ($^\circ$), se pueden utilizar para medir $\sigma_{bs}b(\alpha, \beta)^2$. El verdadero haz de un transductor circular o elíptico, $b(\alpha, \beta)^2$ puede ser modelado por (Demer et al., 2015):

$$b(\alpha, \beta)^2 = 10^{0.60206 \left(\left(\frac{2\alpha}{\alpha_{-3 \text{ dB}}} \right)^2 + \left(\frac{2\beta}{\beta_{-3 \text{ dB}}} \right)^2 - 0.18 \left(\frac{2\alpha}{\alpha_{-3 \text{ dB}}} \right)^2 \left(\frac{2\beta}{\beta_{-3 \text{ dB}}} \right)^2 \right)},$$

Donde $\alpha_{-3\text{ dB}}$ y $\beta_{-3\text{ dB}}$ son los anchos de haz a -3 dB a lo largo del barco y de babor a estribor.

Bodholt (2002), precisa que una estimación del ángulo de sensibilidad Λ y ancho de haz, $\alpha_{-3\text{ dB}}$ y $\beta_{-3\text{ dB}}$ medida a una cierta velocidad de sonido c_w' , puede ser ajustado a la velocidad de sonido local c_w usando:

$$\Lambda = \Lambda' c_w'/c_w.$$

$$\alpha_{-3\text{ dB}} = \alpha_{-3\text{ dB}}' c_w/c_w'$$

$$\beta_{-3\text{ dB}} = \beta_{-3\text{ dB}}' c_w/c_w'$$

Los valores de $\alpha_{-3\text{ dB}}$ y $\beta_{-3\text{ dB}}$ se pueden estimar a partir de una regresión de las ecuaciones anteriores y las medidas de $\sigma_{bs}b(\alpha, \beta)^2$. Es importante excluir ecos de otras fuentes (por ejemplo, peces) y el ruido (por ejemplo, la interferencia de otras ecosondas), ya que estos pueden sesgar el modelo de regresión (Demer et al., 2015),

Debido a que tanto Λ y θ_{-3dB} varían inversamente con c_w , la ecuación para modelar el patrón de directividad $b(\alpha, \beta)^2$, es insensible a los cambios de c_w (Bodholt, 2002). Esto asume que $\sin(\theta_{-3dB}) \cong \theta_{-3dB}$, es válido para ángulos pequeños. Sin embargo, si α y β se calculan utilizando los valores nominales para Λ_α y Λ_β , las estimaciones de regresión de α_{-3dB} y β_{-3dB} no son medidas verdaderas del ancho de haz (Demer et al., 2015). Sin embargo, si se usan en la ecuación para modelar $b(\alpha, \beta)^2$, el resultante $(\alpha, \beta)^2$ se puede utilizar para normalizar correctamente mediciones de σ_{bs} en el eje del haz (Demer et al., 2015):

$$\sigma_{bs} = \frac{p_{er} 16\pi^2 r^4 10^{\alpha r/5}}{p_{et} g_0 b(\alpha, \beta)^2 \lambda^2} .$$

2.3.1.20. Modelo polinomial del haz

Una función de compensación empírica se obtiene mediante el ajuste de un polinomio de segundo orden con los ángulos a lo largo del barco y de babor a estribor y la medida de la fuerza del eco. La forma del polinomio es:

$$\hat{B}(\alpha, \beta) = G + c_0\alpha + c_1\alpha^2 + c_2\beta + c_3\beta^2,$$

donde G es el valor de compensación total de la intensidad del eco, y c_0 , c_1 , c_2 y c_3 son los coeficientes determinados empíricamente (Jech et al., 2005).

2.3.1.21. Software de calibración

Calibration.exe

Es el utilitario proporcionado por el fabricante para calibrar ecosondas científicas, que funciona independientemente en el caso del ER60 (software de la ecosonda EK60); y permite actualizar de manera automática los parámetros de calibración (Demer et al., 2015).

El programa de calibración de la ecosonda EK60 (Versión 2.1.0) utiliza dos modelos diferentes para ajustar los datos, un modelo polinomial y un modelo de haz. La vista “*Plot*” trazará el modelo junto con los puntos de datos registrados. Los círculos azules indican valores debajo del modelo; Los círculos rojos indican valores sobre el modelo. Los círculos verdes cerca del eje central indican los puntos que se han utilizado al estimar el valor de corrección del área de retrodispersión $S_{a,corr}$ (Simrad, 2012).

En el menú “*View*” ubicado en la barra de menú puede controlar lo que se muestra en la vista “*Plot*”. Puede elegir los resultados del modelo polinomial o el modelo de haz. En el menú “*View*”, también puede elegir el tipo de trazado para cada uno de los dos modelos. Si elige el comando Polar, verá una gráfica polar desde "arriba". Los otros tipos son cartesianos y

muestran un corte a través del modelo (Simrad, 2012). El modelo polinomial es una función flexible capaz de modelar formas de funciones complejas y solo se usa para verificar si el modelo estimado tiene la misma forma que la forma del modelo de haz. Si la forma del modelo polinomial es muy diferente de la forma del modelo de haz, esto indica que no se han recopilado datos suficientes o que algunos puntos de datos pueden estar asociados con errores (cables rotos o cables de canales mezclados) (Simrad, 2012).

El modelo de haz es el modelo realmente utilizado por la ecosonda. El programa de calibración ajustará los parámetros en el modelo de haz para minimizar el error RMS. Los parámetros ajustados, el error RMS y los puntos de datos que tienen una desviación máxima y mínima del modelo se muestran en la vista “*Información*”. Los parámetros ajustados resultantes del modelo de haz son los parámetros, que pueden transferirse al sistema acústico (Simrad, 2012).

La información sobre la desviación de datos del modelo de haz indicará qué tan bien el modelo de haz se ajusta a los datos registrados. Esto se puede utilizar para evaluar la validez de la calibración, la desviación de los datos del modelo de haz para una buena calibración debe dar un valor RMS inferior a 0.2 dB. Cuando el valor RMS está entre 0.2 y 0.4 dB, esto indica que las condiciones no son perfectas, pero aun así son aceptables. Cuando el valor RMS es superior a 0.4 dB, la calibración es deficiente, y preferiblemente debe rechazarse y no utilizarse para actualizar los parámetros del transductor (Simrad, 2012).

Simrad (2012) describe, que la evaluación de los datos debe comenzar utilizando la vista de gráfico y el modelo polinomial para verificar la forma del gráfico polar. Un transductor circular debe tener un haz circular y un transductor elíptico una elipse, ambos con solo ángulos de desplazamiento insignificantes (AngleOffset). Si un transductor circular en la vista Plot muestra una elipse con un eje de aproximadamente 45 o 135 grados, la razón puede ser un

cuadrante faltante en el transductor o un cuadrante faltante en el receptor. Este síntoma también debería dar aproximadamente 2 dB de TS más bajo, es decir, una ganancia de transductor más baja de 1 dB para compensar, como se presenta en la figura 7:

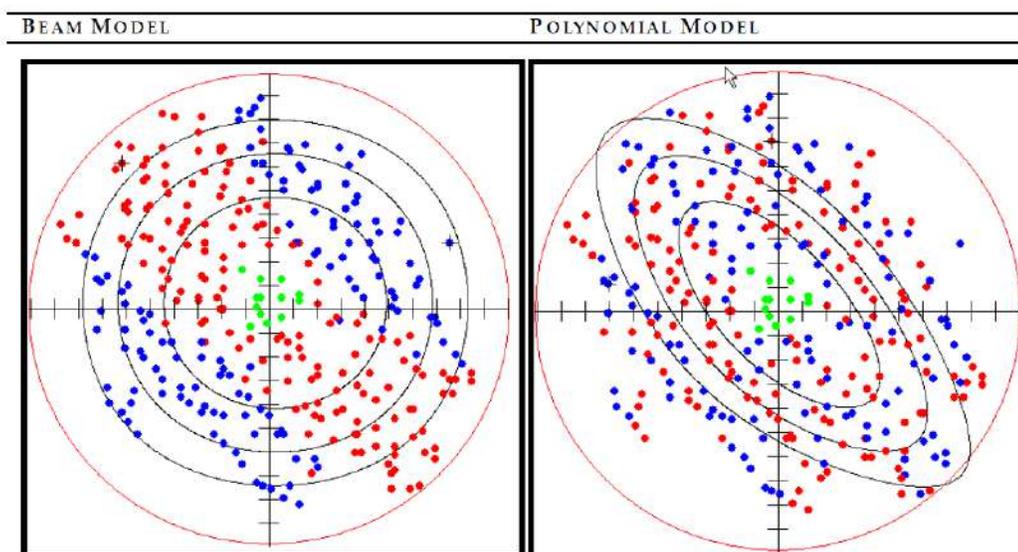


Figura 7. Ejemplos de vista de haz para un transductor con el cuadrante superior derecho desconectado (Fuente: Demer et al., 2015).

En la figura 7, las mediciones de TS no se efectuaron hacia los bordes de los cuadrantes superior derecho e inferior izquierdo. El modelo de haz (izquierda) tiene líneas concéntricas, pero las bandas en los residuos positivos (rojo) y negativos (azul) indican un problema. El modelo polinomial (derecha) muestra un elipsoide inclinado con residuos distribuidos más aleatoriamente, lo que también indica un problema con el transductor o el receptor.

Si un transductor circular en la vista Plot muestra una forma no circular y, además, ángulos de desplazamiento sustanciales, tanto hacia adelante como hacia abajo, esto indica que puede haber algo incorrecto en la forma en que se conecta el transductor. En este caso, debe seleccionar el menú “View” y verificar el ancho de haz calibrado, los valores de compensación y ganancia. Si un cuadrante del transductor está conectado a la inversa, el ancho del haz será

aproximadamente un grado demasiado ancho, los ángulos de desplazamiento estarán aproximadamente un grado descentrado en ambas direcciones y la ganancia calibrada puede ser del orden de 6 dB más baja que la ganancia predeterminada (Simrad, 2012).

Si dos de los cuadrantes se han mezclado, los movimientos de la esfera de referencia dentro del haz serán incorrectos. Esto se puede confirmar cuando la esfera de referencia está suspendida de tal manera que puede moverla en una dirección específica. Esta dirección es transversal o longitudinal en el haz del transductor. Sin embargo, esto solo es posible si el transductor splitbeam se ha instalado correctamente (Simrad, 2012).

Si la G_0 estimada difiere de calibraciones recientes realizadas en condiciones ambientales similares en $>0,5$ dB (ICES, 1994), se debe evaluar el funcionamiento correcto del sistema, se debe repetir la calibración, o ambas cosas (Demer et al., 2015).

Ventajas y limitaciones de calibration.exe

Demer et al. (2015) destaca las siguientes ventajas:

- Una aplicación sencilla diseñada para calibraciones de la EK60.
- Corre dentro del ER60 en modo normal y de reproducción;
- Se ejecuta fuera del ER60 para analizar conjuntos de datos de calibración.
- Proporciona modelo de ajuste con un error RMS para calificar la calidad de

las calibraciones; y configura fácilmente la EK60 con los resultados de calibración.

Según Demer et al. (2015), presenta las siguientes limitaciones:

- Registra solo el primer valor de TS medido en cada celda de una matriz de 25

x 25 que abarca los puntos de -6 dB del haz;

- El modelo de haz está equipado con mediciones de TS ponderadas por igual, lo que tal vez resulte en un ajuste que exceda todas las mediciones de *TS* cercanas al eje.
- Las mediciones de *TS* deben abarcar el haz, que puede llevar mucho tiempo o ser inalcanzable en malas condiciones o cuando el movimiento de la esfera está físicamente restringido.
- Los datos de *TS* ruidosos o sesgados (por ejemplo, los ecos de la esfera entre la biota) no se pueden filtrar fácilmente y pueden sesgar los resultados de la calibración.

Calibration wizard

Es la actualización más reciente del aplicativo calibration.exe del software ER60 (EK60), incluida en el software de Simrad “EK80” como asistente de calibración para las ecosondas científicas EK80. Como su antecesor, también actualiza de manera automática los parámetros de calibración.

A través del modo “replay” puede procesar datos crudos de la ecosonda comercial ES80 y obtener los parámetros para calibrarla a partir de detecciones grabadas del blanco estándar. Para iniciar una calibración, en la función “Configurar” seleccionar la opción “Calibración” (Simrad, 2017).

Esta nueva versión incluye mejoras que automatizan parcialmente el procedimiento de calibración; “Calibration wizard” tiene cuatro cuadros de diálogo para guiar el proceso de calibración (Simrad, 2017):

1. La primera página inicia un nuevo proceso de calibración o retoma un proceso de calibración anterior reprocesando datos guardados en formato XML.
2. La segunda página se selecciona el canal (frecuencia) y el objetivo de calibración (esfera) en una lista predeterminada de blancos estándar ordenada por material (cobre

o carburo de tungsteno) y diámetro (mm), sustituyendo el ingreso manual del TS teórico de las versiones anteriores. También puede agregar o eliminar esferas y modificar sus parámetros.

3. En la tercera página se importan los datos o ecos de la esfera al proceso de calibración, también se puede realizar cambios en la detección de blancos individuales y agregar una breve descripción.

Durante la importación de datos se monitorea la cobertura del muestreo en la página "General" con una presentación tanto numérica como visual, tal como se observa en la figura 8:

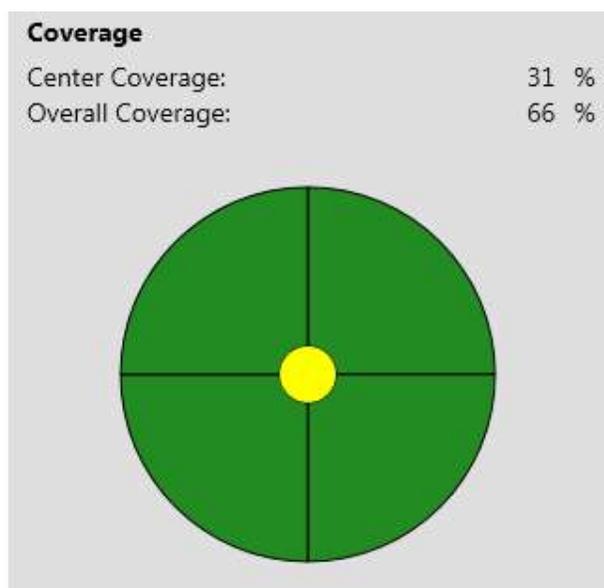


Figura 8. Vista de la cobertura de datos de la esfera
(Fuente: Simrad, 2017).

El área cubierta por el haz del transductor se muestra como un círculo con "porciones" para cada sector del transductor. La mayoría de los transductores Split beam tienen cuatro sectores, el haz circular se divide en cuatro sectores de 90 grados (Simrad, 2017).

El círculo de cobertura usa una codificación de colores para mostrar la cobertura del muestreo:

- El color rojo significa que el sector no tiene suficientes ecos (0 a 25%).
- El color amarillo significa que el sector tiene muchos ecos, pero no lo suficiente (25 a 50%).
- El color verde significa que el sector tiene suficientes ecos para una calibración exitosa (mejor que la cobertura del 50%).
- El círculo pequeño en el centro representa la cobertura en el eje del haz y utiliza el mismo código de color.

Los valores numéricos para el centro y la cobertura general se muestran sobre el círculo de cobertura. Esta nueva función ayuda a calibrar con éxito la EK80, colocando una serie de detecciones de la esfera en cada sector. Los ecos deben estar distribuidos uniformemente dentro de todo el haz; para esto, la esfera debe moverse físicamente dentro del haz durante el proceso de calibración (Simrad, 2017).

4. La cuarta página permite "excluir" manualmente datos ruidosos de la esfera antes de procesarlos (Simrad, 2016). Finalizado el procesamiento, se guardan los resultados y se procede a actualizar los parámetros de calibración manualmente a través del archivo "TRlist".

