



FACULTAD DE INGENIERÍA

Memoria del proyecto para optar al Título de
Ingeniero Civil Oceánico

**“PROSPECCIÓN MARINA PARA ESTABLECIMIENTO DE
RUTA DE CABLE SUBMARINO DE FIBRA
ÓPTICA EN LA X REGIÓN DE LOS LAGOS, CHILE”**

Francisco José Cerda Rojo

Enero 2017

UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL OCEÁNICA
Valparaíso

**“Prospección marina para establecimiento de ruta de cable submarino de
fibra óptica en la X Región de Los Lagos, Chile”**

Francisco José Cerda Rojo

APROBACIÓN

COMISIÓN REVISORA	NOTA	FIRMA
Felipe Ríos Profesor guía	_____	_____
Patricio Winckler Docente	_____	_____
Felipe Caselli Docente	_____	_____

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL OCEÁNICO
VALPARAÍSO, CHILE
2017

DECLARACIÓN

Este trabajo, o alguna de sus partes, no ha sido presentado anteriormente en la Universidad de Valparaíso, institución universitaria chilena o extranjera u organismo de carácter estatal, para evaluación, comercialización u otros propósitos. Salvo las referencias citadas en el texto, confirmo que el contenido intelectual de este Proyecto de Título es resultado exclusivamente de mis esfuerzos personales.

La Universidad de Valparaíso reconoce expresamente la propiedad intelectual del autor sobre esta Memoria de Titulación. Sin embargo, en caso de ser sometida a evaluación para los propósitos de obtención del Título Profesional de Ingeniero Civil Oceánico, el autor renuncia a los derechos legales sobre la misma y los cede a la Universidad de Valparaíso, la que estará facultada para utilizarla con fines exclusivamente académicos.

Francisco Cerda Rojo
Alumno

Felipe Ríos Rodríguez
Profesor guía

AGRADECIMIENTOS

A mis padres Juan Francisco Cerda Solar y Luz María Rojo Cano, por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, su amistad, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, por los ejemplos de perseverancia y constancia que los caracterizan y que me han infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante. Sin duda han sido la guía y el camino para poder llegar a este punto de mi carrera, que con su dedicación y palabras de aliento nunca bajaron los brazos para que yo tampoco lo hiciera, aun cuando todo se complicaba. En mis 19 años como estudiante de básica, media y universitaria, les agradezco todo lo que me han entregado nunca olviden que este proyecto de título va dedicado 100% a ustedes... ¡¡Los Mejores padres que un hijo puede tener!!

“Escucha bien el consejo de quien sabe mucho, pero escucha sobre todo el consejo de quien te ama mucho”.

“Muchísimas gracias por darme el regalo de la vida y por su amor incondicional”.

“Un Padre vale más que mil maestros”.

A mis hermanos Cata y Fito que de alguna u otra manera son la razón por la cual me vi en este punto de mi vida, a puertas del título profesional tan anhelado. Hasta mi último minuto universitario fueron un punto clave para lograr el éxito. Nunca olvidaré esas sabias palabras “vuelve y lucha por tu nota”, ¡¡Gracias Totales!!

Nunca olviden que en el exterior crecemos, pero no es así para nosotros, ya que nos conocemos como siempre, conocemos nuestros corazones, compartimos nuestras bromas y secretos familiares y recordamos nuestras penas y alegrías, simplemente vivimos fuera del efecto del tiempo... Que viva nuestra unión, amistad y amor eterno, los quiero mucho mis hermanos.

A mis familiares que participaron directa o indirectamente en el trayecto de mi vida universitaria, gracias por sus consejos, ayuda, risas, conversaciones, celebraciones, despedidas y bienvenidas, aun cuando el camino de la unión familiar este todavía en pañales, siempre seguiré pensando que las palabras de mi Tío Jorge Rojo de querer vernos a todos reunidos llegará en un futuro no muy lejano. Los quiero mucho a todos.

“Gracias Familia Gamboa Rojo por simplemente estar”.

A mis grandes amigos Marco Saravia, José Gamboa y Pablo Federici por escoger seguir un camino juntos durante 4 años en la V región, sin duda fueron años extraordinarios que siempre se llevarán en la memoria. Nos apoyamos mutuamente en nuestra formación profesional y que hasta ahora, seguimos siendo amigos, sin duda mucho de lo que hoy existe, se ha logrado gracias a ustedes y su participación en amistad, cariño, locuras, fiestas y vivencias... Un gran abrazo.

A mis mejores amigos Bastián Guerra y Giuseppe Baeza, solo gracias por entregar lo tan simple de la vida... 16 años de amistad en diversión, risas, paseos, conversaciones, locuras y cariño, gracias por simplemente estar siempre y regalarme su amistad como primo político, sin duda aunque exista distancia en algún momento de la vida, todo siempre seguirá siendo igual, “nos destacamos en eso... un sentimiento lírical”.

Un agradecimiento especial para mi profesor guía Dr. Felipe Ríos, por su amistad, profesionalismo, su paciencia, por guiarme en cada paso y por su constante apoyo durante el desarrollo de este proyecto de título.

A la empresa Servicios y Equipos Marinos Ltda., por proporcionar y facilitar la materia y los datos utilizados en este proyecto de título, que sin ella la elaboración de esta memoria hubiera sido más difícil.

A mis profesores, que marcaron con sus enseñanzas el futuro de todos nosotros, hablo de Felipe Caselli, Mauricio Molina, Mauricio Reyes (entre otros) y especialmente a Patricio Winckler quien a pesar de no estar en el transcurso de mis años en la carrera, permitió junto a otros participantes que el proyecto Ingeniería Civil Oceánica se formara una realidad.

*“Nunca consideres
el estudio
como una obligación,
sino como una oportunidad
para penetrar
en el bello y maravilloso
mundo del saber.”*

Albert Einstein.

*“Lo que sabemos
es una gota de agua;
lo que ignoramos
es el océano.”*

Isaac Newton.

*“La felicidad te mantiene dulce,
los intentos te mantienen fuerte,
las penas te mantienen humano,
las caídas te mantienen humilde.”*

Albert Einstein.

*“Te diré algo que ya sabes.
En el mundo no todo es color de rosa,
es un lugar mezquino y feo
y por más fuerte que seas, la vida te pondrá de rodillas
y no te dejará levantar si es que la dejas.
Ni tú, ni yo, ni nadie, golpea tan fuerte como la vida.
Pero lo importante no son los golpes que das,
si no lo que eres capaz de soportar sin bajar los brazos.
Cuanto eres capaz de resistir, sin tirar la toalla.
Así es como se gana.
Si sabes cuánto vales, exige lo que te mereces.
Aguanta los golpes
y no comiences a señalar ni a él, ni a ella ni a nadie
porque no estas donde quieres estar.
Los cobardes hacen eso y tú no eres un cobarde,
Tu eres mejor que eso.”*

Rocky Balboa.

CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN	18
2. OBJETIVOS DE ESTUDIO	20
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	20
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
3. ANTECEDENTES DEL PROYECTO	21
3.1 UBICACIÓN DEL PROYECTO.....	21
3.2 CAMPAÑA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.....	23
3.3 ALCANCES.....	26
4. MARCO TEÓRICO	27
4.1 MEDICIÓN CON ECOSONDA MULTHAZ	27
4.2 MEDICIÓN CON ECOSONDA MONOHAZ.....	34
4.3 MEDICIÓN CON SONAR DE BARRIDO LATERAL.....	36
5. METODOLOGÍA	39
5.1 LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO MULTHAZ	39
5.2 LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO MONOHAZ	57
5.3 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO	60
5.4 LEVANTAMIENTO CON SONAR DE BARRIDO LATERAL.....	62
5.5 INSPECCIÓN SUBMARINA	66
5.6 SEDIMENTOS DE PLAYA	69
6. RESULTADOS	71
6.1 BATIMÉTRICOS MULTHAZ Y MONOHAZ.....	71
6.2 TOPOGRAFÍA – TOPOBATIMETRÍA MONOHAZ.....	76
6.3 SONAR DE BARRIDO LATERAL	81
6.4 FILMACIONES CON ROV.....	85
6.5 MUESTRAS DE PENETRACIÓN DE SEDIMENTOS	90
7. CONCLUSIONES	92
7.1 RUTA NORTE.....	92
7.2 SITIOS DE ATERRIZAJE DE LA RUTA NORTE.....	92
7.2.1 SITIO DE ATERRIZAJE DE CALBUCO.....	92
7.2.2 SITIO DE ATERRIZAJE DE LIAO	93

7.3	RECOMENDACIONES	94
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95
9.	ANEXO 1 - FOTOGRAFÍAS	97
9.1	FOTOGRAFÍAS GENERALES	97
9.2	FOTOGRAFÍAS DEL SISTEMA MULTHAZ	99
9.3	FOTOGRAFÍAS DEL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO	100
9.4	FOTOGRAFÍAS DEL LEVANTAMIENTO CON SONAR DE BARRIDO LATERAL	101
9.5	FOTOGRAFÍAS DE FILMACIONES SUBMARINAS CON ROV	103
10.	ANEXO 2 - SEDIMENTO DE PLAYA	106
10.1	SITIO DE ATERRIZAJE EN CALBUCO	106
10.2	SITIO DE ATERRIZAJE EN LIAO	107
11.	ANEXO 3 - DATOS DE VELOCIDAD DEL SONIDO	108
11.1	VELOCIDAD DEL SONIDO (PRUEBA DE PARCHE)	108
11.2	VELOCIDAD DEL SONIDO (CALBUCO)	110
11.3	VELOCIDAD DEL SONIDO (LIAO)	111
12.	ANEXO 4 - IMÁGENES BATIMÉTRICAS	114
12.1	BATIMETRÍA MONOHAZ ATERRIZAJE CALBUCO - LIAO	114
13.	ANEXO 5 - BLANCOS DETECTADOS CON SSS	115
13.1	BLANCOS EN SITIO DE ATERRIZAJE CALBUCO	115
13.2	BLANCOS EN SITIO DE ATERRIZAJE LIAO	118
14.	ANEXO 6 - OTRAS APLICACIONES DEL MULTHAZ	130
14.1	ACCIDENTE DEL C-212 AVIOCAR DE LA FACH	130
15.	ANEXO 7 - HISTORIA DE LOS CABLES SUBMARINOS	133
15.1	ERA TELEFÓNICA	133
15.2	FIBRA ÓPTICA	133
15.3	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA FIBRA ÓPTICA	136

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1-1 Área en que se desarrolló el estudio correspondiente a la Ruta Norte (Paso Golfo de Ancud, unión de las provincias Llanquihue y Chiloé, X Región de Los Lagos)..... 21