Ventajas y limitaciones de Calibration wizard

Las ventajas del Calibration wizard son las siguientes:

- Se ejecuta dentro del software de la EK80 en modo normal y de reproducción.
- En modo reproducción soporta datos crudos de las ecosondas ES60 y ES70.
- Utiliza más datos *TS* que Calibration.exe para calcular *G0* y *Sacorr*.
- Presenta tanto numérica como visualmente la cobertura de muestreo dentro del haz acústico de la esfera de referencia.
- No requiere el ingreso manual del *TS* teórico de la esfera.

- Se ha mejorado el ajuste del error RMS para obtener calibraciones más exitosas.

- Configura automáticamente la EK80 con los resultados de calibración.

Calibration wizard presenta las siguientes limitaciones:

- No verifica la función de todos los cuadrantes en un sistema Split beam.
- Los datos de *TS* ruidosos (por ejemplo, los ecos de la esfera entre la biota) no se pueden filtrar fácilmente y pueden sesgar los resultados de la calibración.

2.3.1.22. Actualización de los parámetros calibrados

Según Demer et al. (2015), es posible modificar los parámetros o valores nominales para la configuración de GPT en las ecosondas comerciales ES60 y ES70, siendo similar también en la ES80, tal como en las ecosondas científica de la serie EK. Este procedimiento se efectúa a través del archivo TRList.ini (ES60) o TRList.xml (ES70 y ES80) que configura el sistema acústico.

El TRList (.ini o .xml) tiene una base datos con los distintos transceptores y transductores fabricados por Simrad para uso oceanográfico, comercial y científico, además de las configuraciones para cada combinación de transceptor, transductor y longitud de pulso, véase tabla 5 y 6.

Tabla 5. Configuración del transceptor en el TRList.ini

```
GPTTRANSCIVER "GPT-Q120(1)-F 1"
BEAMTYPE=SPLIT
MARKETSEGMENT=FISHERY
CHANNEL1
KHZ=120
SAMPLEINTERVALDEFAULT=0.000016 0.000032 0.000064 0.000128 0.000256
BANDWIDTH=12000
MINMEDMAXTXPOWER=100 300 1000
MINMEDMAXTXPULSELENGTH=0.000064 0.000128 0.000256 0.000512 0.001024
TRANSDUCER="ES120-7C"
```

Fuente: TRList.ini (Software ES60)

Tabla 6. Configuración del transductor en el TRList.ini

```

TRANSDUCER="ES120-7C"
FREQUENCY=120000
BEAMTYPE=SPLIT
EQUIVALENT2WAYBEAMANGLE=-21.0
GAIN=25.50 26.80 27.00 27.00 27.00
SACORRECTION=0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
MAXTXPOWER=1000.0
THREEDBBEAMWIDTHALONGSHIP=7.00
THREEDBBEAMWIDTHATHWARTSHIP=7.00
ANGLESENSITIVITYALONGSHIP=23.00
ANGLESENSITIVITYATHWARTSHIP=23.00
OFFSETALONGSHIP=-0.00
OFFSETATHWARTSHIP=-0.00
ENDTRANSDUCER

```

Fuente: TRList.ini (Software ES60)

El TRList (.ini o .xml) también permite limitar la potencia máxima de transmisión (MAXTXPOWER) predeterminada en las ecosondas comerciales (1000 W), por los efectos no lineales dicha potencia máxima es 250 W en las ecosondas de la serie EK (Korneliussen et al. 2008).

Finalizada la calibración, se pueden ingresar al software de las ecosondas comerciales, sus respectivos parámetros actualizados de ganancia g_0 , corrección s_a , ángulo equivalente en dos vías (ψ), ángulo de compensación θ_o y ancho de haz, $\alpha_{-3\text{ dB}}$ y $\beta_{-3\text{ dB}}$, los archivos RAW generados posterior a la actualización se encuentran ya calibrados.

2.3.2. Bases filosóficas

El sonido subacuático probablemente ha sido empleado durante millones de años por animales marinos. La acústica subacuática comenzó a considerarse una ciencia en 1490, según Urick (1983) cuando Leonardo da Vinci escribió lo siguiente: "Si detienes tu nave y colocas un extremo de un tubo largo en el agua y el otro extremo en tu oído, escucharás barcos a grandes distancias de ti". En 1687 Isaac Newton escribió "Principios matemáticos de la filosofía natural" el cual incluyó el primer tratamiento matemático del sonido. El siguiente paso de importancia en el desarrollo de la acústica subacuática fue hecho en 1826 por Jean Daniel Colladon, un físico

suizo, y Charles Sturm un matemático francés; quienes en el lago Génova, midieron el tiempo transcurrido entre un destello de luz y el sonido de una campana sumergida escuchado por medio de un auricular acústico subacuático. Ellos midieron una velocidad del sonido de 1435 metros por segundo a una distancia de 17 kilómetros (km), proveyendo la primera medida cuantitativa de la velocidad del sonido en el agua (Clay y Medwin, 1977). Lord Rayleigh (1877) escribió la "Teoría del sonido" estableciendo la teoría acústica moderna.

Lichte (1919) describió teóricamente la refracción de ondas acústicas producida por los gradientes de temperatura y salinidad en el océano. El rango de estimaciones fue se validada experimentalmente por mediciones de perdidas por transmisión.

En las siguientes dos décadas se desarrollaron múltiples aplicaciones de la acústica subacuática. El ecosonda fue desarrollado comercialmente durante 1920. Originalmente se empleaban materiales naturales como elementos transductores, pero para 1930 los sistemas de sonar incorporaron transductores piezoeléctricos hechos a base de materiales sintéticos, empleados en los sistemas de escucha pasiva y en los sistemas de eco localización

A fines de las décadas de 1950, e inicios de las de 1960, la acústica submarina empezó a utilizarse en la estimación de la biomasa de peces (ICES, 2007), así como también se profundizó en el estudio del comportamiento y características morfológicas de los cardúmenes (ICES, 2000). Es así como la acústica submarina se constituye en un método directo de evaluación cuantitativa de la abundancia de recursos pelágicos. El antecedente más lejano fue la evaluación de arenque y sardina (Portier, 1924), citado por Simmond y Mac Lennan (2005).

Con el transcurso de los años la acústica submarina se convirtió en una herramienta usual para la detección de cardúmenes para la pesca cuando los costos alcanzaron precios asequibles para las empresas pesqueras (Simmonds y MacLennan, 2005). Con el avance

tecnológico se han incrementado las posibilidades de análisis al ser posible grabar las señales acústicas abordo de los barcos de pesca (Melvin, et. al, 2007). Asimismo, el uso de los barcos de pesca como plataformas de oportunidad prácticamente no tienen costo para los científicos; y a nivel mundial se está promoviendo la cooperación de las entidades científicas con la industria (ICES, 2007), lo que además genera significativos ahorros para la investigación y monitoreo con carácter científico.

2.3.3. Definición de términos básicos

Calibración

La calibración de instrumentos acústicos es fundamental para el uso cuantitativo de los datos para estimar la abundancia de recursos acuáticos. Las calibraciones periódicas también permiten monitorear el rendimiento del instrumento para detectar cambios debido al entorno o la dinámica, la degradación o la falla de los componentes (Demer et al., 2015, p. 4).

Diagnóstico

Blanco Estándar

Blanco cuya fuerza es conocida, y se utiliza en la calibración de sistemas acústicos posicionándolo dentro del haz (Demer et al, 2015).

Detección acústica

Una ecosonda genera, amplifica y transmite un pulso acústico, que se propaga hacia el exterior. Cuando el pulso alcanza un objeto de destino, por ejemplo, zooplancton, peces o el lecho marino, la interacción da como resultado una onda reflejada o dispersa. Las características del objetivo modulan la amplitud, la forma y la frecuencia de la onda dispersa, y estos cambios pueden proporcionar información de detección remota. Parte de esta onda regresa

al ecosonda donde se convierte en voltaje, se amplifica, se filtra para eliminar el ruido, se digitaliza y, por lo tanto, se recibe como retrodispersión (Furusawa, 1991).

Ecointegración

La ecointegración, es la amplitud del eco que es retrodispersado por un objeto u organismo. En acústica pesquera tiene dos denominaciones fundamentales: S_v (o fuerza media del volumen de dispersión, en decibelios) y la más difundida NASC (también denominada s_a o coeficiente náutico del área de dispersión, cuyas unidades son m^2/mn^2 (MacLennan y Fernandez, 2000).

Ecosondas comerciales

Dispositivo para la generación o recepción de ondas acústicas, diseñado (hardware y software) para su uso en la pesca profesional o comercial (Demer et al, 2015).

Coefficiente del área de retrodispersión o Coeficiente náutico del área de retrodispersión

La integral de s_v en un rango de profundidades; o s_a multiplicado por un factor de escala (MacLennan et al., 2002)

$$(4\pi(1852)^2 \text{ milla náutica}^2 m^{-2}).$$

2.4. Hipótesis de la investigación

2.4.1. Hipótesis general

H0: No se puede calibrar y diagnosticar el funcionamiento de las ecosondas comerciales Simrad.

H1: Si se puede calibrar y diagnosticar el funcionamiento de las ecosondas comerciales Simrad.

2.4.2. Hipótesis específica

H0: No se puede calibrar las ecosondas comerciales Simrad

H1: Si se puede calibrar las ecosondas comerciales Simrad

H0. No se puede diagnosticar el funcionamiento de las ecosondas comerciales Simrad

H1. Si se puede diagnosticar el funcionamiento de las ecosondas comerciales Simrad

2.4.3. Operacionalización de las variables

Tabla 7. Operacionalización de las variables

VARIABLE	DEFINICIÓN	DIMENSIÓN	INDICADOR
Calibración de ecosondas	Permite ajustar los parámetros de funcionamiento del equipo mediante mediciones de la Fuerza de Blanco (TS) de un Blanco Estándar (Demer et al., 2015). La calibración se efectúa a través del método de modelado del patrón del haz (Demer et al., 2015).	Parámetros del transductor	<ul style="list-style-type: none"> • Ganancia nominal= 27 dB • Ancho del haz nominal=7° • Ángulo de desplazamiento nominal=0°
		Resultado de calibración	<ul style="list-style-type: none"> • Bueno= RMS <0.2 dB • Aceptable= RMS 0.2 - 0.4 dB • Deficiente= RMS>0.4 dB
Diagnóstico del funcionamiento de las ecosondas comerciales Simrad	Determina la operatividad o el correcto funcionamiento del transductor y transceptor del sistema acústico (hardware).	Parámetros resultantes de la calibración Gráficas de diagnóstico	<ul style="list-style-type: none"> • Ganancia= 1 dB > teórica • Ancho del haz= > 8° • Ángulo de desplazamiento=>1° • Error RMS= >0.4 dB • Modelo del haz= Bandas rojo y azul • Modelo Polinomial=45° o 135°

Fuente: El autor (2023)

CAPITULO III

III. Metodología

3.1. Diseño metodológico

Se trata de una investigación descriptiva y aplicada, ya que se pretende profundizar o especificar las propiedades y características más importantes de las variables del estudio.

En cuanto al diseño de la investigación de longitudinal y el enfoque es cuantitativo, ya que se plantea cuantificar los valores de los parámetros del sistema acústico obtenidos en la calibración y a través de los mismos diagnosticar el funcionamiento de las ecosondas comerciales.

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población

La población está constituida por alrededor de 50 embarcaciones pesqueras de la flota industrial que tienen ecosondas comerciales Simrad con tecnología digital de modelos ES60, ES70 y ES80 con transductores de la frecuencia de 120 kHz.

3.2.2. Muestra

La muestra está constituida por las calibraciones efectuadas a 10 embarcaciones pesqueras de la flota industrial, que tienen ecosondas comerciales Simrad con tecnología digital de modelos ES60, ES70 y ES80 con transductores de la frecuencia de 120 kHz.

3.3. Técnicas de colección de datos

3.3.1. Grabación de datos de salida

A través del software de las ecosondas comerciales ES60, ES70 y ES80, se grabaron datos de salida en formato crudo (RAW) con la esfera de calibración, se utilizaron 3 cañas de pescar y nylon monofilamento de diámetro 60 mm para suspender el blanco estándar entre 10 y 15

m debajo del transductor de la frecuencia de 120 kHz, la configuración del sistema acústico fue la siguiente:

- Potencia de transmisión: 250 w
- Duración de pulso: 0.256 ms
- Ecograma: Ganancia de cardumen (20 log TVG)
- Rango: 30 m
- Minimum level para 20 Log: -70 dB
- Minimum level para 40 Log: -50 dB

Previo al inicio de la grabación de datos, se ajustaron los parámetros del ambiente, la velocidad del sonido c_w afecta los parámetros del transductor especificados por el fabricante; y por lo tanto, las medidas del TS y S_v (Bodholt, 2002). Se estimó el promedio de la temperatura y salinidad entre el transductor y la esfera de calibración obtenida con un CTD, el software de las ecosondas comerciales calcula la c_w con la ecuación de 9 términos de Mackenzie (1981) y el coeficiente de absorción de acuerdo a Francois y Garrison (1982).

Durante la colección de los datos de calibración, a través de las cañas de pescar se trasladó lentamente la esfera de cobre debajo del eje y los cuatro sectores del transductor splitbeam, excluyendo los blancos individuales, cardúmenes de peces o ruidos que pueden sesgar el modelo de regresión del patrón de directividad del haz acústico.

3.4. Técnicas para el procesamiento de la información

3.4.1. Procesamiento de datos para la calibración

Previo al procesamiento de los datos de salida de las ecosondas ES60 y ES70 se removió el error secuencial de onda triangular (TWES, siglas en inglés), para este procedimiento se utilizó la función de procesamiento por lotes de ES60adjust.jar (utilidad de código abierto

desarrollado por CSIRO Marine and Atmospheric Research, disponible en la página web del ICES) (Ryan y Kloser, 2004).

Los datos de salida en formato crudo (.raw) de todas las ecosondas fueron procesados con el software de las ecosondas científicas en modo de reproducción, se emplearon las subrutinas de calibración “Calibration.exe” y “Calibration Wizard”.

Los datos de salida de las ecosondas ES60 y ES70 se procesaron en Calibration.exe, utilitario proporcionado por Simrad para calibrar las ecosondas científicas EK60. A través del modo “replay” se procesaron los datos en formato RAW y se obtuvieron los parámetros de calibración a partir de detecciones grabadas del blanco estándar (Demer et al., 2015).

Calibration.exe utiliza dos modelos para ajustar los datos, se puede elegir los resultados del modelo polinomial o modelo de haz y el tipo de trazado para cada uno de los modelos. En la vista Polar se observa una gráfica desde "arriba", el modelo polinomial solo se usa para verificar si el modelo estimado tiene la misma forma que el haz del transductor. El modelo de haz es el modelo realmente utilizado por la ecosonda (Simrad, 2012).

Los datos de salida de la ecosonda ES80 fueron procesados en Calibration Wizard que es el asistente de calibración del software de Simrad “EK80” para las ecosondas científicas EK80 y utiliza como vista de diagnóstico el modelo del haz (Simrad, 2017). A través del modo “replay” se procesaron datos crudos y se obtuvieron los parámetros calibrados a partir de detecciones grabadas del blanco estándar.

CAPITULO IV

IV. Resultados

4.1. Análisis de los resultados

4.1.1. Resultado general

Se identificaron alrededor de 48 ecosondas comerciales de la marca Simrad con tecnología digital instaladas en la flota pesquera industrial de mayor escala, de los modelos ES60, ES70 y ES80 de última generación. Los transductores más empleados en la serie ES son de la frecuencia de 120 kHz, específicamente del modelo ES120-7C usado también por los equipos científicos, como se muestra en la tabla 08.

Tabla 8. Ecosondas Simrad digitales de la flota de mayor escala.

Marca	Modelo	Transductor	Total
Simrad	EK60	ES120-7C/ES38B	1
	ES60	ES120-7C	14
	ES70	ES120-7C	29
	ES80	ES120-7C	4
TOTAL			48

Fuente: El autor (2023)

Se calibraron y diagnosticaron 12 ecosondas comerciales Simrad, dentro de ellas se tiene 5 ecosondas ES60, 5 ecosondas ES70 y 2 ecosondas ES80 instaladas a bordo de los barcos de la flota de cerco industrial, como presenta en la tabla 09.

Tabla 9. Embarcaciones pesqueras y modelos de ecosondas Simrad calibradas y diagnosticadas

Embarcación pesquera	Modelo Ecosonda
Alessandro	ES60
Chiara	ES60
Maru	ES80
Nva Resbalozza II	ES70
Olga	ES70
Polar 7	ES60
Rodas	ES60
Simon	ES70
Tasa 419	ES60
Tasa 425	ES80
Nva ofelita	ES70
Estela de Oro II	ES70
Total	12

Fuente: El autor (2023)

El lugar de calibración se localizó frente al cabezo de la Isla San Lorenzo, teniendo como coordenadas geográficas: latitud 12° 03.089' S y longitud- 77° 12.803' W y a una profundidad entre 20 - 30 m.

4.1.2. Análisis de los resultados de las calibraciones y evaluación de las ecosondas comerciales Simrad ES60, ES70 y ES80

4.1.2.1. Ecosonda Simrad ES60

Embarcación pesquera TASA 419

El sistema acústico no fue calibrado anteriormente ya que estuvo configurado con los parámetros nominales de fábrica como se observa en la tabla 10. Se colectaron archivos en formato crudo (.RAW) siendo removido el error secuencial de onda triangular (TWES) con la aplicación “ESadjust”.

Tabla 10. Información antes de la calibración de la E/P TASA 419

Datos de la embarcación y sistema acústico			
Empresa: Tecnológica de Alimentos S.A. Fecha de calibración: 10/10/2020			
Modelo de ecosonda: Simrad ES60			
N° de calibración: 01			
# Transducer: ES120-7C Serial No.			
# Frequency	120000 Hz	Beamtype	Split
# Gain	27.00 dB	Two Way Beam Angle	-21.0 dB
# Athw. Angle Sens.	23.00	Along. Angle Sens.	23.00
# Athw. Beam Angle	7.00 deg	Along. Beam Angle	7.00 deg
# Athw. Offset Angle	0.00 deg	Along. Offset Angle	0.00 deg
# SaCorrection	0.00 dB	Depth	3.00 m

Fuente: El autor (2023)

Con la subrutina “Calibration.exe” se efectuaron 265 detecciones de la esfera de cobre, las mediciones de TS difieren en +5 dB del TS teórico (-40.4). La vista del modelo polinomial se observa distorsionada con la forma de un elipsoide inclinado 45°, lo que indica la disfuncionalidad del cuadrante superior izquierdo o inferior derecho, tal como se presenta en la figura 9.

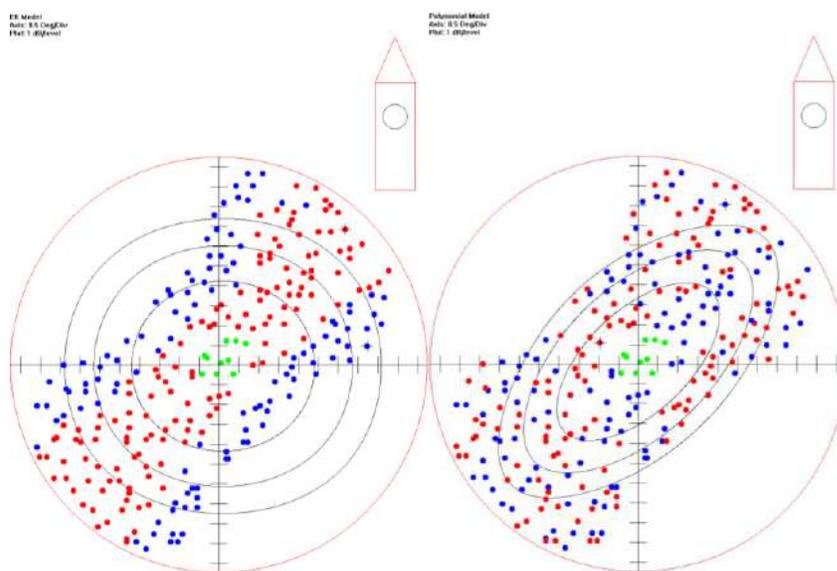


Figura 9. Gráficas de diagnóstico del modelo de haz (izquierda) y polinomial (derecha)

La ganancia obtenida de 23.21 dB difiere en +3.79 dB del valor nominal de 27 dB; según lo descrito por Demer et al. (2015) y Simrad (2012), el modelo polinomial distorsionado con forma elíptica e inclinación de 45°, indica un sector disfuncional (superior izquierdo o inferior derecho) en el transductor o tranceptor del sistema acústico, como se observa en la tabla 11.

Tabla 11. Resultados de la calibración con el modelo del haz y el modelo polinomial

# Beam Model results:			
# Transducer Gain	= 23.21 dB	SaCorrection	= -0.40 dB
# Athw. Beam Angle	= 7.99 deg	Along. Beam Angle	= 7.45 deg
# Athw. Offset Angle	= 0.10 deg	Along. Offset Angle	= -0.03 deg
#			
# Data deviation from beam model:			
# RMS	= 0.74 dB		
# Data deviation from polynomial model:			
# RMS	= 0.14 dB		

Fuente: El autor (2023)

De acuerdo a la calibración del 10/10/2016, se diagnosticó el funcionamiento del transductor presentaba errores, es por ello que fue reemplazado por Robinsson Marine Electronics representante de Simrad; luego se efectuó una segunda calibración que se presenta en la tabla 12.

Tabla 12. Información previa a la calibración de la E/P TASA 419

Datos de la embarcación y sistema acústico			
Empresa: Tecnológica de Alimentos S.A. Fecha de calibración: 13/10/2020			
Modelo de ecosonda: Simrad ES60 N° de calibración: 02			
# Transducer: ES120-7C Serial No. 390			
# Frequency	120000 Hz	Beamtype	Split
# Gain	27.00 dB	Two Way Beam Angle	-19.1 dB
# Athw. Angle Sens.	23.00	Along. Angle Sens.	23.00
# Athw. Beam Angle	7.00 deg	Along. Beam Angle	7.00 deg
# Athw. Offset Angle	0.00 deg	Along. Offset Angle	0.00 deg
# SaCorrection	0.00 dB	Depth	3.02 m

Fuente: El autor (2023)

El TWES fue eliminado con la aplicación “ESadjust”; con “Calibration.exe” se obtuvieron 368 detecciones de la esfera de calibración, donde no se observa distorsión del haz en la vista del modelo de haz polinomial (Figura 10).

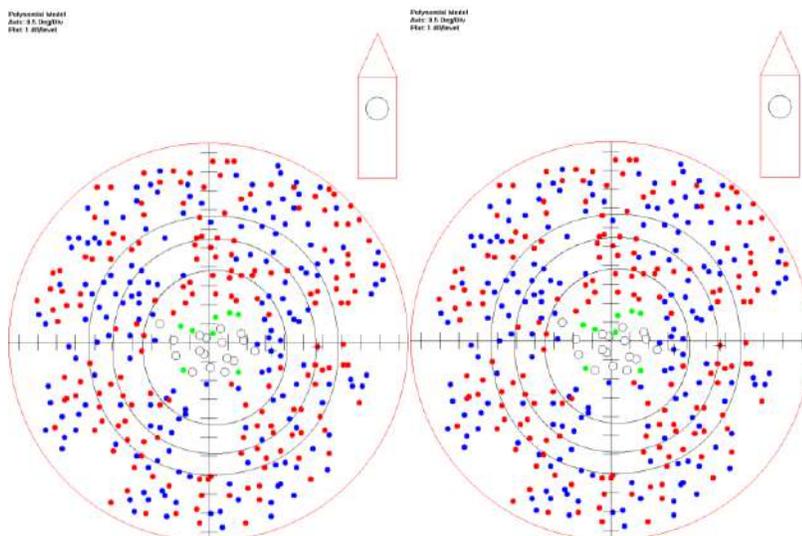


Figura 10. Gráficas de diagnóstico del modelo de haz (izquierda) y polinomial (derecha)

La nueva ganancia de 26.3 dB y el error RMS de la calibración (0.19 - 0.17 dB) demuestran una buena calibración y el correcto funcionamiento del sistema acústico, como está representado en la tabla 13.

Tabla 13. Resultados de la calibración con el modelo del haz y el modelo polinomial

```
# Beam Model results:
# Transducer Gain = 26.30 dB      SaCorrection = -0.40 dB
# Athw. Beam Angle = 6.44 deg     Along. Beam Angle = 6.54 deg
# Athw. Offset Angle = 0.11 deg   Along. Offset Angle=-0.06 deg
#
# Data deviation from beam model:
# RMS = 0.19 dB
# Data deviation from polynomial model:
# RMS = 0.17 dB
```

Fuente: El autor (2023)

Embarcación pesquera POLAR 7

Se eliminó el TWES con la aplicación “ESadjust”; en la subrutina “Calibration.exe” se obtuvieron 273 detecciones de la esfera de cobre, donde se observa un haz no distorsionado en la vista del modelo polinomial, como se presenta en la tabla 14 y figura 11.

Tabla 14. Información previa a la calibración de la E/P POLAR 7

Datos de la embarcación y sistema acústico				
Empresa: Pesquera Diamante S.A.C. Fecha: 18/08/2020				
Modelo de ecosonda: ES60 Simrad				
# Transducer: ES120-7C Serial No.				
#	Frequency	120000 Hz	Beamtype	Split
#	Gain	25.42 dB	Two Way Beam Angle	-21.2 dB
#	Athw. Angle Sens.	23.00	Along. Angle Sens.	23.00
#	Athw. Beam Angle	6.82 deg	Along. Beam Angle	6.95 deg
#	Athw. Offset Angle	-0.07 deg	Along. Offset Angle	0.02 deg
#	SaCorrection	-0.43 dB	Depth	0.00 m

Fuente: El autor (2023)

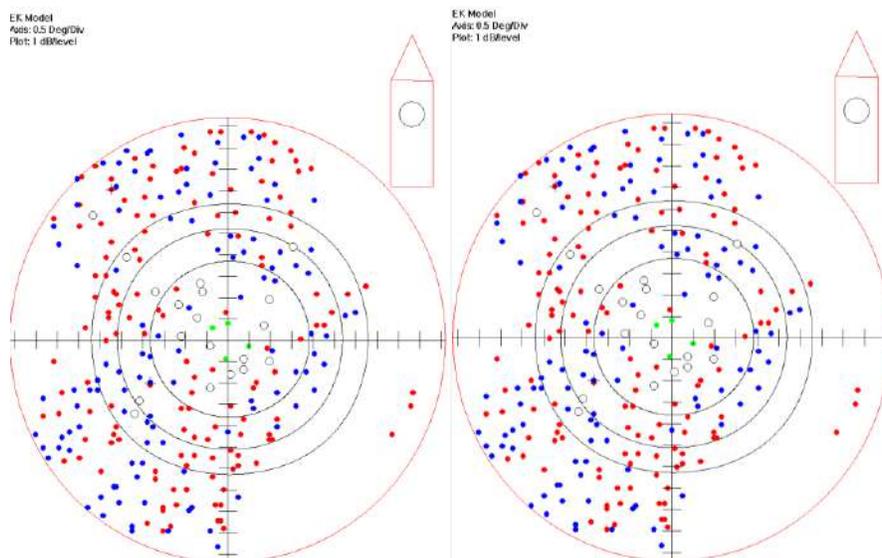


Figura 11. Gráficas de diagnóstico del modelo de haz (izquierda) y polinomial (derecha)

La ganancia de la calibración fue 26.59 dB y el error RMS del modelo de haz de 0.28 dB y modelo polinomial de 0.26 dB, corresponde a una calibración aceptable (Tabla 15).

Tabla 15. Resultados de la calibración con el modelo del haz y el modelo polinomial

#	Transducer Gain = 26.59 dB	SaCorrection = -0.40 dB
#	Athw. Beam Angle = 6.51 deg	Along. Beam Angle = 6.35 deg
#	Athw. Offset Angle = -0.03 deg	Along. Offset Angle = 0.04 deg
#	Data deviation from beam model:	
#	RMS = 0.28 dB	
#	Data deviation from polynomial model:	
#	RMS = 0.26 dB	

Fuente: El autor (2023)

Embarcación pesquera ALESSANDRO

Se eliminó el TWES de los archivos en formato RAW con la aplicación “ESadjust”, en la subrutina “Calibration.exe” se obtuvieron 299 detecciones de la esfera de cobre, observándose un haz no distorsionado en la vista del modelo polinomial, como se presenta en la tabla 16 y figura 12.

Tabla 16. Información previa a la calibración de la E/P ALESSANDRO

Datos de la embarcación y sistema acústico			
Empresa: Pesquera Diamante S.A.C. Fecha: 23/09/2020			
Modelo de ecosonda: ES60 Simrad			
#	Transducer: ES120-7C Serial No. 12		
#	Frequency	120000 Hz	Beamtype Split
#	Gain	27.00 dB	Two Way Beam Angle -21.0 dB
#	Athw. Angle Sens.	23.00	Along. Angle Sens. 23.00
#	Athw. Beam Angle	7.00 deg	Along. Beam Angle 7.00 deg
#	Athw. Offset Angle	0.00 deg	Along. Offset Angle 0.00 deg
#	SaCorrection	0.00 dB	Depth 0.00 m

Fuente: El autor (2023)

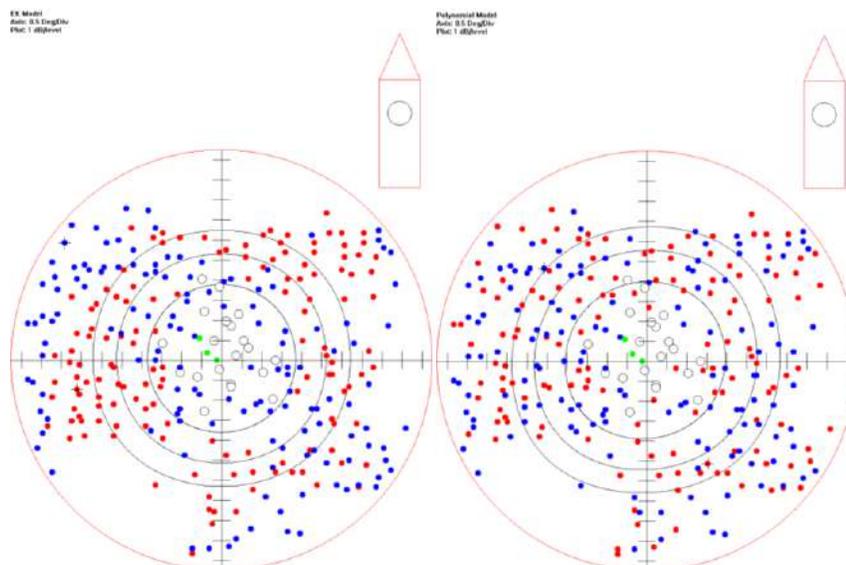


Figura 12. Gráficas de diagnóstico del modelo de haz (izquierda) y polinomial (derecha)

La ganancia de 26.94 dB se aproxima al valor nominal indicado del fabricante (27 dB) y el error RMS de los modelos de haz y polinomial de 0.15 dB y 0.08 dB respectivamente, indican una buena calibración (Tabla 17).

Tabla 17. Resultados de la calibración con el modelo del haz y el modelo polinomial

```
# Beam Model results:
# Transducer Gain = 26.94 dB      SaCorrection = -0.40 dB
# Athw. Beam Angle = 6.42 deg     Along. Beam Angle = 6.41 deg
# Athw. Offset Angle = -0.01 deg   Along. Offset Angle = 0.05 deg
#
# Data deviation from beam model:
# RMS = 0.15 dB
# Data deviation from polynomial model:
# RMS = 0.08 dB
```

Fuente: El autor (2023)

Embarcación pesquera RODAS

El TWES fue eliminado con la aplicación “ESadjust”; en la subrutina “Calibration.exe” se efectuaron 215 detecciones de la esfera de cobre; en la vista del modelo polinomial el haz se observa no distorsionado, tal como se presenta en la tabla 18 y figura 13.