Figura 3.1-2: Sitio de aterrizaje Calbuco (Puerto Montt). 22

Figura 3.1-3: Sitio de aterrizaje Linao (Chiloé)..... 22

Figura 4.1-1: Imagen procesada con datos multihaz, cercano al sitio de aterrizaje de Linao.	28
Figura 4.1-2: Modelo digital de terreno en la isla Robinson Crusoe, Archipiélago de Juan Fernández.	29
Figura 4.1-3: Desembarco de Normandía registrado con equipo multihaz.	29
Figura 4.1-4: Sector de dragado localizado con batimetría multihaz (draga cortadora y de succión).	30
Figura 4.1-5: Detección de tubería submarina y modelo digital de terreno, cañón submarino.	30
Figura 4.1-6: Ecosonda multihaz utilizando una frecuencia de 180 KHz.	31
Figura 4.1-7: Carta Náutica de Paso Guar a Golfo de Ancud (veriles).	32
Figura 4.1-8: Carta Náutica de Paso Guar a Golfo de Ancud (sondas).	33
Figura 4.2-1: Esquema de medición de un ecosonda multihaz y monohaz.	35
Figura 4.3-1: Sonar de barrido lateral, marca Imagenex, modelo 878.	36
Figura 4.3-2: Esquema del funcionamiento del sonar de barrido lateral.	37
Figura 4.3-3: Imágenes del fondo marino – Batimetría (izquierda) vs Imagen rastreo de mosaico – sonar de barrido lateral (derecha).	37
Figura 4.3-4: Tipo de mosaico de un sonar de barrido lateral.	38
Figura 5.1-1: Área del levantamiento batimétrico con tecnología multihaz.	39
Figura 5.1-2: GPS diferencial con girocompás.	41
Figura 5.1-3: Bosquejo de un compensador de oleaje (sensor de movimiento).	41
Figura 5.1-4: Movimientos corregidos en una embarcación utilizando un sistema multihaz.	42
Figura 5.1-5: Soporte de acero y transductor instalados al costado de la embarcación.	42
Figura 5.1-6: Sensor de movimiento TSS DMS 05.	43
Figura 5.1-7: Sistema computacional y cableado dentro de la cabina de la embarcación.	43
Figura 5.1-8: Vista en planta y elevación de las distancias verticales y horizontales de los distintos sensores instalados.	44
Figura 5.1-9: Esquema de calibración de la prueba de latencia.	45
Figura 5.1-10: Esquema de la prueba de rolido.	46
Figura 5.1-11: Resultado gráfico de la desviación de rolido, cabezal de sonda 1.	46
Figura 5.1-12: Resultado gráfico de la desviación de rolido, cabezal de sonda 2.	47
Figura 5.1-13: Esquema de la calibración de guiñada.	48
Figura 5.1-14: Resultado gráfico de guiñada calculado, cabezal de sonda 1.	48
Figura 5.1-15: Resultado gráfico de guiñada calculado, cabezal de sonda 2.	49
Figura 5.1-16: Prueba de cabeceo o pitch.	49

Figura 5.1-17: Resultado gráfico de cabeceo calculado.	50
Figura 5.1-18: Etapa 1 - Edición de datos en Linao.....	55
Figura 5.1-19: Etapa 2 - Edición de los datos en base al barrido batimétrico (Linao).....	56
Figura 5.2-1: Área de levantamiento monohaz en Calbuco.	57
Figura 5.2-2: Área de levantamiento monohaz en Linao.	58
Figura 5.2-3: Imagen del proceso batimétrico monohaz (editor de haz simple).	59
Figura 5.3-1: Localización de las áreas de levantamiento topográfico en los sitios de aterrizaje de la Ruta Norte.....	60
Figura 5.4-1: Sonar de barrido lateral modelo <i>YellowFin</i>	64
Figura 5.4-2: Líneas de derrota del sonar de barrido lateral en Calbuco.	64
Figura 5.4-3: Líneas de derrota del sonar de barrido lateral en Linao.....	65
Figura 5.5-1: Localización del levantamiento realizado en Calbuco (sobre el eje del área prevista de tendido de cable, en Ruta Norte).....	66
Figura 5.5-2: Localización del levantamiento realizado en Linao (sobre el eje del área prevista de tendido de cable, en Ruta Norte).....	67
Figura 5.5-3: ROV y accesorios (umbilical, fuente de poder y caja de control); ROV sumergido.	68
Figura 5.6-1: Distribución espacial de las estaciones de muestreo en Calbuco.....	69
Figura 5.6-2: Distribución espacial de las estaciones de muestreo en Linao.	70
Figura 6.1-1: Resultado topo-batimétrico en Google Earth Pro.	72
Figura 6.1-2: Localización de pendiente en Ruta Norte (Calbuco - Linao).	72
Figura 6.1-3: Plano topo-batimétrico de la Ruta Norte (Calbuco - Linao), en formato CAD...	73
Figura 6.1-4: Imagen topo-batimétrica de la Ruta Norte (Calbuco - Linao).	74
Figura 6.1-5: Sitios de aterrizaje de Calbuco y Linao con equipo Multihaz.	75
Figura 6.2-1: Levantamiento topográfico en Calbuco.	76
Figura 6.2-2: Levantamiento topográfico en Linao.....	77
Figura 6.2-3: Plano topo-batimétrico monohaz del sitio de aterrizaje de Calbuco.....	79
Figura 6.2-4: Plano topo-batimétrico monohaz del sitio de aterrizaje de Linao.	80
Figura 6.3-1: Imagen del Mosaico acústico obtenido con sonar de barrido lateral en el sector de Calbuco.	83
Figura 6.3-2: Mosaico acústico obtenido con sonar de barrido lateral en el sector de Linao.	84
Figura 6.4-1: Imágenes Representativas Inspección Submarina en Calbuco.	87
Figura 6.4-2: Imágenes representativas inspección submarina en Linao.....	89
Figura 6.5-1: Penetración (cm) por estación de muestreo, en Calbuco (Ruta Norte).	91

Figura 6.5-2: Penetración (cm) por estación de muestreo, en Linao (Ruta Norte).	91
Figura 9.1-1: Vista General Calbuco.	97
Figura 9.1-2: Cursor de agua Calbuco – Vista playa Calbuco (sitio de aterrizaje).	97
Figura 9.1-3: Vista General Linao.	98
Figura 9.1-4: Vista Playa Linao (sitio de aterrizaje).	98
Figura 9.2-1: Embarcación usada para el levantamiento multihaz.	99
Figura 9.2-2: GPS instalado en la embarcación – Proceso de levantamiento.	99
Figura 9.3-1: Vista general de Topografía en Calbuco.	100
Figura 9.3-2: Topografía en Linao.	100
Figura 9.4-1: Embarcación usada para el levantamiento – Sonar de Barrido Lateral.	101
Figura 9.4-2: Preparativos de inmersión del instrumento.	101
Figura 9.4-3: Sonar de Barrido Lateral en Calbuco y Linao.	102
Figura 9.4-4: Levantamiento con Sonar de Barrido Lateral.	102
Figura 9.5-1: Levantamiento con ROV.	103
Figura 9.5-2: levantamiento con ROV – Filmaciones submarinas.	103
Figura 9.5-3: Inspección con ROV en sitio de aterrizaje Calbuco.	104
Figura 9.5-4: Inspección con ROV en sitio de aterrizaje Calbuco (2).	104
Figura 9.5-5: Inspección con ROV en sitio de aterrizaje Linao.	105
Figura 9.5-6: Inspección con ROV en sitio de aterrizaje Linao (2).	105
Figura 12.1-1: Batimetría monohaz en el sitio de aterrizaje de Calbuco.	114
Figura 12.1-2: Batimetría monohaz en el sitio de aterrizaje de Linao.	114
Figura 14.1-1: Avión FACH C-212 accidentado.	130
Figura 14.1-2: Plano batimétrico multihaz con anomalías en el lecho marino.	131
Figura 14.1-3: Imágenes adquiridas con filmaciones submarinas, equipo ROV SeaBotix. .	131
Figura 14.1-4: Esquema de elementos recuperados, no recuperados y elementos desaparecidos.	132
Figura 14.1-5: Restos del avión FACH C-212.	132
Figura 15.2-1: Sección del cable submarino TAT-8, primer cable óptico de fibra.	134
Figura 15.2-2: Mapa de cables submarinos de fibra óptica de comunicaciones en el mundo.	135

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.2-1: Información de tareas realizadas en la exploración marina.	23
Tabla 3.2-2: Equipos utilizados en la campaña julio-agosto 2014.....	24
Tabla 3.2-3: Softwares utilizados para adquisición y Procesamiento de datos.	25
Tabla 4.2-1: Diferencias entre un sistema monohaz y multihaz.	34
Tabla 5.1-1: Resultado de valores obtenidos en la Prueba de Parche (calibración).	51
Tabla 5.1-2: Coordenadas de Perfiles de Velocidad del Sonido Realizados.....	52
Tabla 5.3-1: Coordenadas de Perfiles de Velocidad del Sonido Realizados.....	61
Tabla 5.4-1: Área de levantamiento en la Ruta Norte.	62
Tabla 5.4-2: Parámetros de levantamiento con Sonar de barrido lateral.	63
Tabla 5.5-1: Plan de levantamiento de la inspección submarina con ROV en Ruta Norte. ...	68
Tabla 6.1-1: Pendiente del fondo marino en el área levantada con batimetría monohaz.	75
Tabla 6.2-1: Levantamiento topográfico de sitios de aterrizaje en la Ruta Norte.	76
Tabla 6.2-2: Descripción de sitios de aterrizaje en Ruta Norte.	78
Tabla 6.3-1: Resumen resultados Ruta Norte.....	82
Tabla 6.4-1: Resultados de la inspección en Calbuco, Ruta Norte.	86
Tabla 6.4-2: Resultados de la inspección en Linao, Ruta Norte.	88
Tabla 6.5-1: Descripción de sedimentos en los sitios de aterrizaje de la Ruta Norte.	90
Tabla 10.1-1: Penetración de sedimento de playa en sitio de aterrizaje Calbuco.	106
Tabla 10.2-1: Penetración de sedimento de playa en sitio de aterrizaje Linao.....	107
Tabla 11.1-1: Datos de profundidad y velocidad del sonido en área de prueba de parche.	108
Tabla 11.1-2: Datos de profundidad y velocidad del sonido en área de prueba de parche (2).	109
Tabla 11.2-1: Datos de profundidad y velocidad del sonido en área de Calbuco.....	110
Tabla 11.3-1: Datos de profundidad y velocidad del sonido en área de Linao.	111
Tabla 11.3-2: Datos de profundidad y velocidad del sonido en área de Linao (2).....	112
Tabla 11.3-3: Datos de profundidad y velocidad del sonido en área de Linao (3).....	113
Tabla 13.1-1: Blancos detectados en sitio de aterrizaje Calbuco.....	115
Tabla 13.2-1: Blancos detectados en sitio de aterrizaje Linao.	118
Tabla 15.3-1: Ventajas y desventajas generales de los cables de fibras ópticas.	136

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 4.2-1: Duración de levantamientos monohaz y multihaz según área barrida.....	35
Gráfica 5.1-1: Perfil de velocidad del sonido: “Prueba de Parche”.....	52
Gráfica 5.1-2: Perfil de velocidad del sonido: “Calbuco”.	53
Gráfica 5.1-3: Perfil de velocidad del sonido: “Linao”.....	53

RESUMEN

Actualmente la zona sur de Chile, en particular las islas ubicadas en la X Región de Los Lagos, posee una baja conectividad comunicacional en relación al continente, siendo la Provincia de Chiloé una de las más afectadas por esta problemática. A fin de extender la red de servicios de telefonía, internet y cable, la empresa Telefónica del Sur (TELSUR) realizó una serie de estudios exploratorios en el área comprendida entre las islas de Calbuco (Puerto Montt) y Linao (Chiloé), a fin de definir la ruta óptima para el tendido de un cable submarino de fibra óptica. En el presente estudio, se da cuenta de las exploraciones batimétricas, geofísicas y topográficas llevadas a cabo el año 2014 dentro del marco de este proyecto de conectividad, a lo largo del tramo mencionado y en los sitios de aterrizaje proyectados del cable.