Tabla 18. Información previa a la calibración de la E/P RODAS

Datos de la embarcación			
Empresa: Pesquera Exalmar S.A. Fecha de calibración: 23/10/2021			
Sistema acústico: Simrad ES60			
#	Transducer: ES120-7C Serial No. 123		
#	Frequency	120000 Hz	Beamtype Split
#	Gain	25.24 dB	Two Way Beam Angle -21.0 dB
#	Athw. Angle Sens.	23.00	Along. Angle Sens. 23.00
#	Athw. Beam Angle	6.73 deg	Along. Beam Angle 6.66 deg
#	Athw. Offset Angle	-0.03 deg	Along. Offset Angle 0.04 deg
#	SaCorrection	-0.46 dB	Depth 0.00 m

Fuente: El autor (2023)

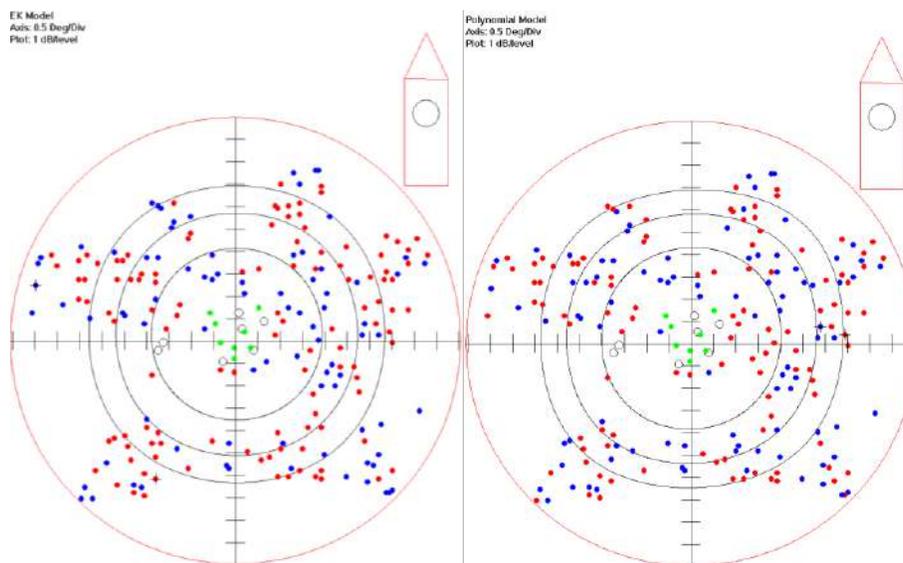


Figura 13. Gráficas de diagnóstico del modelo de haz (izquierda) y polinomial (derecha)

La ganancia de 25.81 dB y el error RMS del modelo del haz de 0.16 dB y modelo polinomial de 0.13 dB corresponden a una buena calibración (Tabla 19).

Tabla 19. Resultados de la calibración con el modelo del haz y el modelo polinomial

#	Transducer Gain	= 25.81 dB	SaCorrection	= -0.40 dB
#	Athw. Beam Angle	= 6.65 deg	Along. Beam Angle	= 6.65 deg
#	Athw. Offset Angle	= -0.01 deg	Along. Offset Angle	= 0.19 deg
#	Data deviation from beam model:			
#	RMS	= 0.16 dB		
#	Data deviation from polynomial model:			
#	RMS	= 0.13 dB		

Fuente: El autor (2023)

Embarcación pesquera CHIARA

El TWES fue eliminado con la aplicación “ESadjust” y con “Calibration.exe” se obtuvieron 330 detecciones de la esfera de cobre, observándose un haz no distorsionado en la vista del modelo polinomial, como se presenta en la tabla 20 y figura 14.

Tabla 20. Información previa a la calibración de la E/P CHIARA

Datos de la embarcación y sistema acústico			
Empresa: Pesquera Diamante S.A.C. Fecha de calibración: 29/01/2022			
Sistema acústico: ES60 Simrad			
#	Transducer: ES120-7C Serial No. 12		
#	Frequency	120000 Hz	Beamtype Split
#	Gain	27.00 dB	Two Way Beam Angle -21.0 dB
#	Athw. Angle Sens.	23.00	Along. Angle Sens. 23.00
#	Athw. Beam Angle	7.00 deg	Along. Beam Angle 7.00 deg
#	Athw. Offset Angle	0.00 deg	Along. Offset Angle 0.00 deg
#	SaCorrection	0.00 dB	Depth 0.00 m

Fuente: El autor (2023)

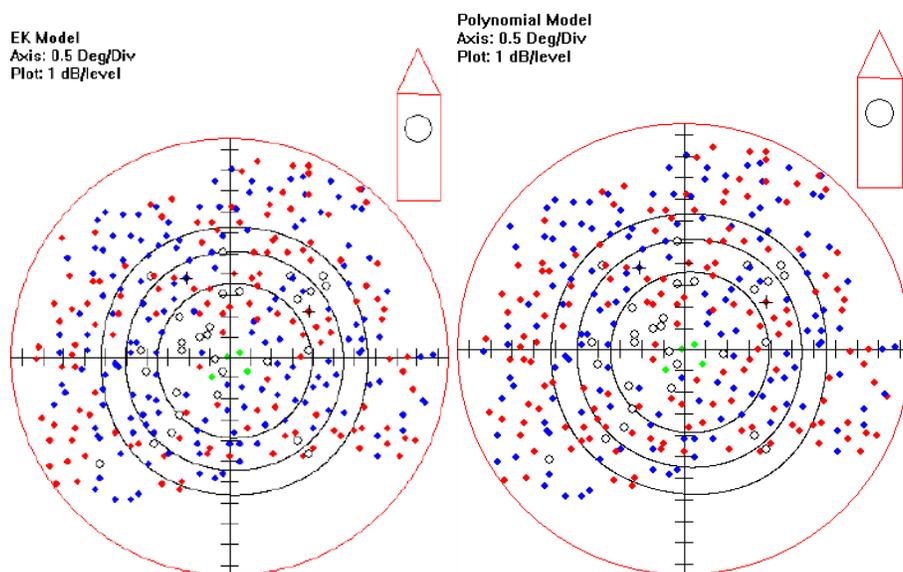


Figura 14. Gráficas de diagnóstico del modelo de haz (izquierda) y polinomial (derecha)

La ganancia de 26.72 dB se aproxima al valor nominal indicado del fabricante (27 dB) y el error RMS del modelo de haz de 0.14 dB y modelo polinomial de 0.13 dB indican que la calibración fue buena (Tabla 21).

Tabla 21. Resultados de la calibración con el modelo del haz y el modelo polinomial

# Beam Model results:	
# Transducer Gain = 26.72 dB	SaCorrection = -0.41 dB
# Athw. Beam Angle = 6.43 deg	Along. Beam Angle = 6.43 deg
# Athw. Offset Angle = 0.10 deg	Along. Offset Angle = -0.07 deg
#	
# Data deviation from beam model:	
# RMS = 0.14 dB	
# Data deviation from polynomial model:	
# RMS = 0.13 dB	

Fuente: El autor (2023)

Ingreso al sistema acústico de los parámetros calibrados

Las ecosondas comerciales cuentan con un software para controlar las funciones del sistema acústico; dicho software carece de un utilitario u opción para calibración como en los modelos científicos, donde finalizado el procedimiento el aplicativo permite guardar los nuevos parámetros al sistema acústico. Sin embargo, este procedimiento de carga de los parámetros calibrados se puede realizar manualmente a través del archivo “TRlist”, donde se modifican los parámetros predeterminados (valores de fábrica) del sistema acústico.

La ecosonda ES60 tiene el fichero TRlist con extensión .ini, que presenta verticalmente los parámetros de configuración de cada transceptor y transductor fabricados por Simrad para uso oceanográfico, pesquero y científico, el código que corresponde el transceptor (GPT) de 120 kHz de la ES60, tal como se observa en la tabla 22.

Tabla 22. Configuración del transceptor en el TRlist.ini de la ecosonda ES60.

```
GPTTRANSCEIVER "GPT-Q120(1)-F 1"
BEAMTYPE=SPLIT
MARKETSEGMENT=FISHERY
CHANNEL1
KHZ=120
SAMPLEINTERVALDEFAULT=0.000016 0.000032 0.000064 0.000128 0.000256
BANDWIDTH=12000
MINMEDMAXTXPOWER=100 300 1000
MINMEDMAXTXPULSELENGTH=0.000064 0.000128 0.000256 0.000512
0.001024
TRANSDUCER="ES120-7C"
```

Fuente: El autor (2023)

En la línea “MINMEDMAXTXPULSELENGTH” se presentan las longitudes de pulso del transceptor: 0.64, 0.128, 0.256, 0.512 y 1.024 ms; líneas abajo en la configuración del transductor ES120-7C, cada longitud de pulso tiene su respectiva ganancia (GAIN) y corrección s_a (SACORRECTION), la modificación de los parámetros de fabrica por los calibrados se debe efectuar en el orden correspondiente a la longitud de pulso utilizada, como se observa en la tabla 23.

Tabla 23. Configuración del transductor en el TRlist.ini de la ecosonda ES60.

```

TRANSDUCER="ES120-7C"
FREQUENCY=120000
BEAMTYPE=SPLIT
EQUIVALENT2WAYBEAMANGLE=-21.0
GAIN=25.50 26.80 27.00 27.00 27.00
SACORRECTION=0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
MAXTXPOWER=1000.0
THREEDBBEAMWIDTHALONGSHIP=7.00
THREEDBBEAMWIDTHATHWARTSHIP=7.00
ANGLESENSITIVITYALONGSHIP=23.00
ANGLESENSITIVITYATHWARTSHIP=23.00
OFFSETALONGSHIP=-0.00
OFFSETATHWARTSHIP=-0.00
ENDTRANSDUCER

```

Fuente: El autor (2023)

Ejemplo: Se calibró una ecosonda ES60 con la configuración: Longitud de pulso: 0.512 ms y Potencia: 500 w; concluida la calibración se obtuvieron los siguientes parámetros:

```

# Beam Model results:
# Transducer Gain   = 26.42 dB   SaCorrection   = -0.43 dB
# Athw. Beam Angle = 6.44 deg   Along. Beam Angle = 6.29 deg
# Athw. Offset Angle = 0.04 deg  Along. Offset Angle = 0.00 deg

```

Para ingresar los valores calibrados al sistema acústico, en el directorio de instalación del software ES60, se abre el fichero TRlist.ini con el block de notas y líneas abajo se ubica la configuración del transductor ES120-7C, de acuerdo al orden de las longitudes de pulso le correspondería la 4^{ta} ganancia (GAIN) y 4^{ta} Corrección sa (SACORRECTION) se modifica como se presenta en la tabla 24:

Tabla 24. Actualización de los parámetros del transductor en el TRlist.ini de la ES60

Parámetros nominales	Parámetros calibrados
GAIN=25.50 26.80 27.00 27.00 27.00	GAIN=25.50 26.80 27.00 26.42 27.00
SACORRECTION=0.00 0.00 0.00 0.00 0.00	SACORRECTION=0.00 0.00 0.00 -0.43 0.00
MAXTXPOWER=1000.0	MAXTXPOWER=500.0
THREEDBBEAMWIDTHALONGSHIP=7.00	THREEDBBEAMWIDTHALONGSHIP=6.29
THREEDBBEAMWIDTHATHWARTSHIP=7.00	THREEDBBEAMWIDTHATHWARTSHIP=6.44
ANGLESENSITIVITYALONGSHIP=23.00	ANGLESENSITIVITYALONGSHIP=23.00
ANGLESENSITIVITYATHWARTSHIP=23.00	ANGLESENSITIVITYATHWARTSHIP=23.00
OFFSETALONGSHIP=-0.00	OFFSETALONGSHIP=0.00
OFFSETATHWARTSHIP=-0.00	OFFSETATHWARTSHIP= 0.04
ENDTRANSDUCER	ENDTRANSDUCER

Fuente: El autor

4.1.2.2. Ecosonda Simrad ES70

Embarcación pesquera OLGA

Se elimino el TWES con la aplicación “ESadjust”, con “Calibration.exe” se obtuvieron 233 detecciones dentro del haz acústico, que se observa no distorsionado en la vista del modelo de haz polinomial, como se presenta en la tabla 25 y figura 15.

Tabla 25. Información previa a la calibración de la E/P OLGA

Datos de la embarcación y sistema acústico			
Empresa: Pesquera Diamante S.A.C.		Fecha de calibración: 17/08/2020	
Sistema acústico: Simrad ES70			
# Transducer: ES120-7C Serial No. 331			
# Frequency	120000 Hz	Beamtype	Split
# Gain	26.80 dB	Two Way Beam Angle	-20.7 dB
# Athw. Angle Sens.	23.00	Along. Angle Sens.	23.00
# Athw. Beam Angle	6.61 deg	Along. Beam Angle	6.56 deg
# Athw. Offset Angle	0.03 deg	Along. Offset Angle	0.07 deg
# SaCorrection	0.00 dB	Depth	0.00 m

Fuente: El autor (2023)

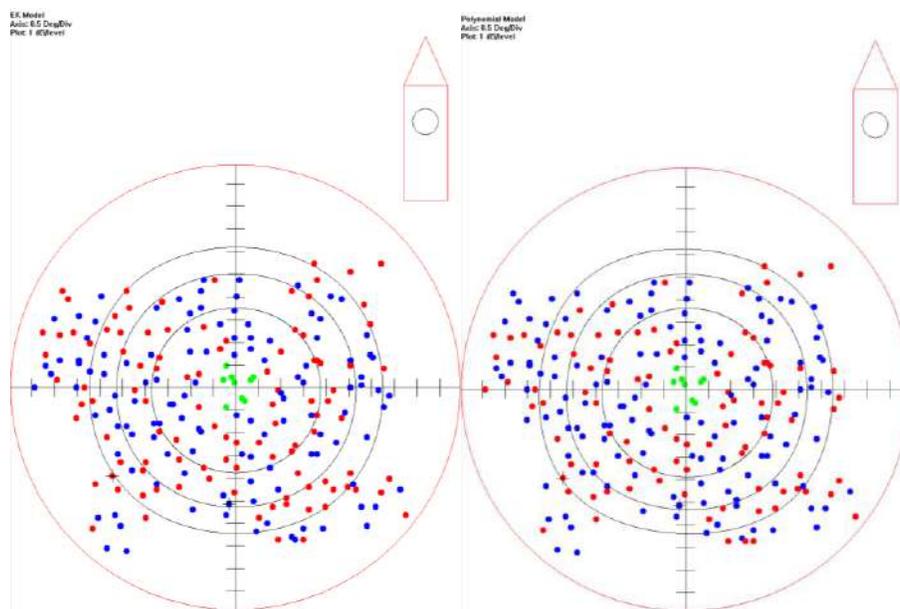


Figura 15. Gráficas de diagnóstico del modelo de haz (izquierda) y polinomial (derecha)

La nueva ganancia de 26.42 dB y el error RMS de 0.14 dB en los modelos de haz y polinomial demuestra una buena calibración, en la tabla 26 se muestran los resultados de calibración.

Tabla 26. Resultados de la calibración con el modelo del haz y el modelo polinomial

Beam Model results:

# Transducer Gain = 26.42 dB	SaCorrection = -0.43 dB
# Athw. Beam Angle = 6.44 deg	Along. Beam Angle = 6.29 deg
# Athw. Offset Angle = 0.04 deg	Along. Offset Angle = 0.00 deg

Data deviation from beam model:

RMS = 0.14 dB

Data deviation from polynomial model:

RMS = 0.14 dB

Fuente: El autor (2023)

Empresa pesquera NUEVA OFELITA

El TWES fue eliminado con la aplicación “ESadjust”, con “Calibration.exe” se efectuaron 239 detecciones de la esfera de cobre, en la vista del modelo polinomial se observa un haz distorsionado, como se presenta en la tabla 27 y figura 16.

Tabla 27. Información previa a la calibración de la E/P Nueva Ofelita

Datos de la embarcación y sistema acústico			
Empresa: AUSTRAL GROUP Fecha de calibración: 20/12/2020			
Sistema acústico: ES70 Simrad			
# Transducer: ES120-7C Serial No. 123			
# Frequency	120000 Hz	Beamtype	Split
# Gain	27.00 dB	Two Way Beam Angle	-21.0 dB
# Athw. Angle Sens.	23.00	Along. Angle Sens.	23.00
# Athw. Beam Angle	7.00 deg	Along. Beam Angle	7.00 deg
# Athw. Offset Angle	0.00 deg	Along. Offset Angle	0.00 deg
# SaCorrection	0.00 dB	Depth	0.00 m

Fuente: El autor (2023)

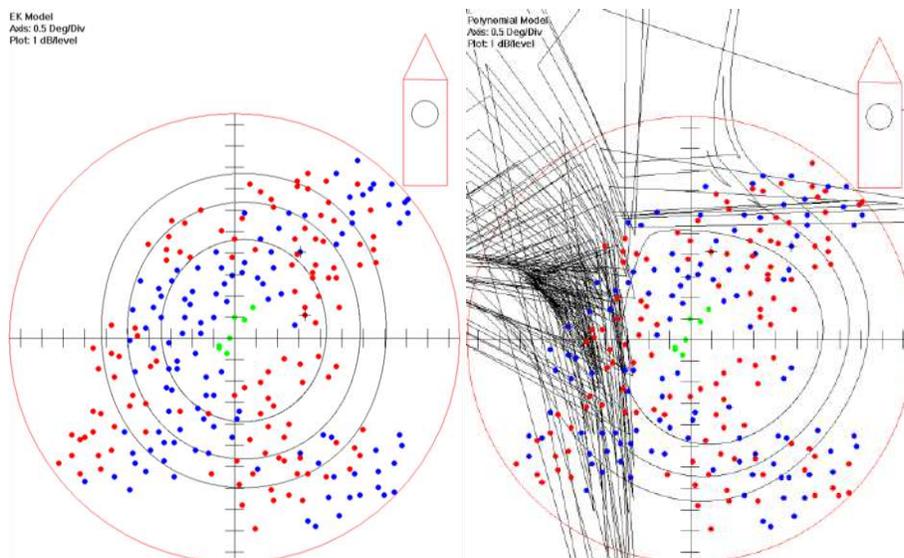


Figura 16. Gráficas de diagnóstico del modelo de haz (izquierda) y polinomial (derecha)

La ganancia de 24.25 dB difiere al valor predeterminado de fabrica (27 dB), el error RMS del modelo de haz de 0.48 dB y modelo polinomial de 0.34 dB corresponden a una calibración deficiente no válida para actualizar los parámetros del transductor, tal como se presenta en la tabla 28.

Tabla 28. Resultados de la calibración con el modelo del haz y el modelo polinomial

Beam Model results:

# Transducer Gain = 24.25 dB	SaCorrection = -0.39 dB
# Athw. Beam Angle = 6.64 deg	Along. Beam Angle = 7.32 deg
# Athw. Offset Angle = 0.21 deg	Along. Offset Angle = 0.18 deg
#	
# Data deviation from beam model:	
# RMS = 0.48 dB	
# Data deviation from polynomial model:	
# RMS = 0.34 dB	

Fuente: El autor (2023)

Embarcación pesquera SIMON

El TWES se eliminó con la aplicación “ESadjust” y con calibration.exe se obtuvieron 262 detecciones dentro del haz acústico, que se observa no distorsionado en la vista del modelo polinomial, como se muestra en la tabla 29 y figura 17.

Tabla 29. Información previa a la calibración de la E/P SIMON

Datos de la embarcación y sistema acústico

Empresa: AUSTRAL GROUP S.A. Fecha de calibración: 20/12/2020
 Sistema acústico: Simrad ES70

# Transducer: ES120-7C Serial No.			
# Frequency	120000 Hz	Beamtype	Split
# Gain	27.00 dB	Two Way Beam Angle	-21.0 dB
# Athw. Angle Sens.	23.00	Along. Angle Sens.	23.00
# Athw. Beam Angle	7.00 deg	Along. Beam Angle	7.00 deg
# Athw. Offset Angle	0.00 deg	Along. Offset Angle	0.00 deg
# SaCorrection	0.00 dB	Depth	0.00 m

Fuente: El autor (2023)

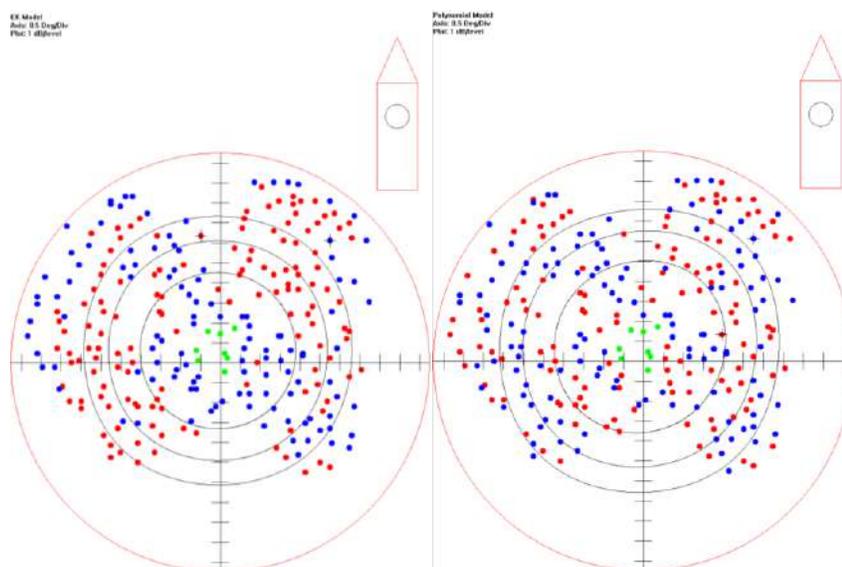


Figura 17. Gráficas de diagnóstico del modelo de haz (izquierda) y polinomial (derecha)

En la tabla 30 se presenta la ganancia de 25.74 dB y el error RMS de los modelos de haz y polinomial de 0.2 y 0.15 dB respectivamente, que demuestran una buena calibración.

Tabla 30. Resultados de la calibración con el modelo del haz y el modelo polinomial

#	Transducer Gain = 25.74 dB	SaCorrection = -0.39 dB
#	Athw. Beam Angle = 6.70 deg	Along. Beam Angle = 6.72 deg
#	Athw. Offset Angle = -0.07 deg	Along. Offset Angle = 0.30 deg
#	Data deviation from beam model:	
#	RMS = 0.20 dB	
#	Data deviation from polynomial model:	
#	RMS = 0.15 dB	

Fuente: El autor (2023)

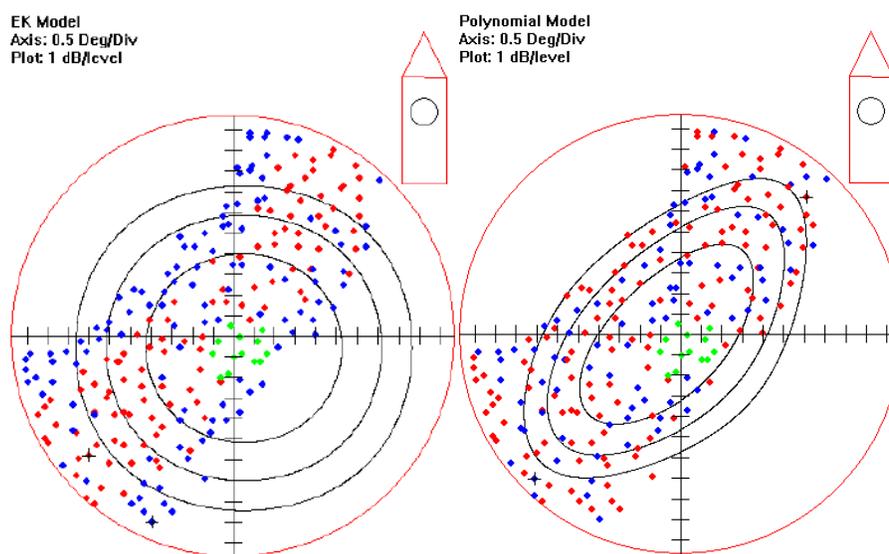
Embarcación pesquera NUEVA RESBALOSA II

Se eliminó el TWES con la aplicación “ESadjust” y en Calibration.exe se obtuvieron 233 detecciones de la esfera de cobre, observándose en el modelo polinomial un haz distorsionado con inclinación de 45, que muestra una disfuncionalidad del cuadrante superior izquierdo o inferior derecho, así como se presenta en la tabla 31 y figura 18.

Tabla 31. Información previa a la calibración de la E/P NUEVA RESBALOSA II

Datos de la embarcación y sistema acústico			
Empresa: AUSTRAL GROUP S.A. Fecha de calibración: 21/09/2021			
Sistema acústico: Simrad ES70			
N° de calibración: 1			
# Transducer: ES120-7C Serial No. 123			
# Frequency	120000 Hz	Beamtype	Split
# Gain	24.99 dB	Two Way Beam Angle	-21.0 dB
# Athw. Angle Sens.	23.00	Along. Angle Sens.	23.00
# Athw. Beam Angle	7.14 deg	Along. Beam Angle	7.11 deg
# Athw. Offset Angle	-0.05 deg	Along. Offset Angle	-0.03 deg
# SaCorrection	-0.46 dB	Depth	0.00 m

Fuente: El autor (2023)

**Figura 18.** Gráficas de diagnóstico del modelo de haz (izquierda) y polinomial (derecha)

La ganancia obtenida de 23.22 dB difiere considerablemente del valor nominal del fabricante (27 dB), según lo descrito por Demer et al. (2015) y Simrad (2012), el modelo polinomial distorsionado con forma elíptica e inclinación de 45°, se asocia a un sector disfuncional (superior izquierdo o inferior derecho) del transductor o transceptor del sistema acústico;

asimismo, el ángulo de abertura del haz longitudinal y transversal es 1° mayor al valor nominal (7°), como se presenta en la tabla 32.

Tabla 32. Resultados de la calibración con el modelo del haz y el modelo polinomial

# Beam Model results:			
# Transducer Gain	= 23.22 dB	SaCorrection	= -0.40 dB
# Athw. Beam Angle	= 8.11 deg	Along. Beam Angle	= 7.83 deg
# Athw. Offset Angle	= 0.20 deg	Along. Offset Angle	= -0.32 deg
#			
# Data deviation from beam model:			
# RMS	= 0.72 dB		
# Data deviation from polynomial model:			
# RMS	= 0.43 dB		

Fuente: El autor (2023)

Según los resultados de la calibración anterior (21/09/2018), el proveedor del sistema acústico “Robinson Marine Electronics” reviso el transductor y transceptor, encontrando un terminal defectuoso en un canal del transductor, concluida la reparación se efectuó una segunda calibración con los parámetros que se presentan en la tabla 33.

Tabla 33. Información previa a la calibración de la E/P NUEVA RESBALOSA II

Datos de la embarcación y sistema acústico			
Empresa: AUSTRAL GROUP S.A. Fecha: 11/02/2022			
Sistema acústico: Simrad ES70			
N° de calibración: 2			
# Transducer:	ES120-7C Serial No. 123		
# Frequency	120000 Hz	Beamtype	Split
# Gain	24.94 dB	Two Way Beam Angle	-20.4 dB
# Athw. Angle Sens.	23.00	Along. Angle Sens.	23.00
# Athw. Beam Angle	8.02 deg	Along. Beam Angle	7.42 deg
# Athw. Offset Angle	0.00 deg	Along. Offset Angle	-0.08 deg
# SaCorrection	-0.44 dB	Depth	0.00 m

Fuente: El autor (2023)

Se efectuaron 211 detecciones de la esfera de cobre dentro del haz acústico, que en la figura 19 se observa no distorsionado en las vistas de haz de ambos modelos.

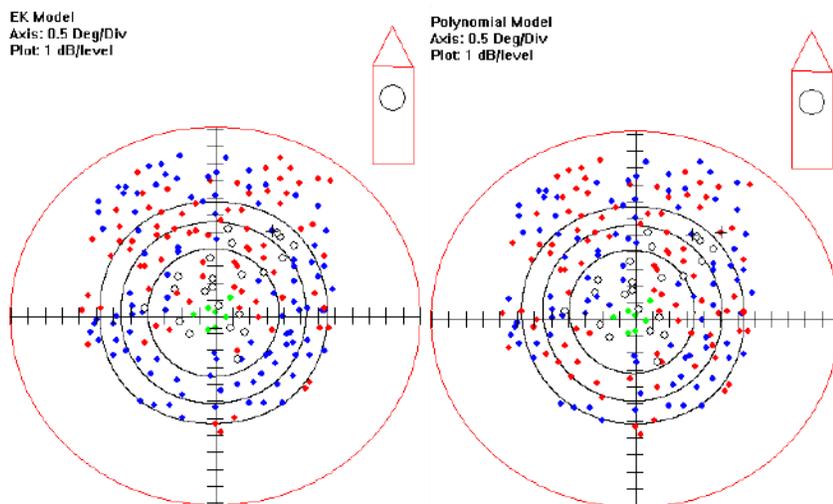


Figura 19. Gráficas de diagnóstico del modelo de haz (izquierda) y polinomial (derecha)

Se ajustó correctamente la ganancia a 24.57 dB y el error RMS del modelo de haz de 0.19 dB y modelo polinomial de 0.16 dB) obtenidos en la calibración muestran un buen resultado (Tabla 34).

Tabla 34. Resultados de la calibración con el modelo del haz y el modelo polinomial

# Beam Model results:			
#	Transducer Gain	= 24.57 dB	SaCorrection = -0.44 dB
#	Athw. Beam Angle	= 6.69 deg	Along. Beam Angle = 6.54 deg
#	Athw. Offset Angle	= -0.07 deg	Along. Offset Angle = 0.04 deg
#	# Data deviation from beam model:		
#	RMS	= 0.19 dB	
#	# Data deviation from polynomial model:		
#	RMS	= 0.16 dB	

Fuente: El autor (2023)

Embarcación pesquera OLGA

Se colectaron archivos en formato crudo (.RAW) siendo eliminado el TWES con la aplicación “ESadjust”, siendo procesados en la subrutina “Calibration.exe” del software ER60 donde se obtuvieron 284 detecciones de la esfera de cobre dentro del haz acústico, que se observa no distorsionado en la vista del modelo polinomial, tal como se muestra en la tabla 35 y figura 20.

Tabla 35. Información previa a la calibración de la E/P OLGA

Datos de la embarcación y sistema acústico			
Empresa: PESQUERA DIAMANTE S.A.C. Fecha de calibración: 27/09/2021			
Sistema acústico: Simrad ES70			
#	Transducer: ES120-7C	Serial No.	123
#	Frequency	120000 Hz	Beamtype Split
#	Gain	27.11 dB	Two Way Beam Angle -20.7 dB
#	Athw. Angle Sens.	23.00	Along. Angle Sens. 23.00
#	Athw. Beam Angle	6.50 deg	Along. Beam Angle 6.19 deg
#	Athw. Offset Angle	0.04 deg	Along. Offset Angle -0.14 deg
#	SaCorrection	-0.42 dB	Depth 0.00 m

Fuente: El autor (2023)

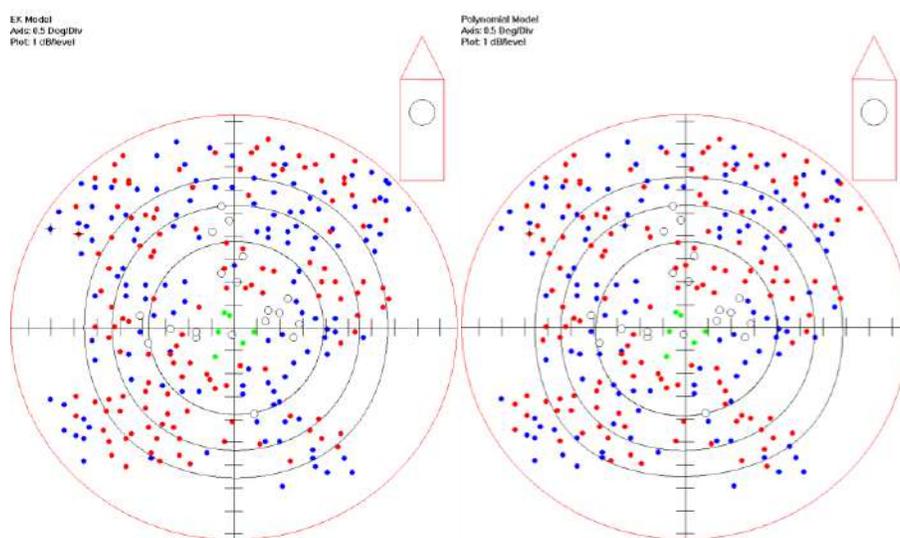


Figura 20. Gráficas de diagnóstico del modelo de haz (izquierda) y polinomial (derecha)

La ganancia de 26.64 dB y el error RMS (0.11 - 0.10 dB) corresponde a una buena calibración, como se observa en la tabla 36.