Haciendo uso de sistemas de mapeo del fondo marino (batimetría multihaz, levantamiento con sonar de barrido lateral y filmaciones directas mediante vehículo submarino, ROV), topografía en playa y caracterización visual sedimentológica, se exploró un área total de 2.981 Hectáreas, registrándose una máxima profundidad de 340 m (al Este de Linao). Los resultados evidencian la ausencia de rasgos morfológicos u objetos de importancia sobre el fondo marino que pudiesen representar un obstáculo para el proyecto.

El levantamiento realizado aportó información que permite establecer que el tramo de estudio denominado Ruta Norte posee las condiciones apropiadas para el tendido del cable submarino de fibra óptica.

ABSTRACT

Currently, the southern area of Chile, specially those islands located in the X Region, face critical telecommunication and network problems, being the Chiloe Province one of the sectors most affected by poor quality of these services. In the framework of a project aimed at providing telecommunication and network services between the islands of Calbuco (Puerto Montt) and Linao (Chiloe), a marine survey was conducted in 2014 in order to identify local seabed conditions, allowing the optimal design of the cable route. This dissertation gives an account of the survey activities and results.

The marine survey included high-resolution multibeam bathymetry, side-scan sonar imagery, underwater imaging, topography and burial assessment at landing sites.

The results show that the sea bottom of the surveyed route as well as landing sites present no obstructions or hazards for the installation of the communication cable.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, una de las maneras de facilitar la telecomunicación a distancia es mediante cables submarinos de fibra óptica, cuyo mecanismo es el responsable de suministrar la transmisión de señales digitales portadoras de voz, datos, televisión, etc. con velocidades de transmisión de hasta 2,5 Gbit/s, lo que equivale a más de 30.000 canales telefónicos de 64 kbit/s (Nazamues Quenguan, 2009). Estos cables submarinos son utilizados para transmitir y receptor generalmente señales electromagnéticas, los cuales son colocados a partir de una ribera (inicio) o continente, posterior a ello cruza todo el fondo marino (ruta previamente analizada bajo valor oceanográfico) para llegar a otra ribera, isla o continente.

La isla de Chiloé es reconocida por ser una zona que posee una baja conectividad en telecomunicaciones con respecto al continente. La fibra óptica submarina es la industria responsable de casi la totalidad de las comunicaciones por internet y teléfono, por lo que de ahí radica la relevancia de esta tecnología. Uno de los objetivos de las compañías telefónicas del sur es mejorar la conectividad de la isla y la zona sur, para así garantizar un acceso sin interrupciones.

Por tal razón, en este proyecto de título se desarrolla un análisis de prospección del fondo marino desde la isla de Calbuco (Puerto Montt), hasta el sitio de Linao (Isla de Chiloé), cuyo objetivo es identificar la óptima ruta donde se instalaría un cable submarino de fibra óptica, para esto se realizó un reconocimiento y caracterización del fondo marino y de los sitios de aterrizaje¹ que tendría dicho cable. Por consiguiente, esto sería una alternativa para mejorar la comunicación vía teléfono e internet a una mayor velocidad y así poseer un Chile más conectado.

La primera fase requerida para el diseño de la ruta de tendido de cable submarino consiste en el desarrollo de un estudio de gabinete, el cual es llevado a cabo en base a información hidrográfica y geológica existente del área. Una vez concluida esta primera fase, es preciso diseñar una prospección del fondo marino a fin de poder llevar a cabo una caracterización completa de la ruta del tendido.

El diseño íntegro de la ruta óptima del tendido del cable submarino requiere de un conocimiento preciso y detallado de la geomorfología submarina. Entre las técnicas hidrográficas y geofísicas actualmente disponibles, se destacan la ecosonda multihaz, sonar de barrido lateral y filmaciones mediante vehículo operado remotamente, conocido como ROV (ICPC, UNEP, & UNEP-WCMC, 2009).

Tradicionalmente la medición de la profundidad del fondo marino es llevada a cabo empleando sonares acústicos en conjunto con equipos de navegación satelital; los sistemas

¹ Se define como sitio de aterrizaje a la zona donde se encuentra instalado algún elemento en particular en su inicio o fin. Calbuco es el primer sitio de aterrizaje del cable submarino, cuyo lugar será la apertura del estudio y emplazamiento, finalizando en el sitio de aterrizaje de Linao.

multihaz permiten una amplia cobertura de grandes extensiones del fondo marino, generando un mapeo preciso y de alta resolución (Sánchez Moreno, 2005).

A partir del sonar de barrido lateral se obtienen mosaicos acústicos del fondo marino, denominados sonogramas (ICPC, UNEP, & UNEP-WCMC, 2009). Estas imágenes son utilizadas para identificar zonas de roca, grava, arena, artefactos hechos por el hombre, naufragios, etc.

Por su parte, las filmaciones submarinas efectuadas con vehículo operado remotamente, entregan información complementaria con respecto a la batimetría multihaz y sonar de barrido lateral, otorgando un alto grado de colaboración en imágenes para la búsqueda y establecimiento de la ruta óptima de los cables submarinos (Dadson & Collet, 2005).

Para establecer una ruta e instalación de un cable mediante una prospección en el lecho oceánico, se debe identificar previamente las zonas de peligro para el cable, los sitios ecológicamente sensibles y los tipos de fondo marino (ICPC, UNEP, & UNEP-WCMC, 2009). La caracterización del lecho marino permite definir una ruta viable, eficiente y segura, además de evitar peligros en el futuro para el cable. Siempre que sea posible, se debe evitar las zonas de arrecife rocoso debido a las dificultades operacionales y la protección de los cables sobre sustratos duros (Science Applications International, 2000).

Estas exploraciones marinas también permiten identificar zonas de importancia ambiental que pueden no haber sido registrados previamente a partir de la información existente en el sector. Por otra parte, cuando los cables submarinos se instalan bajo el fondo marino, se realiza un análisis con perfiladores de subsuelo sísmicos, cuyo equipo permite obtener el espesor de los sedimentos debajo del lecho marino, así como los posibles riesgos naturales (Pickrill & Todd, 2003).

Finalmente, el orden cronológico de este proyecto de título es el siguiente: antecedentes del proyecto, marco teórico, desarrollo de los levantamientos bajo sus metodologías (multihaz, monohaz, topografía, sonar de barrido lateral, filmaciones submarinas y descripción de sedimentos de playas), resultados, conclusiones, referencias y anexos.

2. OBJETIVOS DE ESTUDIO

2.1 OBJETIVO GENERAL

El objetivo general del estudio consiste en determinar la viabilidad de una ruta submarina para la instalación de un cable submarino de fibra óptica, mediante un reconocimiento y caracterización del fondo marino y de los sitios de aterrizaje del cable (Calbuco y Linao).

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar la información adquirida a partir de una campaña de levantamiento hidrográfico-geofísico realizada durante los meses de agosto y julio 2014.
- Realizar una caracterización del fondo marino mediante los datos obtenidos a partir de batimetría multihaz.
- Realizar una descripción de los sitios de aterrizaje (Calbuco y Linao) mediante los datos topo-batimétricos y de sonar de barrido lateral.
- Describir de forma general los sedimentos de playa de los sitios de aterrizaje (Calbuco y Linao).
- Confeccionar un cuadro descriptivo con filmaciones submarinas de la ruta inspeccionada.

3. ANTECEDENTES DEL PROYECTO

3.1 UBICACIÓN DEL PROYECTO

El sitio del proyecto se localiza en la X región de Los Lagos, específicamente en el Golfo de Ancud, conectando las localidades de Calbuco (Puerto Montt) y Linao (Isla de Chiloé), unión de las provincias Llanquihue y Chiloé. La ruta de estudio predefinida (Figura 3.1-1) posee una distancia de 38 km y es denominada como Ruta Norte. Las coordenadas geográficas del sitio de aterrizaje de Calbuco (Figura 3.1-2) son 41°48'23.77" Sur, 73° 9'19.20" Oeste, y del sitio de aterrizaje de Linao (Figura 3.1-3) son 41°59'26.72" Sur, 73°30'14.90" Oeste.



Figura 3.1-1: Área en que se desarrolló el estudio correspondiente a la Ruta Norte (Paso Golfo de Ancud, unión de las provincias Llanquihue y Chiloé, X Región de Los Lagos).
Fuente: Elaboración Propia, utilizando Google Earth Pro.



Figura 3.1-2: Sitio de aterrizaje Calbuco (Puerto Montt).
Fuente: Elaboración propia, utilizando Google Earth Pro.



Figura 3.1-3: Sitio de aterrizaje Linao (Chiloé).
Fuente: Elaboración propia, utilizando Google Earth Pro.

3.2 CAMPAÑA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Durante los meses de julio y agosto del año 2014, se realizó una campaña de adquisición de datos por la empresa Servicios y Equipos Marinos Ltda., en adelante BENTOS, cuya información fue utilizada para este proyecto de título para determinar la viabilidad de una ruta de un cable submarino de fibra óptica.

La Tabla 3.2-1 presenta información referida a la campaña de recolección de datos en la ruta Calbuco – Linao, en adelante Ruta Norte.

Tabla 3.2-1: Información de tareas realizadas en la exploración marina.
Fuente: Elaboración Propia, utilizando MS Excel 2013.