Tabla 36. Resultados de la calibración con el modelo del haz y el modelo polinomial

#	Transducer Gain = 26.64 dB	SaCorrection = -0.45 dB
#	Athw. Beam Angle = 6.64 deg	Along. Beam Angle = 6.55 deg
#	Athw. Offset Angle = 0.08 deg	Along. Offset Angle=-0.14 deg
#	# Data deviation from beam model:	
#	RMS = 0.11 dB	
#	# Data deviation from polynomial model:	
#	RMS = 0.10 dB	

Fuente: El autor (2023)

Embarcación pesquera OLGA

Se eliminó el TWES con la aplicación “ESadjust”, los archivos RAW resultantes fueron procesados en calibration.exe, donde se obtuvieron 207 detecciones de la esfera de cobre dentro del haz acústico, que se observa no distorsionado en la vista del modelo polinomial, tal como se observa en la tabla 37 y figura 21.

Tabla 37. Información previa a la calibración de la E/P OLGA

Datos de la embarcación y sistema acústico			
Empresa: PESQUERA DIAMANTE S.A. Fecha de calibración: 08/02/2022			
Sistema acústico: Simrad ES70			
#	Transducer: ES120-7C Serial No. 123		
#	Frequency	120000 Hz	Beamtype Split
#	Gain	26.64 dB	Two Way Beam Angle -20.7 dB
#	Athw. Angle Sens.	23.00	Along. Angle Sens. 23.00
#	Athw. Beam Angle	6.55 deg	Along. Beam Angle 6.55 deg
#	Athw. Offset Angle	0.08 deg	Along. Offset Angle -0.14 deg
#	SaCorrection	-0.45 dB	Depth 0.00 m

Fuente: El autor (2023)

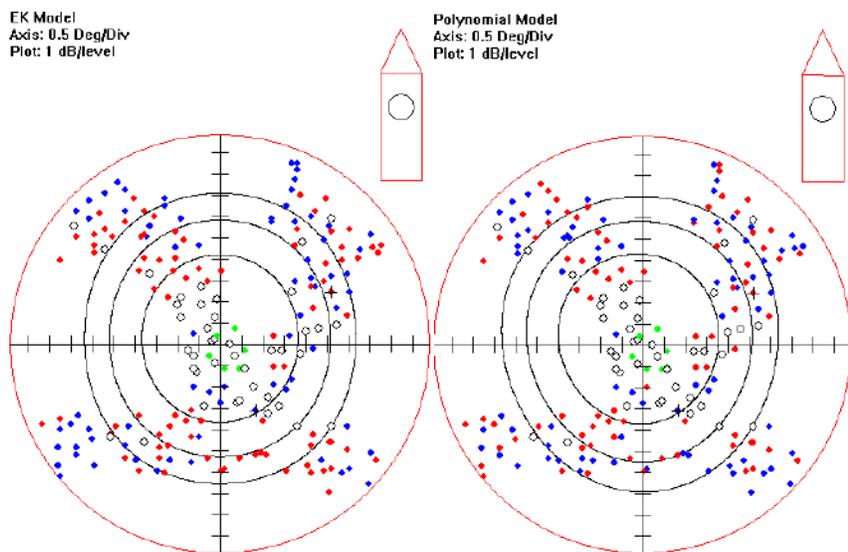


Figura 21. Gráficas de diagnóstico del modelo de haz (izquierda) y polinomial (derecha)

La tabla 38 presenta los resultados de la calibración, con ganancia a 26.7 dB y error RMS de 0.23 y 0.21 dB, siendo el resultado aceptable.

Tabla 38. Resultados de la calibración con el modelo del haz y el modelo polinomial

# Beam Model results:	
# Transducer Gain = 26.70 dB	SaCorrection = -0.41 dB
# Athw. Beam Angle = 6.37 deg	Along. Beam Angle = 6.84 deg
# Athw. Offset Angle = 0.07 deg	Along. Offset Angle = 0.00 deg
#	
# Data deviation from beam model:	
# RMS = 0.23 dB	
# Data deviation from polynomial model:	
# RMS = 0.21 dB	

Fuente: El autor (2023)

Embarcación pesquera ESTELA DE ORO II

Se eliminó el TWES con la aplicación "ESadjust", con calibration.exe se obtuvieron 249 detecciones de la esfera de cobre dentro del haz acústico, que se observa no distorsionado en la vista del modelo polinomial, como se presenta en la tabla 39 y figura 22.

Tabla 39. Información previa a la calibración de la E/P ESTELA DE ORO II

Datos de la embarcación y sistema acústico			
Empresa: AUSTRAL GROUP S.A. Fecha: 28/09/2022			
Sistema acústico: Simrad ES70			
# Transducer: ES120-7C Serial No. 123			
# Frequency	120000 Hz	Beamtype	Split
# Gain	26.57 dB	Two Way Beam Angle	-21.4 dB
# Athw. Angle Sens.	23.00	Along. Angle Sens.	23.00
# Athw. Beam Angle	6.50 deg	Along. Beam Angle	6.41 deg
# Athw. Offset Angle	-0.07 deg	Along. Offset Angle	0.04 deg
# SaCorrection	-0.41 dB	Depth	0.00 m

Fuente: El autor (2023)

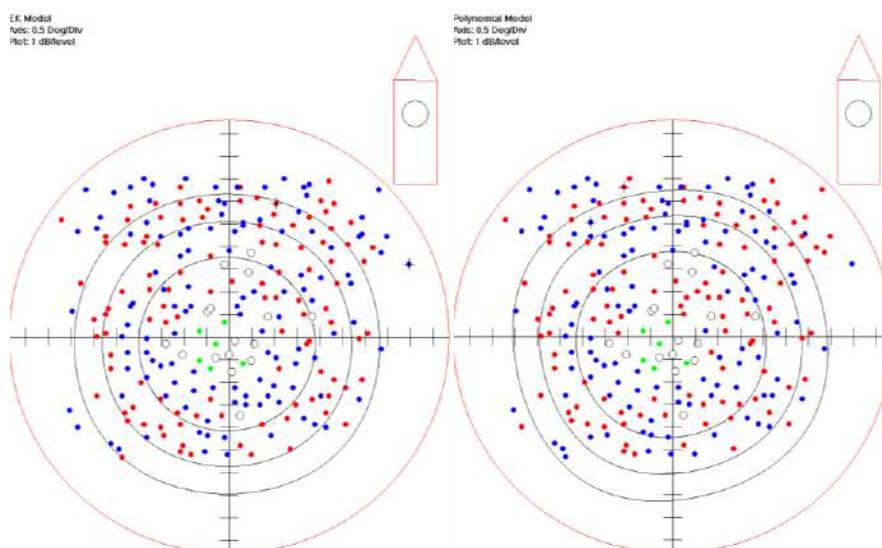


Figura 22. Gráficas de diagnóstico del modelo de haz (izquierda) y polinomial (derecha)

La ganancia del transductor de 25.96 dB y el error RMS de 0.19 - 0.17 dB muestran un resultado óptimo, según lo presentado en la tabla 40.

Tabla 40. Resultados de la calibración con el modelo del haz y el modelo polinomial

```
# Beam Model results:
# Transducer Gain = 25.96 dB      SaCorrection = -0.42 dB
# Athw. Beam Angle = 6.76 deg    Along. Beam Angle = 6.64 deg
# Athw. Offset Angle =-0.12 deg  Along. Offset Angle=-0.11 deg
#
# Data deviation from beam model:
# RMS = 0.19 dB
# Data deviation from polynomial model:
# RMS = 0.17 dB
```

Fuente: El autor (2023)

Ingreso al sistema acústico de los parámetros calibrados

La ecosonda Simrad ES70 tiene el fichero TRlist.xml versión 1.0 con las opciones de configuración del sistema acústico ordenadas horizontalmente. Como en la versión .txt, cada longitud de pulso (0.64, 0.128, 0.256, 0.512 y 1.024 ms) tiene su respectiva ganancia (Gain) y corrección s_a (SaCorrection); para modificar los parámetros de fabrica por los calibrados, se abre el archivo xml en el block de notas y líneas abajo se reemplazan los nuevos valores en el modelo del transductor (ES120-7C) y el orden correspondiente a la longitud de pulso utilizada, como se muestra en la tabla 41.

Tabla 41. Formato del TRlist.xml de la ecosonda ES70.

```
<Transducer TransducerName="ES120-7C" Frequency="120000" BeamType="SPLIT"
EquivalentBeamAngle="-21" Gain="25.5;26.8;27;27;27" SaCorrection="0;0;0;0;0"
MaxTxPowerTransducer="1000" BeamWidthAlongship="7" BeamWidthAthwartship="7"
AngleSensitivityAlongship="23" AngleSensitivityAthwartship="23" AngleOffsetAlongship="0"
AngleOffsetAthwartship="0" DirectivityDropAt2XBeamWidth="14.4" />
```

Fuente: El autor

4.1.2.3. Ecosonda Simrad ES80

Embarcación pesquera MARU

Los archivos RAW fueron procesados en la subrutina “Calibration wizard” del software EK80 Versión 1.12.1.0, donde se colectaron 832 detecciones de la esfera de cobre, la cobertura en el eje fue 90% y 87% en los 4 sectores, en la tabla 42 se presentan los parámetros previos a la calibración y en la figura 23 las detecciones dentro del haz acústico.

Tabla 42. Información previa a la calibración de la E/P MARU

Datos de la embarcación y sistema acústico	
Empresa:	CFG INVESTMENT S.A.C
Fecha:	02/10/2021
Sistema acústico:	Simrad ES80
<PreviousModelParameters>	
<Frequency>120000</Frequency>	
<Gain>27.00</Gain>	
<BeamWidthAlongship>7.00</BeamWidthAlongship>	
<BeamWidthAthwartship>7.00</BeamWidthAthwartship>	
<AngleOffsetAlongship>0.00</AngleOffsetAlongship>	
<AngleOffsetAthwartship>0.00</AngleOffsetAthwartship>	
<SaCorrection>0.0000</SaCorrection>	

Fuente: El autor (2023)

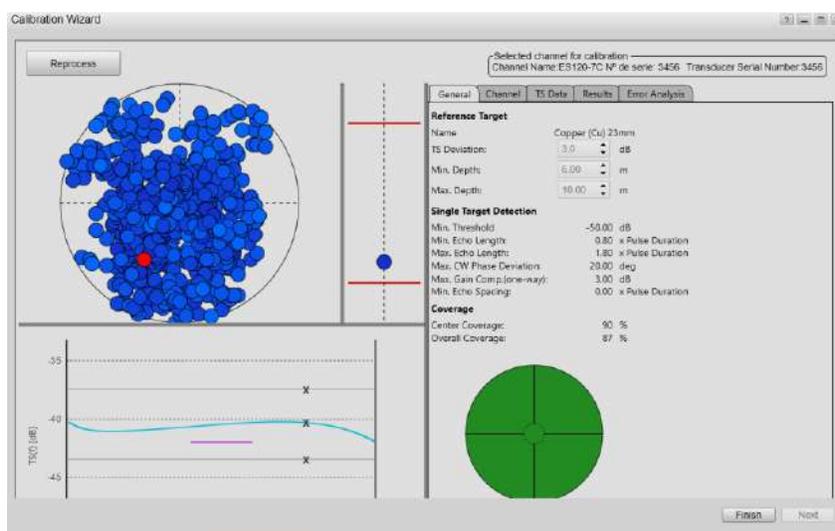


Figura 23. Cobertura de las detecciones de la esfera dentro del haz acústico

Los resultados obtenidos en “Calibration wizard” demuestran una buena calibración, siendo la ganancia 26 dB y el error RMS 0.133 dB, como se observa en la tabla 43.

Tabla 43. Resultados de la calibración con el modelo del haz acústico

```
<CalibrationResults>
  <Frequency>120000</Frequency>
  <Gain>26.00</Gain>
  <SaCorrection>-0.0583</SaCorrection>
  <BeamWidthAlongship>6.60</BeamWidthAlongship>
  <BeamWidthAthwartship>6.60</BeamWidthAthwartship>
  <AngleOffsetAlongship>-0.07</AngleOffsetAlongship>
  <AngleOffsetAthwartship>-0.08</AngleOffsetAthwartship>
  <TsRmsError>0.1332</TsRmsError>
```

Fuente: El autor (2023)

Embarcación pesquera TASA 425

Los archivos RAW se procesaron en la subrutina “Calibration wizard”, donde se obtuvieron 529 detecciones de la esfera de cobre dentro del haz acústico, la cobertura en el eje fue de 62% y 58% en los 4 sectores como lo muestra la tabla 44 y figura 24.

Tabla 44. Información previa a la calibración de la E/P TASA 425

```
Datos de la embarcación y sistema acústico
Empresa: Tecnológica de Alimentos S.A. Fecha: 27/09/2021
Sistema acústico: Simrad ES80
N° de calibración: 1
<PreviousModelParameters>
  <Frequency>120000</Frequency>
  <Gain>27.00</Gain>
  <BeamWidthAlongship>7.00</BeamWidthAlongship>
  <BeamWidthAthwartship>7.00</BeamWidthAthwartship>
  <AngleOffsetAlongship>0.00</AngleOffsetAlongship>
  <AngleOffsetAthwartship>0.00</AngleOffsetAthwartship>
  <SaCorrection>0.0000</SaCorrection>
  <EquivalentBeamAngle>-20.70</EquivalentBeamAngle>
```

Fuente: El autor (2023)

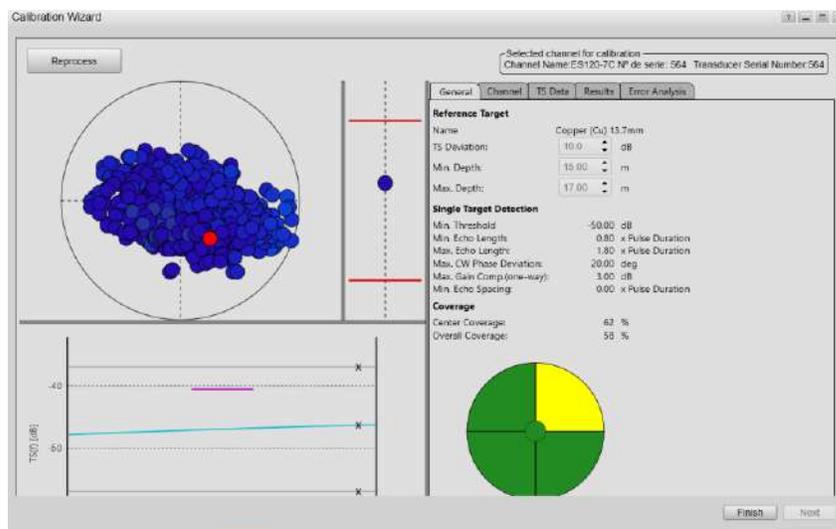


Figura 24. Cobertura de las detecciones de la esfera dentro del haz acústico

Si bien, la tabla 45 muestra un resultado óptimo con error RMS de 0.09 dB, la ganancia resultante (30.04 dB) es significativamente diferente del valor predeterminado del sistema acústico (27.0 dB), los anchos de haz longitudinal (BeamWidthAlongship) y transversal (BeamWidthAthwartship) tienen una diferencia de 0.4° , esto puede estar asociado a errores en el sistema acústico como cables rotos o cables de canales mezclados.