TRABAJOS	TAREA	LOCALIZACIÓN ENSAYO	NÚMERO DE LÍNEAS MUESTRAS ENSAYOS	ANCHO CORREDOR (m)
TRABAJOS MARINOS	Batimetría Multihaz	5 m de profundidad hasta máxima profundidad	4 líneas (100% de cobertura).	500
	Batimetría Monohaz	Bajamar hasta los 5 m de profundidad	5 perfiles en Calbuco y 25 perfiles en Linao.	300
	Sonar de Barrido Lateral	5 m a 100 m de profundidad	8 líneas en Calbuco y 5 líneas en Linao (100% de cobertura).	300
	Inspección Submarina	Bajamar hasta 5 -10 m de profundidad	Línea central del corredor en video y fotografías. 2 sitios de aterrizaje.	100
TRABAJOS EN TIERRA	Topografía	Bajamar hasta 250 m hacia tierra	2 sitios de aterrizaje, 25 perfiles en cada uno.	100
	Penetración Suelo	Bajamar hasta 250 m hacia tierra	4 pruebas de penetración con barra de acero, en eje del corredor (máxima profundidad 2 m). Total: 8 ensayos. 2 sitios de aterrizaje.	100

Para el estudio desarrollado en la campaña, se debió utilizar equipos según área de trabajo. La Tabla 3.2-2 presenta los equipos utilizados en el proyecto.

Tabla 3.2-2: Equipos utilizados en la campaña julio-agosto 2014.
Fuente: Elaboración Propia, utilizando MS Excel 2013.

	ÍTEM	EQUIPOS UTILIZADOS
BATIMETRÍA	MULTIHAZ	Ecosonda multihaz, Elac, SeaBeam 1180, frecuencia 180 y 50 KHz.
		Sensor de movimientos, TSS, DMS 05.
		DGPS, Trimble, SPS 852.
		Perfilador de Velocidad del Sonido, Valeport, Mini SVP.
		Compas GPS, Hemisphere, VS111.
	MONOHAZ	GPS, Hemisphere, VS330.
		Ecosonda Monohaz, Syqwest., BATHY 500 MF (multifrecuencia), frecuencia 200 KHz.
TOPOGRAFÍA	TOPOGRAFÍA	GPS Geodésico, Trimble, R6-2, utilizado como equipo Base. Doble frecuencia.
		GPS Geodésico, Trimble, R8-2, utilizado como equipo Móvil. Doble frecuencia.
		Nivel topográfico, Topcon, AT G-6.
GEOFÍSICA MARINA	SONAR DE BARRIDO LATERAL	Sonar de barrido lateral, Imagenex Technology Corp., Yellowfin 872 (multifrecuencia), frecuencia 330 KHz.
		GPS Trimble modelo SPS-852.
		Cámara submarina, ROV Seabotix, LBV 150.

Los software utilizados en el procesamiento de los datos adquiridos en la campaña, se encuentran delimitados por área de estudio (Tabla 3.2-3).

Tabla 3.2-3: Softwares utilizados para adquisición y Procesamiento de datos.
Fuente: Elaboración Propia, utilizando MS Excel 2013.

ÁREA DE ESTUDIO	SOFTWARES UTILIZADOS PARA ADQUISICIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS
BATIMETRÍA MULTIHAZ	Software Hidrográfico Hypack 2013 y Hysweep 2013.
	Autocad Civil 3D 2012.
	Herramientas de Office.
BATIMETRÍA MONOHAZ	Software Hidrográfico Hypack 2013.
	Autocad Civil 3D 2012.
	Herramientas de Office.
TOPOGRAFÍA	Trimble Business Center.
	Autocad Civil 3D 2012.
SONAR DE BARRIDO LATERAL	Hypack (navegación).
	SonarWiz5.
INSPECCIÓN SUBMARINA	Hypack (navegación).
	ROV Seabotix.

3.3 ALCANCES

- La ruta de estudio fue predefinida en base al análisis de información batimétrica publicada en cartas náuticas del Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile, considerando también el mínimo trayecto desde Calbuco a Linao.
- El levantamiento multihaz se realizó desde los 5 m de profundidad costa afuera, resguardando así la integridad del ecosonda multihaz y embarcación utilizada.
- El levantamiento monohaz se realizó en profundidades menores a 5 m.
- Las filmaciones submarinas se realizaron sólo en los sectores someros debido a limitaciones de la fuente luminosa empleada por el vehículo submarino (ROV).
- No se incorpora al proyecto de título la descripción de las actividades asociadas al tendido del cable submarino y su instalación en el lecho marino y en los sitios de aterrizaje seleccionados.
- No se considera un estudio de corrientes, ya que en las profundidades en el trayecto Calbuco-Linao varían entre los 100 y 340 m aproximadamente, por lo que el efecto de las corrientes a estas profundidades no se considera relevante para el tendido de cable submarino. En los sitios de aterrizaje, el cable de fibra óptica es enterrado a partir del veril de los 10 m, aislándolo de la acción de las corrientes mareales y oleaje.

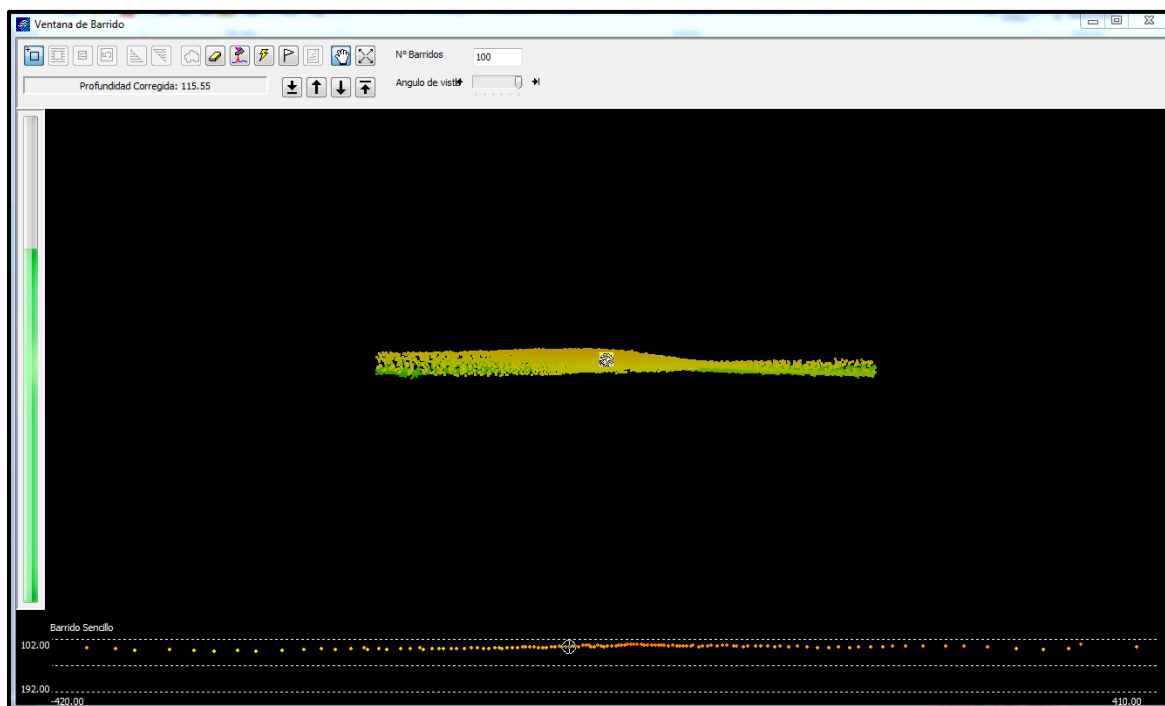
4. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presentan como revisión bibliográfica las técnicas o metodologías disponibles de medición submarina para localización de rutas óptimas para cables submarinos, utilizadas en este proyecto de título.

4.1 MEDICIÓN CON ECOSONDA MULTIHAZ

La exploración de los mares, en campos como la cartografía por ejemplo, ha inquietado desde siempre al ser humano. Las técnicas de orientación y la posibilidad de determinar con relativa exactitud la longitud y latitud nos proporcionaron la posición y tamaño de las grandes masas de agua del planeta, posibilitando la navegación segura. Sin embargo, sólo desde hace unas cuantas décadas, con el perfeccionamiento de las técnicas de exploración submarina, podemos establecer de una manera fiable y concisa la orografía y naturaleza de los fondos marinos.

Una de las técnicas más conocidas actualmente es la tecnología del ecosonda multihaz, el cual consiste en la emisión simultánea de cientos de haces acústicos en varias direcciones a una determinada frecuencia, cubriendo así una mayor zona y posibilitando la corrección de errores mediante la interpolación de los resultados obtenidos. Estos haces se direccionan en sentido perpendicular al avance de la embarcación, midiéndose la diferencia del tiempo existente entre la emisión del pulso acústico y el retorno del eco al sistema. En otras palabras, el funcionamiento del multihaz se realiza cuando se emite el pulso sónico que al rebotar en el lecho marino, transforma el tiempo de viaje de la señal en distancia (Organización Hidrográfica Internacional, 2005). La Figura 4.1-1 muestra una imagen procesada con datos multihaz utilizando el software hidrográfico Hypack, específicamente en la ventana de barrido, donde es posible corregir las profundidades y eliminar datos de mala calidad. Los datos utilizados en la Figura 4.1-1 corresponden a un tramo de batimetría realizado en la ruta del estudio, cercano al sitio de aterrizaje de Linao.



**Figura 4.1-1: Imagen procesada con datos multihaz, cercano al sitio de aterrizaje de Linao.
Fuente: Elaboración propia, utilizando software hidrográfico Hypack.**

Durante un levantamiento batimétrico multihaz, cada uno de los haces es corregido en tiempo real respecto de su posición geográfica, velocidad de propagación de la onda acústica en el agua y movimientos de la embarcación (rolido, guiñada, cabeceo y alteo).

El sondaje con ecosonda multihaz, como especifica el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA, 2011), es el método ideal que asegura obtener el 100% de cobertura del lecho marino. Para esta definición, se incorporan los levantamientos hidrográficos realizados en sitios marinos, tanto naturales como artificiales, que se desarrollen en terminales portuarios, fondeaderos, canales, dársenas, muelles, diques de alba, pilotes hincados, plataforma petroleras y otros.

Por otra parte, para los trabajos de instalación de cables submarinos se realizan estudios de factibilidad, los cuales se encuentran ligados a la definición de rutas óptimas, logística, tendido y reparaciones del cable de telecomunicaciones y poder. Para localizar la ruta óptima se desarrollan estudios de batimetría, cuyo fin corresponde a la obtención de profundidades en el sector de análisis para luego establecer los trayectos apropiados del tendido del cable, considerando que a menores profundidades los costos de instalación son menores. También la batimetría es utilizada para evitar pendientes abruptas, las cuales serían perjudiciales en el proceso de instalación.