Tabla 45. Resultados de la calibración con el modelo del haz acústico

```

<CalibrationResults>
  <Frequency>120000</Frequency>
  <Gain>30.04</Gain>
  <SaCorrection>-0.0993</SaCorrection>
  <BeamWidthAlongship>6.95</BeamWidthAlongship>
  <BeamWidthAthwartship>6.56</BeamWidthAthwartship>
  <AngleOffsetAlongship>-0.24</AngleOffsetAlongship>
  <AngleOffsetAthwartship>-0.12</AngleOffsetAthwartship>
  <TsRmsError>0.0864</TsRmsError>

```

Fuente: El autor (2023)

De acuerdo a los resultados de la calibración de la TASA 425 del 27/09/2018, al revisar el sistema acústico “Robinson Marine Electronics”, identificó un defecto de fábrica con dos canales mezclados en el WBT (Wide Band Tranceiver). Posteriormente se realizó una segunda

calibración, donde se colectaron 2815 detecciones de la esfera de cobre dentro del haz acústico, la cobertura en el eje fue 75% y 80% en los 4 sectores, en la tabla 46 se presentan los parámetros previos a la calibración y en la figura 25 las detecciones dentro del haz acústico.

Tabla 46. Información previa a la calibración de la E/P TASA 425

Datos de la embarcación	
Empresa:	Tecnológica de Alimentos S.A.
Fecha:	06/02/2022
Sistema acústico:	Simrad ES80
N° de calibración:	2
<PreviousModelParameters>	
<Frequency>	120000</Frequency>
<Gain>	30.04</Gain>
<BeamWidthAlongship>	6.95</BeamWidthAlongship>
<BeamWidthAthwartship>	6.26</BeamWidthAthwartship>
<AngleOffsetAlongship>	-0.24</AngleOffsetAlongship>
<AngleOffsetAthwartship>	-0.12</AngleOffsetAthwartship>
<SaCorrection>	-0.1000</SaCorrection>

Fuente: El autor (2023)

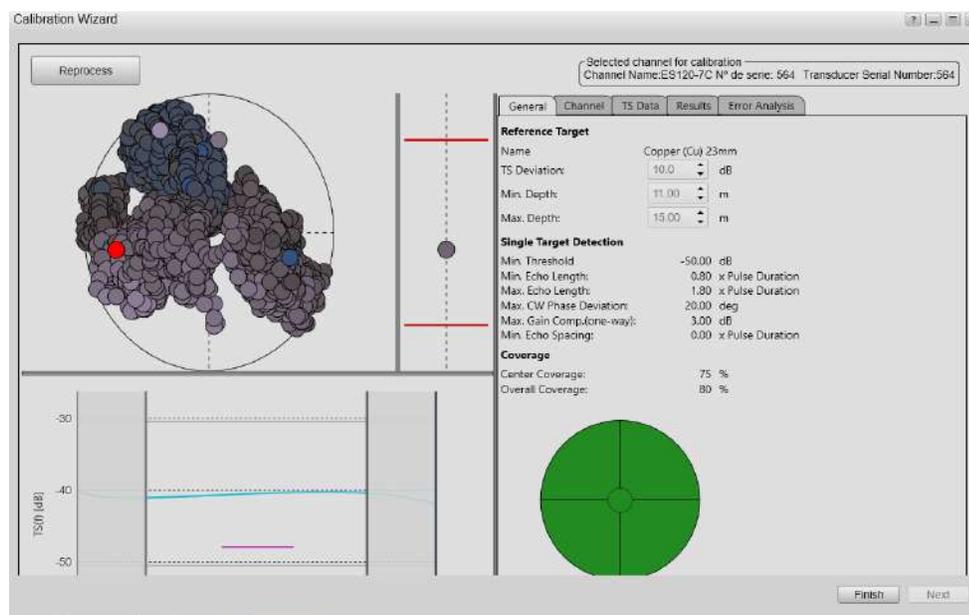


Figura 25. Cobertura de las detecciones de la esfera dentro del haz acústico

Se ajustó correctamente la ganancia del transductor a 26.56 dB y el error RMS de 0.1821 dB muestra un resultado óptimo, como se presenta en la tabla 47.

Tabla 47. Resultados de la calibración con el modelo del haz acústico

```

<CalibrationResults>
  <Frequency>120000</Frequency>
  <Gain>26.56</Gain>
  <SaCorrection>-0.0415</SaCorrection>
  <BeamWidthAlongship>6.59</BeamWidthAlongship>
  <BeamWidthAthwartship>6.47</BeamWidthAthwartship>
  <AngleOffsetAlongship>0.32</AngleOffsetAlongship>
  <AngleOffsetAthwartship>-0.02</AngleOffsetAthwartship>
  <TsRmsError>0.1821</TsRmsError>

```

Fuente: El autor (2023)

Ingreso al sistema acústico de los parámetros calibrados

La ecosonda Simrad ES80 tiene el fichero TRlist.xml versión 1.1, la modificación de los parámetros de fabrica por los calibrados se efectúa de manera similar a las versiones de las ecosondas ES60 y ES70, reemplazando según el orden correspondiente a la longitud de pulso (0.64, 0.128, 0.256, 0.512 y 1.024 ms) utilizada para calibrar, su respectiva ganancia (Gain), corrección s_a (SaCorrection) y demás parámetros del transductor, como se puede observar en la tabla 48.

Tabla 48. Formato del TRlist.ini de la ecosonda ES80.

```

</Transducer>
  <Transducer TransducerName="ES120-7C" TransducerType="Split4">
    <TransducerParameter Frequency="120000" FrequencyMinimum="95000"
    FrequencyMaximum="160000" AngleOffsetAlongship="0" AngleOffsetAthwartship="0"
    AngleSensitivityAlongship="23" AngleSensitivityAthwartship="23" BeamType="Split"
    BeamWidthAlongship="7" BeamWidthAthwartship="7" EquivalentBeamAngle="-21"
    Gain="25.5;26.8;27;27;27" MaxTxPowerTransducer="1000" SaCorrection="0;0;0;0;0"
    PulseDuration="0.000064;0.000128;0.000256;0.000512;0.001024" />

```

Fuente: El autor

En los tres modelos de ecosondas Simrad comerciales, una vez modificados y guardados los parámetros ya calibrados del transductor en el archivo TRlist.ini o TRlist.xml, para

introducir en el software del sistema la nueva configuración, es necesario desinstalar e instalar nuevamente el transceptor, solo entonces se considera completa la calibración del sistema acústico.

4.2. Contrastación de las hipótesis

4.2.1. Contrastación de la hipótesis general

Con los resultados obtenidos en la calibración y diagnóstico en las ecosondas comerciales Simrad ES60, ES70 y ES80, el 82% de los sistemas acústicos se obtuvo un error RMS menor o igual a 0.4 dB considerado como calibración buena y aceptable. El 18% de las calibraciones presentaron error RMS mayor a 0.4 dB considerado como malo o no aceptable, que se asoció a sistemas acústicos con funcionamiento defectuoso, como sectores disfuncionales o mezclados en el transductor o transceptor, como se presenta en la tabla 49.

Tabla 49. Resultados de calibración y diagnóstico del funcionamiento de los sistemas acústicos comerciales.

Resultado de la calibración	ES60	ES70	ES80	Frecuencia Total	%	Diagnóstico del funcionamiento
Aceptable	1	2		3	18%	Correcto
Buena	4	4	3	11	65%	Correcto
No aceptable	1	2		3	18%	Defectuoso
Total	6	8	3	17	100%	

Fuente: El autor

Por lo tanto, el resultado de la investigación determinó que si se puede calibrar y diagnosticar el funcionamiento de las ecosondas comerciales Simrad ES60, ES70 y ES80, siendo rechazada la hipótesis alternativa “no se puede calibrar y diagnosticar el funcionamiento las ecosondas comerciales Simrad”.

4.2.2. Contrastación de las hipótesis específicas

El 82% de las calibraciones obtuvieron resultados buenos y aceptables, lo cual ha demostrado que si se pueden calibrar las ecosondas comerciales Simrad ES60, ES70 y ES80, por lo que se rechaza la hipótesis alternativa “no se puede calibrar las ecosondas comerciales Simrad”.

Las calibraciones malas ($RMS > 0.4$ dB) estuvieron vinculadas a errores en el funcionamiento de los sistemas acústicos, esto demuestra que si se puede diagnosticar el funcionamiento de las ecosondas comerciales Simrad ES60, ES70 y ES80, por lo que se rechaza la hipótesis alternativa “no se puede diagnosticar el funcionamiento las ecosondas comerciales Simrad”.

Capítulo V

V. Discusión

5.1. Discusión de resultados

Las calibraciones efectuadas a las ecosondas comerciales Simrad entre el 2020 y 2022, muestran que el 31% de los sistemas acústicos se calibraron a partir de los valores nominales del fabricante, es decir no fueron previamente calibrados. Durante el procedimiento de calibración se obtuvieron entre 207 y 2815 mediciones de la fuerza de blanco de la esfera de cobre de 23 mm de diámetro. El 87.5% de los sistemas acústicos calibrados presentaron error RMS menor a 0.2 dB considerado como bueno y aceptables (0.2 - 0.4 dB); en las calibraciones efectuadas a ecosondas comerciales donde el error RMS fue mayor a 0.4 dB, se observó en la vista polar del modelo polinomial un haz distorsionado con forma de elipsoide e inclinación de 45°, esta característica se asocia a un sector disfuncional (superior izquierdo o inferior derecho) del transductor o tranceptor del sistema acústico según lo descrito por Demer et al. 2015 y Simrad (2012), tal como se muestra en la Figura 26.

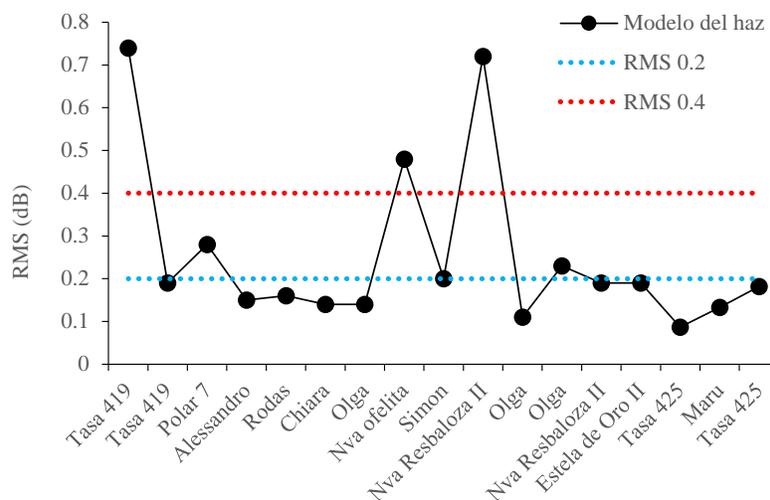


Figura 26. Error RMS de la calibración de las ecosondas comerciales Simrad.

La ganancia en el eje obtenida de las calibraciones a las ecosondas comerciales Simrad varió entre 23.2 dB y 30.04 dB; de las cuales el 68.7% presentaron valores entre 27 dB y 25 dB, que se aproximan a la ganancia nominal indicada por el fabricante (27 dB). Sin embargo, en tres sistemas acústicos comerciales la diferencia en la ganancia obtenida de la calibración respecto a la ganancia nominal fue menor de 4 dB y mayor de 3 dB. En el caso de la ganancia menor de 4 dB al valor nominal, se identificó un sector disfuncional del transductor, donde el modelo polinomial presentó un haz distorsionado con forma de elipsoide con inclinación de 45°. La ganancia con 3 dB mayor al valor nominal se asoció a dos canales mezclados en el transeptor, según lo descrito por Demer et al. (2015), como se observa en la figura 27.

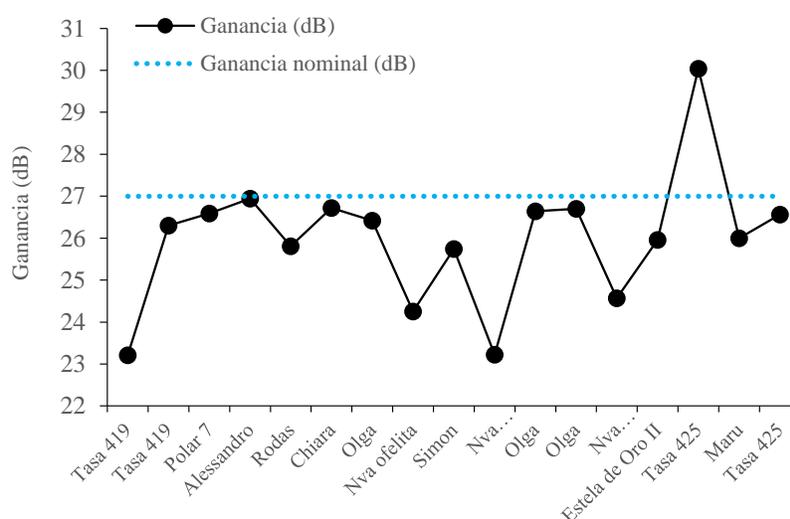


Figura 27. Ganancia en el eje de la calibración de las ecosondas comerciales Simrad.

De acuerdo a la recomendación de Simrad (2012) se comprobó la forma del haz acústico en Calibration.exe con la vista polar (0°) del modelo polinomial. Un transductor circular tendrá un haz circular y un transductor elíptico una elipse, ambos con solo ángulos de desplazamiento insignificantes (α_o y β_o). Si un transductor circular muestra una elipse con un eje de aproximadamente 45° o 135°, la razón puede ser un cuadrante no operativo en el transductor o

en el receptor. Esta anomalía debería presentar un valor de TS aproximadamente 2 dB más bajo, es decir, una ganancia de transductor más baja de 1 dB para compensar (Simrad, 2012).

Los anchos de haz longitudinal α_{-3d} y transversal β_{-3dB} derivados de la calibración de las ecosondas comerciales Simrad variaron entre 6.0° y 8.1° ; el 81.2% de los resultados de calibración presentaron aberturas de haz entre 6.3° y 6.9° que se aproximan al valor nominal del ancho del haz de 7° . Sin embargo, los resultados de tres sistemas acústicos mostraron anchos de haz menores a 6.3° y mayores a 7° , cabe mencionar que en estos casos el error RMS obtenido en el procedimiento de calibración fue mayor a 0.4 dB, tal como se presenta en la figura 28.

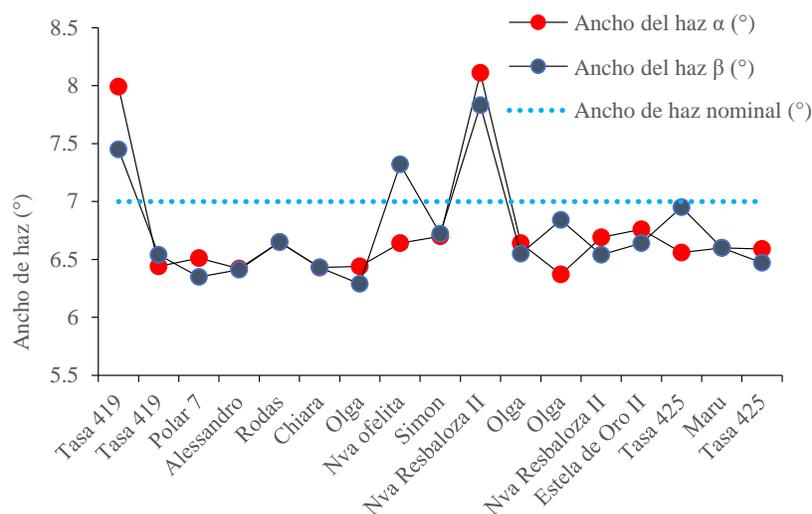


Figura 28. Ancho del haz longitudinal (α) y transversal (β) de la calibración de las ecosondas comerciales Simrad.