- VENTAJAS, DESVENTAJAS Y APLICACIONES DEL ECOSONDA MULTIHAZ

Una de las ventajas más relevantes de un ecosonda multihaz es la gran cantidad de datos e información recogida, los cuales permiten cálculos mucho más precisos que se ajustan altamente a la realidad. Esto permite asegurar que, a diferencia de un ecosonda monohaz (emiten en una sola frecuencia), no existan zonas sin información (estas han de interpretarse mediante interpolaciones). Por otra parte, el tiempo necesario para cubrir el área de interés es también altamente menor que un monohaz.

La Figura 4.1-2 representa un modelo digital de terreno de la isla Robinson Crusoe. Este levantamiento batimétrico de alta precisión fue realizado el año 2009 por la empresa BENTOS. Cabe mencionar que existen otras aplicaciones que se pueden efectuar con esta tecnología, como la búsqueda o localización de naufragios (Figura 4.1-3).

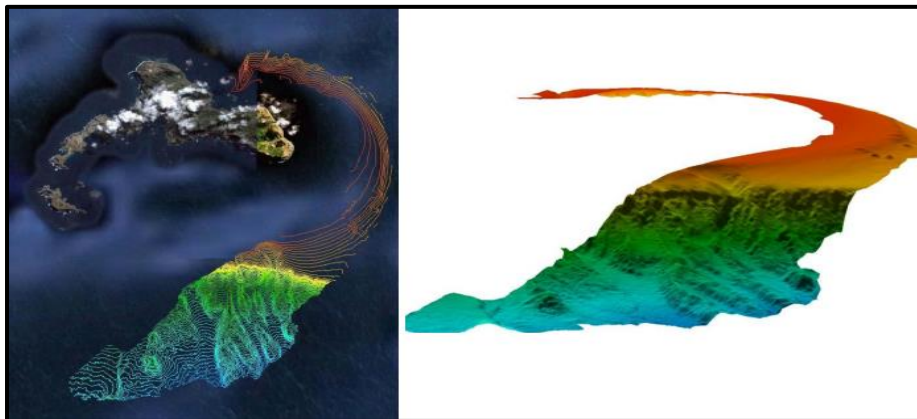


Figura 4.1-2: Modelo digital de terreno en la isla Robinson Crusoe, Archipiélago de Juan Fernández. Fuente: Gómez, 2009 (levantamiento efectuado en diciembre del año 2009 en la empresa BENTOS).

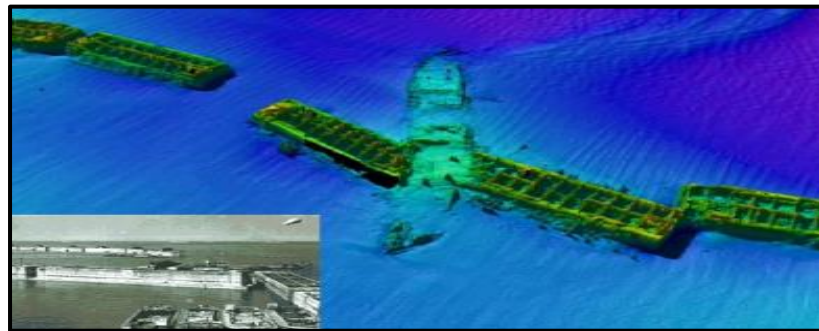
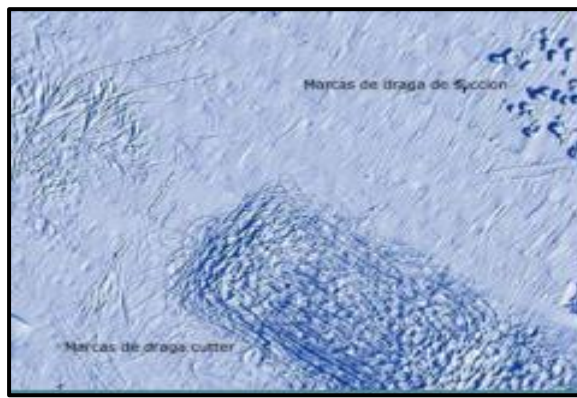


Figura 4.1-3: Desembarco de Normandía registrado con equipo multihaz. Fuente: Drassm, 2014 (Departamento de investigación arqueológico sub-acuático y submarino, localizado en Marsella, Francia).

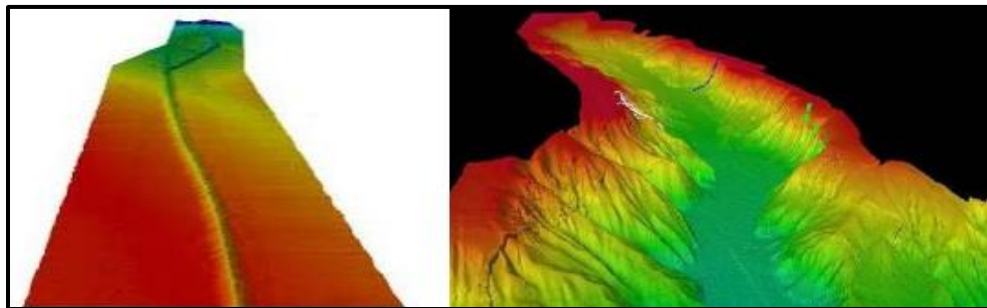
Otras aplicaciones que posee la tecnología multihaz:

- Detección de objetos sumergidos.
- Control de dragados.
- Trazado de tendidos.
- Búsqueda de naufragios, ubicación de naves aéreas siniestradas.
- Caracterización del hábitat bentónico.

Las Figuras 4.1-4 y 4.1-5 muestran un sector de dragado (marcas de draga cortadora y de succión) y detección de tuberías submarinas con un modelo digital de un cañón submarino, respectivamente.



**Figura 4.1-4: Sector de dragado localizado con batimetría multihaz (draga cortadora y de succión).
Fuente: (Comisión Interministerial de Estrategias Marinas, 2015).**



**Figura 4.1-5: Detección de tubería submarina y modelo digital de terreno, cañón submarino.
Fuente: (Agustin, X. Lurton, S. Dugelay, & C. Satra, 1996).**

La mayor desventaja que posee este instrumento corresponde a la profundidad mínima requerida, ya que este equipo para operar necesita por lo menos 5 m de profundidad para no colisionar con el fondo marino, donde también se debe considerar el calado de la embarcación. Por lo tanto, cuando no existe la profundidad adecuada para realizar el trabajo batimétrico multihaz, se utiliza un ecosonda monohaz.

Otra desventaja a considerar son los elevados costos de la batimetría multihaz, no sólo por el equipo que opera en la embarcación, si no por el post proceso que conlleva el procesamiento de los datos, los planos batimétricos e interpretación de ellos. No obstante, hoy en día se opta por realizar los levantamientos batimétricos mediante sistema multihaz en lugar de monohaz (siempre que los recursos lo permitan) ya que proporcionan una mayor cantidad de datos, con mayor precisión y en menor tiempo.

- FRECUENCIA DEL ECOSONDA MULTHAZ EMPLEADA EN EL ESTUDIO

El ecosonda multihaz empleado en la metodología expuesta (capítulo 5.1) en el estudio de prospección marina (Ruta Norte), posee una frecuencia de 180 KHz, con dos transductores que emiten 126 haces cada uno con separación de 1,5° entre sí, permitiendo una cobertura máxima de 153°. La profundidad máxima de registro es de 600 m.

La Figura 4.1-6 presenta un esquema de ecosonda multihaz con frecuencia de 180 KHz.

El ecosonda con frecuencia de 180 KHz indica que a una menor profundidad se obtendrá un mayor ancho de muestra. Por otra parte, a medida que aumente la profundidad, el largo total de cobertura que tendrá el haz del transductor será menor. La cobertura máxima es de 1000 m y va depender directamente de la profundidad.

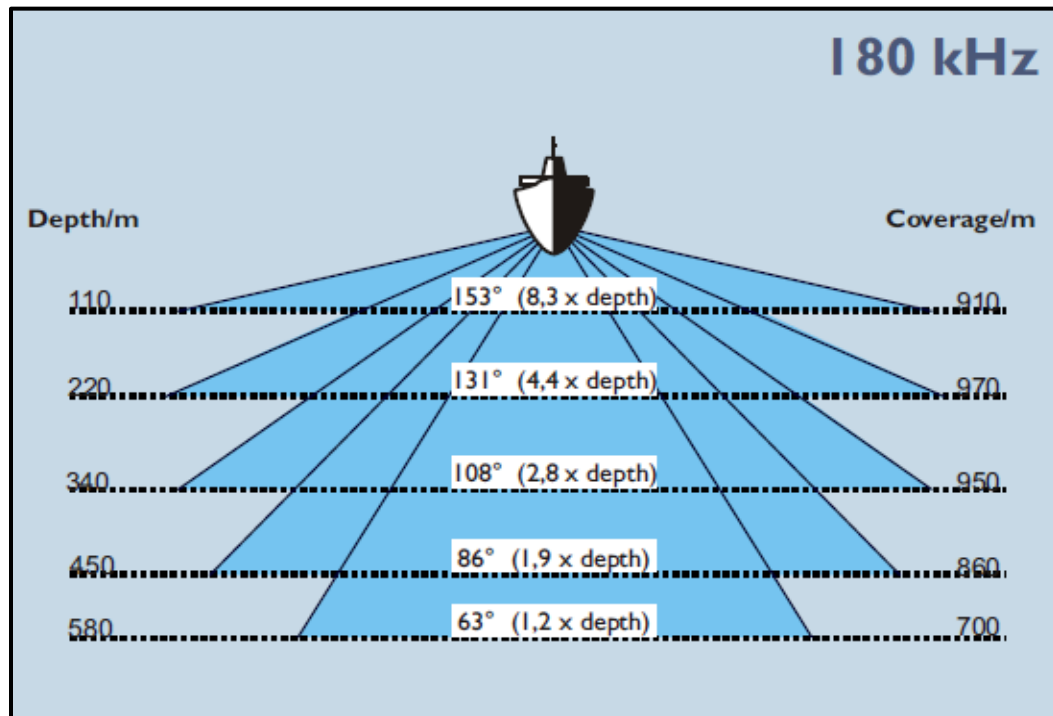


Figura 4.1-6: Ecosonda multihaz utilizando una frecuencia de 180 KHz.
Fuente: Brochure Elac SeaBeam 1180.

El criterio utilizado para definir la frecuencia empleada en los trabajos de batimetría en el sector de estudio, se definió según las profundidades promedio del sector extraídas de las cartas náuticas del SHOA que no superaron los 350 m. En general, para estos trabajos se requieren batimetrías de alta resolución, por lo tanto el siguiente criterio utilizado corresponde a la resolución del plano batimétrico, el cual es inversamente proporcional a la profundidad, ya que a mayor profundidad la resolución será menor y a menor profundidad la resolución será mayor, este último por poseer una menor distancia de superficie del nivel del mar hacia el fondo marino.

- **CARTAS NAÚTICAS**

En la Figura 4.1-7 se visualiza el tipo de carta náutica del SHOA considerada para el estudio, correspondiente al Paso Guar a Golfo de Ancud. En ella se aprecian los veriles de profundidad del mar, información recolectada por el SHOA. La Figura 4.1-8 presenta la misma carta náutica pero con las sondas del sitio.

La ruta predefinida fue esogida según las profundidades del sector de estudio, ya que se estableció una zona donde las profundidades fueran lo más bajas posibles en el trayecto más corto (Calbuco-Linao).

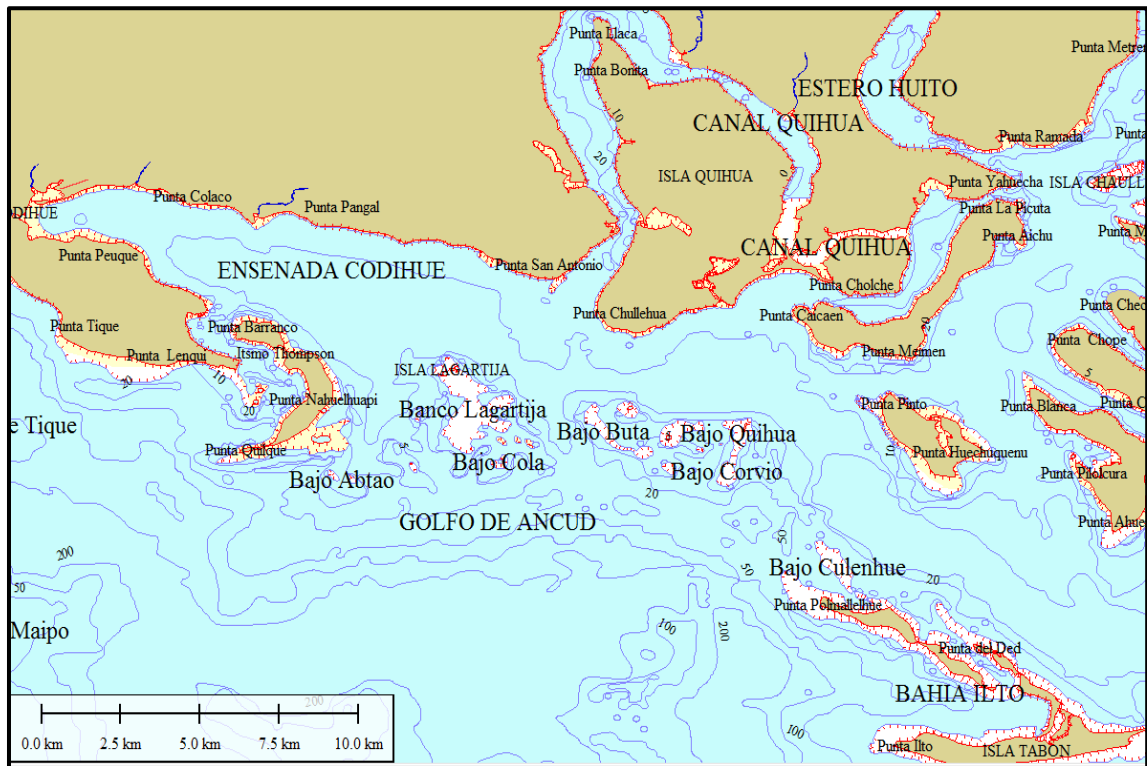
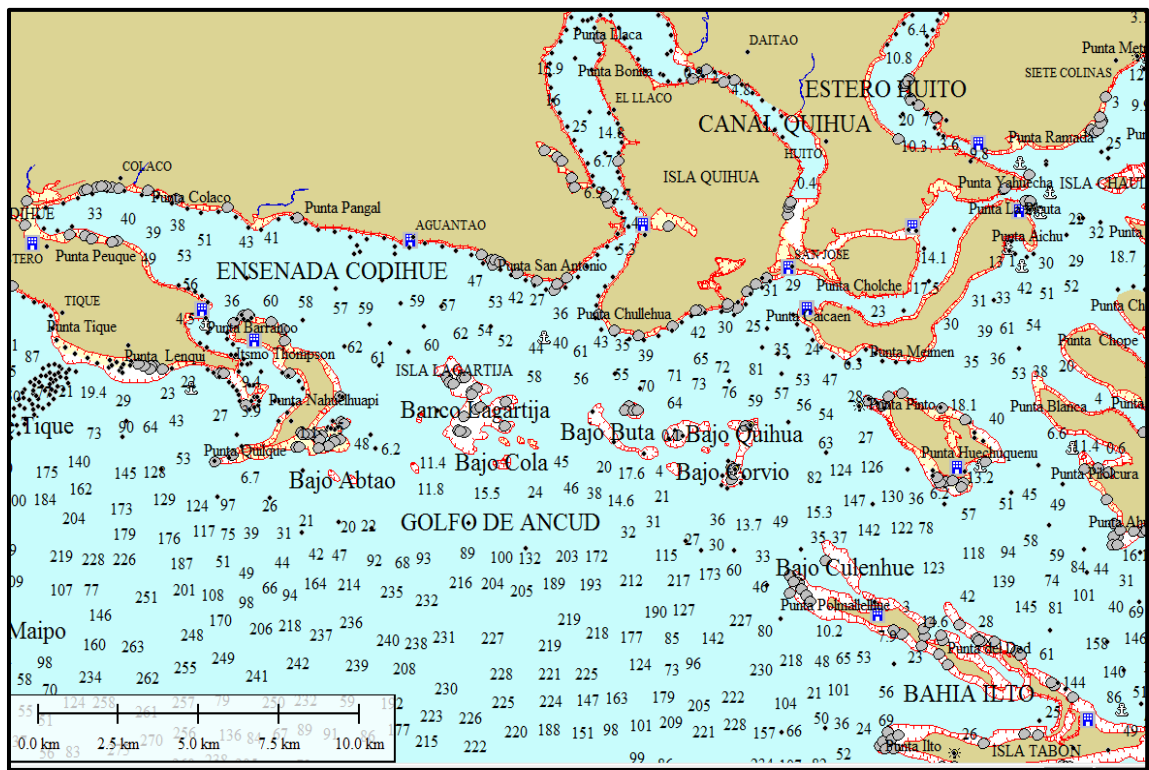


Figura 4.1-7: Carta Náutica de Paso Guar a Golfo de Ancud (veriles).
Fuente: SHOA, 2006.



**Figura 4.1-8: Carta Náutica de Paso Guar a Golfo de Ancud (sondas).
Fuente: SHOA, 2006.**

4.2 MEDICIÓN CON ECOSONDA MONOHAZ

El ecosonda Monohaz es un instrumento que se utiliza para obtener batimetrías que permiten identificar la profundidad en un punto específico y que corresponden a la distancia entre el nivel del mar y el fondo marino (se van registrando a medida que avanza la embarcación). El principio se basa en el tiempo que demora una onda sonora en ir desde un emisor a bordo hasta el fondo marino y su regreso al receptor, tiempo que posteriormente se convierte en distancia o profundidad (Drápela, 2008).

El ecosonda monohaz empleado en la metodología expuesta en el capítulo 5.2, posee una doble frecuencia de 50/200 KHz, cuyo haz corresponde a 9° (400 m de profundidad) y 3° (300 m de profundidad) respectivamente.

- DIFERENCIAS ENTRE UN ECOSONDA MONOHAZ Y MULTHAZ

Los contrastes de los sistemas monohaz y multihaz se presentan en la Tabla 4.2-1.

Tabla 4.2-1: Diferencias entre un sistema monohaz y multihaz.
Fuente: Elaboración propia, utilizando MS Excel 2013.

MONOHAZ	MULTHAZ
Se envía sólo una onda sonora angosta.	Se envían haces angostos de sonido hacia el fondo en forma de abanico.
Se obtiene una grilla irregular de datos XYZ.	Se obtiene una grilla regular de mayor densidad de datos XYZ.
Tiene sistema de corrección solo por velocidad de sonido.	Sistemas de corrección de movimientos (rolido, guiñada, cabeceo y alteo) y de velocidad del sonido.
Cubre dependiendo del espaciado de las líneas.	Cubrimiento de 100% de un sector.

La Figura 4.2-1 muestra la diferencia entre un ecosonda multihaz y monohaz, indicando el área que cubre cada instrumento de medición.

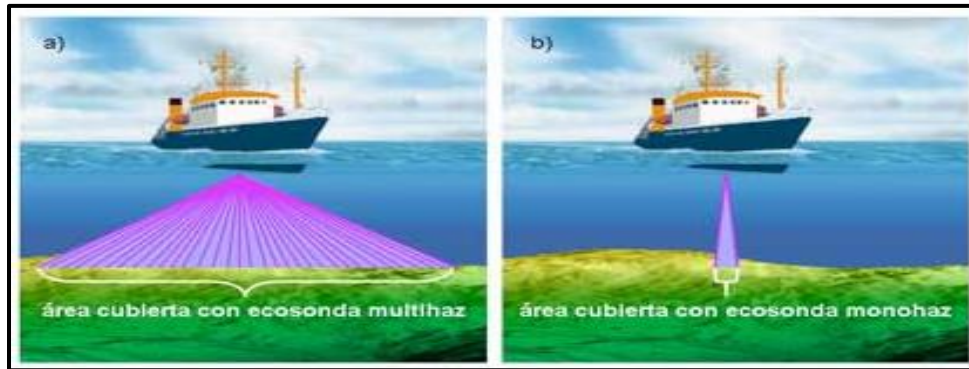
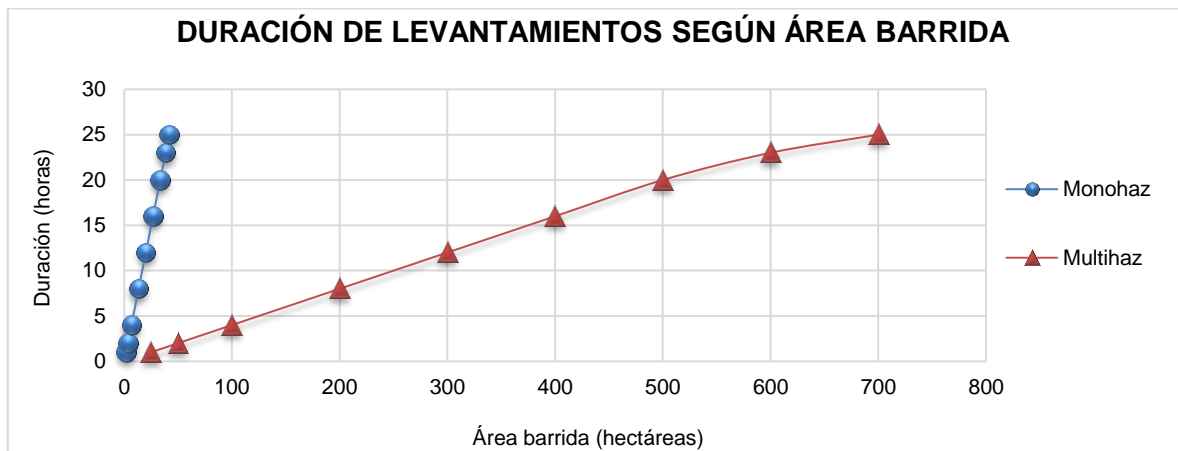


Figura 4.2-1: Esquema de medición de un ecosonda multihaz y monohaz.
Fuente: Vista al Mar, 2010.