Si un transductor circular en la vista Plot muestra una forma no circular y, además, ángulos de desplazamiento sustanciales, tanto hacia adelante como hacia abajo, esto indica que puede haber algo incorrecto en la forma en que se conecta el transductor. En este caso, debe verificar el ancho de haz calibrado, los valores de compensación y ganancia. Si un cuadrante del transductor está conectado a la inversa, el ancho del haz será aproximadamente mayor en un grado, los ángulos de desplazamiento estarán aproximadamente un grado descentrado en ambas

direcciones y la ganancia calibrada puede ser del orden de 6 dB más baja que la ganancia predeterminada. Si dos de los cuadrantes se han mezclado, los movimientos de la esfera de referencia dentro del haz serán incorrectos. (Simrad, 2012).

Los ángulos de compensación longitudinal α_o y transversal β_o obtenidos de la calibración de las ecosondas comerciales Simrad variaron principalmente entre -0.2° y 0.2° , los valores superiores a 0.2° e inferiores a -0.3° se asociaron a resultados de calibración con error RMS superior a 0.4 dB, como se muestra en la figura 29.

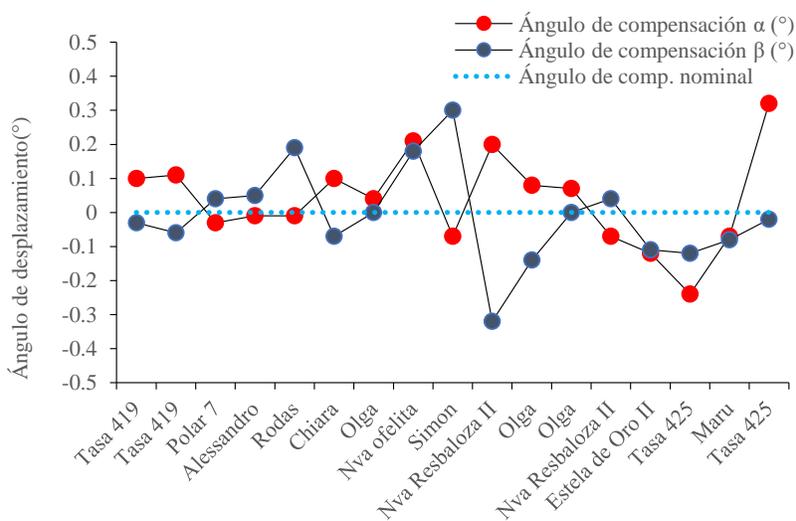


Figura 29. Ángulo de compensación longitudinal (α_o) y transversal (β_o) de la calibración de las ecosondas comerciales Simrad.

Para evaluar el correcto funcionamiento de un sistema acústico, no es suficiente observar en la vista polar del modelo polinomial un haz no distorsionado y obtener un error RMS <0.4 dB en los resultados de calibración; la ganancia (G_o), anchos de haz (α_{-3dB} y β_{-3dB}) y ángulos de desplazamiento (α_o y β_o) proporcionan información relativa al estado del transductor o transceptor-receptor. La ganancia no debe exceder ± 1 dB y la abertura del haz $\pm 1^\circ$ de sus valores nominales; además los ángulos de desplazamiento deben ser insignificantes.

Capítulo VI

VI. Conclusiones y recomendaciones

6.1. Conclusiones

- Las ecosondas comerciales Simrad de la serie ES (60, 70 y 80) pueden ser calibradas correctamente y diagnosticadas para comprobar su funcionamiento, aplicando los métodos desarrollados por el fabricante para calibrar las ecosondas científicas de la serie EK (60 y 80).
- El 83% (14) de los resultados de las calibraciones efectuadas a las ecosondas comerciales Simrad ES60, ES70 y ES80 fueron entre buenas y aceptables.
- El 18% (3) los resultados de calibración fueron no aceptables, los que se asociaron a sistemas acústicos con sectores disfuncionales por cables mal conectados o canales mezclados en el transceptor; dichas fallas fueron identificadas y reparadas por Robinsson Marine Electronics (representante de Simrad en Perú), siendo posteriormente calibrados exitosamente.
- Con la subrutina “Calibration wizard” se obtuvo una calibración buena (<0.2 dB) y aceptable (RMS: 0.2 - 0.4 dB) en sistemas acústicos con defectos de fábrica (canales mezclados del transceptor); sin embargo, la vista del modelo polinomial de “Calibration.exe” permitió un correcto diagnóstico de los problemas de conexión entre el transceptor y transductor del sistema acústico.
- La actualización de los parámetros operativos del transceptor (GPT o WBT) en las ecosondas comerciales de la serie ES, permite generar datos crudos (.RAW) ya calibrados, que pueden ser útiles para las estimaciones de abundancia o biomasa de los recursos pesqueros.

6.2. Recomendaciones

- Se recomienda que para la calibración de las ecosondas comerciales Simrad ES60 y ES70, se utilice la subrutina Calibration.exe y para el diagnóstico del funcionamiento del sistema acústico el modelo polinomial del haz.

- Para calificar la validez de una calibración o diagnosticar el correcto funcionamiento del sistema acústico, no basta con observar un modelo de haz polinomial no distorsionado y error RMS de 0.2 - 0.4 dB, también es necesario que las diferencias entre las aberturas de haz (α_{-3dB} y β_{-3dB}) y los ángulos de compensación (α_o y β_o) obtenidos en la calibración sean insignificantes. Asimismo, estos valores no deben exceder ± 1 dB la ganancia (G_o) y $\pm 1^\circ$ la abertura del haz (α_{-3dB} y β_{-3dB}) nominales del sistema acústico.

- Antes de cada temporada de pesca se debe setear y calibrar las ecosondas comerciales Simrad de la serie ES (60, 70 y 80), para aprovechar las capacidades de estos equipos relacionadas a la precisión de las mediciones y la posibilidad de hacer estimaciones de la abundancia de los recursos pesqueros.

- Los capitanes, patrones, y pilotos de pesca al operar las ecosondas comerciales Simrad de la serie ES (60, 70 y 80), deben tener en cuenta los criterios descritos en la literatura científica.

VII. Referencias

7.1. Fuentes bibliográficas

- Bodholt, H. (2002). The effect of water temperature and salinity on echosounder measurements. ICES Symposium on Acoustics in Fisheries. Montpellier June 2002, presentation 123.
- Demer, D. A., and Renfree, J. S. (2008). Variations in echosounder –transducer performance with water temperature. *ICES Journal of Marine Science*, 65: 1021–1035.
- Demer, D.A., Berger, L., Bernasconi, M., Bethke, E., Boswell, K., Chu, D., Domokos, R., et al. (2015). Calibration of acoustic instruments. ICES Cooperative Research Report No. 326. 133 pp.-ff
- FAO. (2014). Informe Final de la Auditoria Técnica del Instituto del Mar del Perú. Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura. Roma, Italia, 57 pp.
- Foote K., Knudsen F., Kornleiusen R., Nordbo P., Roang K. (1991). Post-processing system for echosounder data. *J. Acoust. Soc. Am.*, 90 pp. 37-49.
- Foote, K. (1987). “Fish target strength for use in echo integration surveys”. *Journal of the Acoustical Society of America*, 82: 981-987.
- Foote, K., Knudsen, H., Vestnes, G., MacLennan, D. y Simmonds, E. (1987). Calibration of acoustic instruments for fish density estimation: a practical guide. *Int. Coun. Explor. Sea Coop. Res. Rep.* 144, 57pp.
- Francois, R. E., and Garrison, G. R. (1982a). Sound absorption based on ocean measurements. Part II: Boric acid contribution and equation for total absorption. *Journal of the Acoustical Society of America*, 72: 1879–1890.

- Francois, R. E., and Garrison, G. R. (1982b). Sound absorption based on ocean measurements: Part I: Pure water and magnesium sulfate contributions. *Journal of the Acoustical Society of America*, 72: 896–907.
- Furusawa, M. 1991. Effects of transducer motion on quantifying single fish echoes. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries (Japan)*. ISSN : 0021-5392.
- Gutiérrez, M. (2016). Asistencia técnica especializada en la ejecución del plan de crucero de evaluación acústica de recursos pelágicos 1605-06 en la región norte-centro. Informe final de la Consultoría SBS 27-2016-PRODUCE-DVPA, 27 de junio de 2016. 65 pp.
- Hampton, I. y Nelson, J.C. (2014). Acoustic estimates of the biomass in aggregations of southern blue whiting (*Micromesistius australis*) on Pukaki Rise (SBW6R) and Campbell Island Plateau (SBW6I) from a commercial vessel in September 2012. *New Zealand Fisheries Assessment Report 2014/23*. 28 pp.
- Hampton, I.; Soule, M.A. (2003). Acoustic survey of orange roughy biomass on the North East Chatham Rise, 9–22 July 2002. Ministry of Fisheries, Wellington, New Zealand. Deep Water Fisheries Assessment Working Group paper 03/02. 63 p.
- ICES. (2000). Report on echo trace classification. David G. Reid (Ed). Cooperative Research Report 239. International Council for the Exploration of the Sea (ICES). 115 pp.
- ICES. (2007). Cooperative Research Report 287. Collection of Acoustic Data from Fishing Vessels. William A. Karp(editor). 90 pp.
- IMARPE. (2015). Exploración acústica conjunta para evaluación de anchoveta 1510, Informe interno Instituto del Mar del Perú.

- IMARPE. (2016). Taller de calibración de ecosondas comerciales. Informe interno Instituto del Mar del Perú. 18 pp.
- IMARPE. (2016). Calibraciones, intercalibraciones y mediciones de ruido: Ecosonda Científica Simrad EK60 BIC José Olaya/ Ecosondas Simrad ES60 E/P cerco. Informe interno Instituto del Mar del Perú. 23 pp.
- Jech, J. M., Foote, K. G., Chu, D. Z., and Hufnagle, L. C. (2005). Comparing two 38-kHz scientific echosounders. *ICES Journal of Marine Science*, 62: 1168–1179.
- Keith, G. J.; Ryan, T. E.; Kloser, R. J. (2005). ES60Adjust.jar. Java software utility to remove a systematic error in Simrad ES60 data. CSIRO Marine and Atmospheric Research. Castray Esplanade, Hobart, Tasmania. Australia.
- Korneliussen, R. J., Diner, N., Ona, E., Berger, L., and Fernandes, P. G. (2008). Proposals for the collection of multifrequency acoustic data. *ICES Journal of Marine Science*, 65: 982–994.
- Lichte, H. (1919). «On the influence of horizontal temperature layers in sea water on the range of underwater sound signals». *Physik. Z.* 17 (385).
- Mackenzie, K. V. (1981). Nine-term equation for sound speed in the oceans. *Journal of the Acoustical Society of America*, 70: 807–812.
- MacLennan D. And Fernandez P. (2000). Definitions, Units and Symbols in Fisheries Acoustics. FAST-ICES Working Group Meeting. St. Johns Newfoundland, Canada, April 1999 (Mimeo). 6 pp.
- MacLennan, D. N., Fernandes, P. G., Dalen, J. 2002. A consistent approach to definitions and symbols in fisheries acoustics. *ICES J. Mar. Sci*, 59: 365–369.
- MacLennan, D. and Simmonds, J. (1992) “Fisheries Acoustics” Chapman & Hall. New York.

- Madureira L., I.Everson, E.Murphy. (1993). Interpretation of acoustic data at two frequencies to discriminate between Antarctic krill (*Euphausia superba* Dana) and other scatterers. *Journal of Plankton Research*, 15 pp, 782-807.
- Madirolas, A. 2023. Gabinete de Hidroacústica. [en línea]. [Fecha de búsqueda 27/05/2023]. Recuperado de: https://www.inidep.edu.ar/wordpress/?page_id=363
- Medwin, H., and Clay, C. S. (1998). *Fundamentals of Acoustical Oceanography*. Academic Press, Boston. 712 pp.
- Myriax. (2014). Echoview software, version 6.0.89. Myriax Software Pty. Ltd., GPO Box 1387, Hobart, Tasmania, Australia.
- O’Driscoll, R.L. (2011). Industry acoustic surveys of spawning southern blue whiting on the Bounty Platform and Pukaki Rise, 2004–09. *New Zealand Fisheries Assessment Report 2011/17*. 42 pp
- O’Driscoll, R.L. (2015). Acoustic biomass estimates of southern blue whiting on the Bounty. *New Zealand Fisheries Assessment Report 2015/02*. 28 pp
- O’Driscoll, R.L. (2017). Acoustic biomass estimates of southern blue whiting on the Bounty Plateau in 2017. *New Zealand Fisheries Assessment Report 2018/11*. 28 pp.
- O’Driscoll, R.L. (2013). Acoustic biomass estimates of southern blue whiting on the Bounty Platform in 2012. *New Zealand Fisheries Assessment Report 2013/4*. 26 pp.
- Ona, E., Barange, M. (1999). Single target recognition. In: Ona, E.(Ed.), *Methodology for Target Strength Measurements*, ICES Cooperative Research Reports No. 235, pp.
- Pauly D. & Tsukayama I. (1987). “The Peruvian anchoveta and its upwelling ecosystem: three decades of change”. *ICLARM Studies and Reviews* 15.

- Pedersen, G. (2007). Methodology for in situ target strength measurement of fish. PhD thesis. University of Bergen, Norway.
- Pike, J. M., and Beiboer, F. L. 1993. A comparison between algorithms for the speed of sound in seawater. The Hydrographic Society, Special Publication No. 34.
- Rayleigh, L. (1877). On Progressive Waves. pp. 21-26
- Romain, S., Dorn M., and Wespestad V. (2012). Results of Cooperative Research Acoustic Surveys of Walleye Pollock (*Theragra chalcogramma*) in the Western Gulf of Alaska from September 2007 to September 2011. NOAA Technical Memorandum NMFS-AFSC-238. U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE National Oceanic and Atmospheric Administration National Marine Fisheries Service Alaska Fisheries Science Center July 2012.
- Ryan, T. E., and Kloser, R. J. (2004). Quantification and correction of a systematic error in Simrad ES60 echosounders. In ICES FAST, Gdanck. Copy available from CSIRO Marine and Atmospheric Research, GPO Box 1538, Hobart, Australia.
- Simmonds J., Williamson J., Gerlotto F., y Aglen A. (1992). Acoustic survey design and analysis procedure: A comprehensive review of current practice. ICES Nro.187. 127 pp.
- Simmonds, E. J., and MacLennan, D. N. (2005). Fisheries Acoustics: Theory and Practice. Blackwell Publishing, Oxford. 437 pp.
- Simmonds, J.E. & Maclennan, D. N. (2005). Fisheries Acoustics. Chapman and Hall Books.
- Simrad. (2006). Manual del Operador de la Ecosonda Simrad ES60 Rev H. (2006). Kongsberg Maritime AS.
- Simrad. (2008). Simrad EK60 calibration. Description of implementation in ER60. Kongsberg Maritime AS. 5 pp.

- Simrad. (2012). Manual del Operador de la Ecosonda Científica Simrad EK60 Rev D. 2012. Kongsberg Maritime AS.
- Simrad. (2012). Manual del Operador de la Ecosonda Simrad ES70 Rev C. 2012. Kongsberg Maritime AS.
- Simrad. (2017). Manual del Operador de la Ecosonda Científica Simrad EK80 Release 1.11.x. Kongsberg Maritime AS.
- Takao, Y., M. Furusawa. (1996). Dual beam echointegration method for precise acoustic surveys, ICES Journal of Marine Science, 53 pp. 351-358.
- Tichy, F. E., Solli, H., and Klaveness, H. (2003). Non-linear effects in a 200-kHz sound beam and the consequences for target -strength measurement. ICES Journal of Marine Science, 60: 571–574.
- Urick, Robert J. (1983). Principles of Underwater Sound, 3rd Edition. New York. McGraw-Hill.