A continuación en la Gráfica 4.2-1 se indican las duraciones de barrido de un sistema multihaz y monohaz, en función de las áreas de levantamiento realizadas en la ruta de estudio. Para un duración de barrido de 25 horas en la Ruta Norte, se obtuvo 700 Has de batimetría multihaz, en cambio para batimetría monohaz se alcanzó un total de 41,75 Has.



Gráfica 4.2-1: Duración de levantamientos monohaz y multihaz según área barrida.
Fuente: Elaboración propia, utilizando MS Excel 2013.

El criterio de selección entre un ecosonda multihaz o monohaz va depender directamente del tipo de trabajo a realizar, los costos de utilizar una metodología o la otra, y si se necesita 100% de cobertura del fondo. Para este proyecto de título se realizaron los dos tipos de levantamiento batimétrico. La batimetría multihaz fue realizada a lo largo de la Ruta Norte, donde se encontraron profundidades mayores a los sitios de aterrizaje de Calbuco y Linao, y en las zonas cercanas a la costa, se utilizó un ecosonda monohaz debido a la baja profundidad que existe.

4.3 MEDICIÓN CON SONAR DE BARRIDO LATERAL

El sonar de barrido lateral o su sigla en inglés “Side Scan Sonar (SSS)” es una técnica que se basa en la emisión de un pulso acústico de alta frecuencia, el cual se propaga en la columna de agua en forma perpendicular a la trayectoria de la embarcación (GEO Networks Limited, 2011).

Una vez que el pulso acústico es reflejado desde el fondo marino, el sonar recibe esta señal, la procesa y despliega como imagen acústica. Este sonograma representa la reflectividad del fondo marino y es dependiente de la rugosidad, naturaleza sedimentaria y relieve del fondo marino (GZA , 2008).

La proyección de “sombras acústicas” en los datos, es un aspecto importante que permite reconocer la existencia de estructuras sobre el fondo marino, como por ejemplo afloramientos rocosos (USDOI, 2012) o elementos conspicuos que perjudiquen la instalación de un cable en el suelo del mar.

Para el establecimiento de una ruta óptima, el sonar de barrido lateral es utilizado para realizar descripciones del fondo marino donde será tendido el cable (tipo de fondo), y a su vez los mosaicos generados en post proceso, indicarán si existen elementos conspicuos (rocas de gran tamaño) que impidan realizar una instalación exitosa.

La Figura 4.3-1 presenta un tipo de sonar de barrido lateral marca Imagenex. Este posee aplicaciones para la arqueología subacuática, recuperación de la madera sumergida, búsqueda, recuperación y topografía marina.



**Figura 4.3-1: Sonar de barrido lateral, marca Imagenex, modelo 878.
Fuente: Sitio Web www.imagenex.com.**

El esquema de funcionamiento indicado en la Figura 4.3-2, muestra cómo el instrumento realiza el barrido en forma de abanico, donde se visualiza en tiempo real (pantalla de barrido lateral) las características que posee el fondo marino, según sus relieves o estructuras que pueden ir apareciendo (según sector analizado), donde también es posible el cálculo de

longitudes de ciertos elementos a través de las sombras acústicas que se logran obtener con las imágenes muestreadas (Chang, Hsu, & Tsai, 2010).

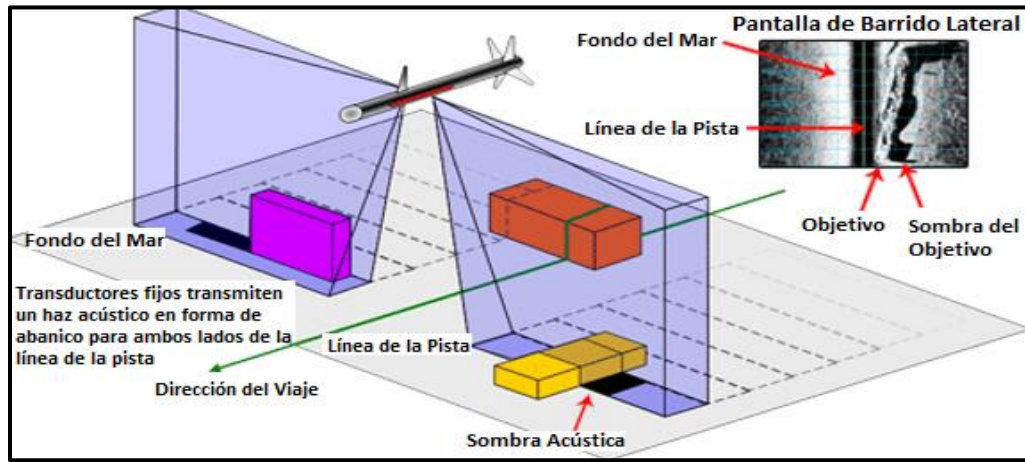


Figura 4.3-2: Esquema del funcionamiento del sonar de barrido lateral.
Fuente: Side Scan Sonar, modificado. South West Coastal Group (sitio web).

La Figura 4.3-3 indica la diferencia que existe entre una imagen de fondo marino con levantamiento multihaz (izquierda) y el mosaico que genera el sonar de barrido lateral en el mismo sitio de estudio (derecha). Se visualiza en forma detallada las sombras acústicas que generó el sonar en las zonas de relieve montañoso y en algunos casos arenosos.

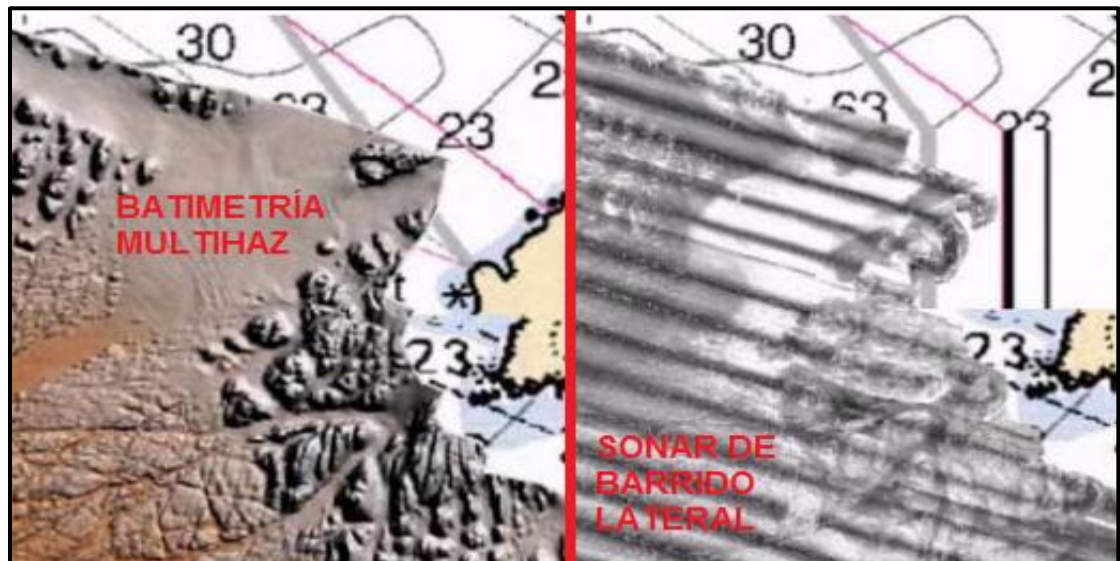


Figura 4.3-3: Imágenes del fondo marino – Batimetría (izquierda) vs Imagen rastreada de mosaico – sonar de barrido lateral (derecha).

Fuente: Lawrence, Ralph, Knebel, & Persuad, 1999.

La Figura 4.3-4 presenta un tipo de mosaico generado con un sonar de barrido lateral en un sitio donde se había realizado una batimetría; se visualizan los veriles expresados en la leyenda como contornos (-20, -50 y -100 m). En la zona Norte se logra identificar la reflectividad del fondo marino, su rugosidad y el relieve sedimentario. Cabe resaltar que con este tipo de mosaicos se justifica realizar una inspección submarina mediante filmaciones subacuáticas para así complementar la información y lograr un producto acorde a las exigencias de un proyecto. Por otra parte, las batimetrías, tanto monohaz como multihaz (dependiendo del sector de estudio) logran perfeccionar la visualización del mosaico del sonar, ya que incorpora un plus a la hora de identificar blancos o elementos conspicuos sobre el lecho marino.

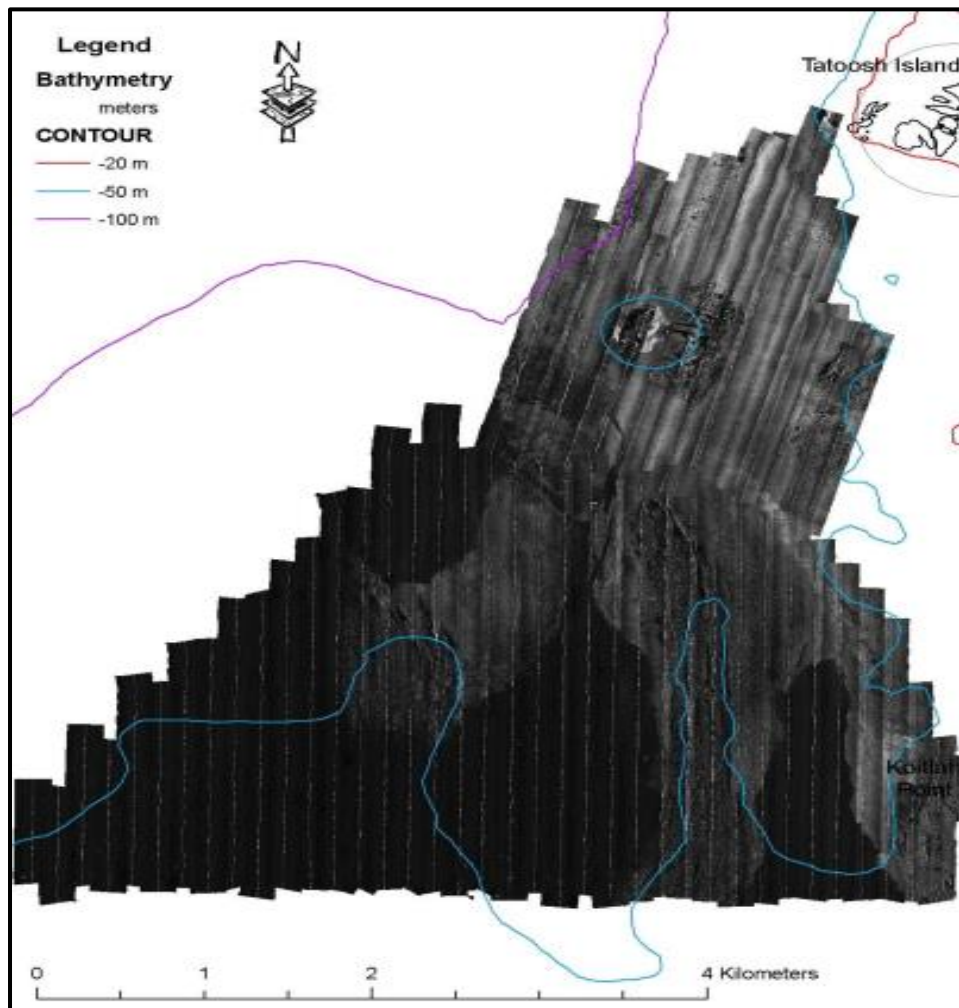


Figura 4.3-4: Tipo de mosaico de un sonar de barrido lateral.
Fuente: National Oceanic and Atmospheric Administration, 2006.

5. METODOLOGÍA

5.1 LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO MULTHAZ

El levantamiento batimétrico realizado con el equipo multihaz (ecosonda, sensor de movimiento, DGPS, SVP y compás GPS), se efectuó entre los sectores de Calbuco y Linao (Golfo de Ancud), correspondiendo a una franja de 37 km de largo por 0,5 km de ancho.

La Figura 5.1-1 presenta el emplazamiento general donde se realizó el estudio y análisis de la batimetría multihaz desde Calbuco a Linao, utilizando una embarcación de propiedad de la empresa BENTOS (casco de fibra de vidrio con 12,81 m de eslora y 4,42 m de manga).

En particular para los trabajos de tendido de cables submarinos se busca escoger una ruta lo más estable posible con pendientes moderadas, sin obstrucciones importantes como rocas de gran tamaño, naufragios, etc. En conclusión, se predefine esta ruta ya que según lo explicado anteriormente, también se busca recorrer la distancia más corta posible, debido a los altos costos que implica este tipo de trabajos.



**Figura 5.1-1: Área del levantamiento batimétrico con tecnología multihaz.
Fuente: Elaboración propia, utilizando Google Earth Pro.**

- SISTEMA MULTHAZ

La batimetría es el conjunto de técnicas para la medición de las profundidades del mar o también descrito como las medidas de las profundidades oceánicas. Este ecosonda multihaz o multibeam consiste en la emisión de cientos de haces acústicos de manera simultánea, todos en sentido perpendicular al avance de la embarcación. El dato, medida oceánica o profundidad se da a través de la diferencia del tiempo existente entre la emisión del pulso acústico y el retorno del eco al sistema. Este instrumento trabaja realizando las correcciones en tiempo real, es decir recibe la data en forma simultánea, la cual es visualizada en el software Hidrográfico (Hypack) para posteriormente en post proceso confeccionar una representación detallada de la topografía del fondo marino (Modelo Digital de Terreno).

Las correcciones en tiempo real realizadas son:

1. Posición geográfica mediante el Sistema de Posicionamiento Global Diferencial (DGPS).
2. Velocidad de propagación de sonido o de la onda acústica en el agua.
3. Movimientos de la embarcación (rolido, guiñada, cabeceo y alteo).

- INSTALACIÓN DEL SISTEMA MULTHAZ

En la campaña de adquisición de datos se realizó la instalación de todo el instrumental (sistema multihaz) en la embarcación de la propiedad de la empresa BENTOS.

Los componentes del sistema multihaz son:

- Transductores de 180 KHz: Elementos que emiten y reciben los haces.
- Una unidad de proceso: Parte encargada de generar y procesar los haces.
- Software que procesa la información entregada por el multihaz.

Los componentes externos del sistema multihaz son:

- GPS (entrega la posición al sistema), permite tomar la posición del barco con una precisión centimétrica (Figura 5.1-2).
- Sensor de movimiento (Figura 5.1-3 y Figura 5.1-4), utilizado para eliminar los errores de altura de ola (error vertical) o los de la posición debido a los movimientos laterales del barco (rolido, guiñada, cabeceo y alteo).
- Perfilador de velocidad del sonido (SVP), el cual se utiliza para la calibración de la medición batimétrica.
- Compas (entrega el rumbo preciso).

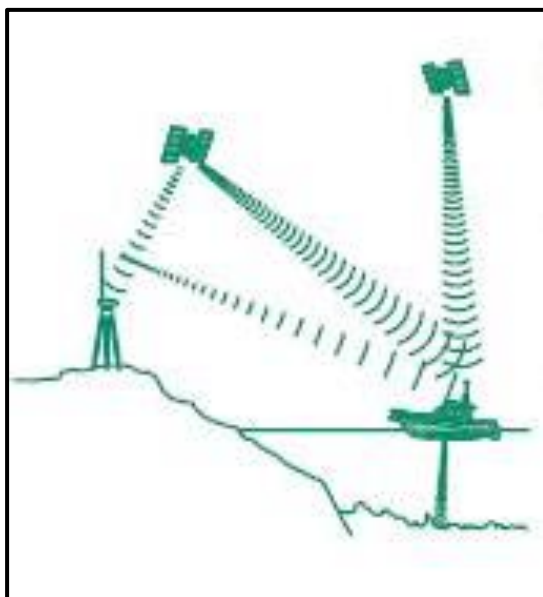


Figura 5.1-2: GPS diferencial con girocompás.
Fuente: Tello, 2010.

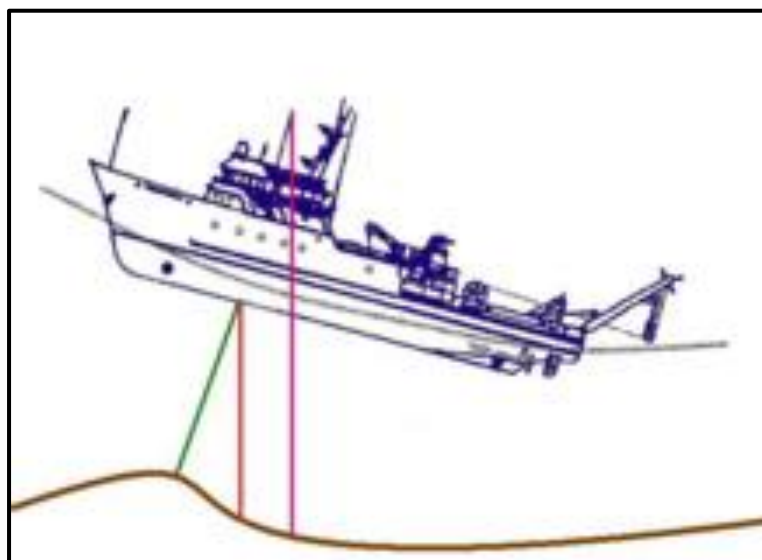


Figura 5.1-3: Bosquejo de un compensador de oleaje (sensor de movimiento).
Fuente: Elaboración Propia.

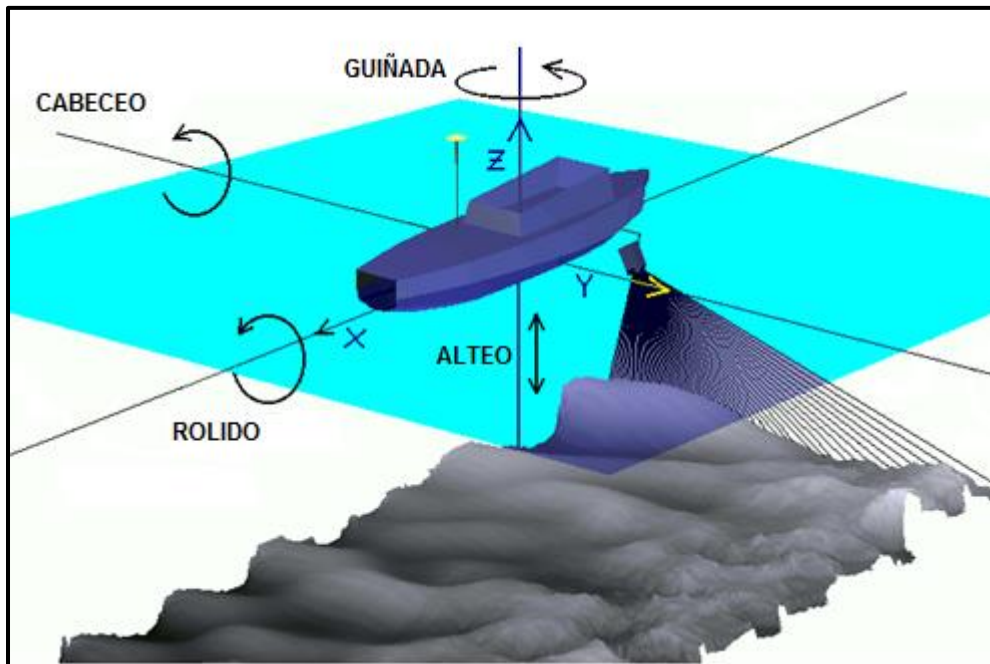


Figura 5.1-4: Movimientos corregidos en una embarcación utilizando un sistema multihaz.
Fuente: Elaboración Propia.

Para la instalación de los transductores de 180 kHz del SeaBeam, se utilizó un soporte de acero fijado en la proa de la embarcación (Figura 5.1-5), quedando sumergido a una profundidad de 1,28 m, distancia que fue calculada para que el transductor quede bajo el nivel del mar independiente del movimiento que realice la embarcación. También se incorporó en el soporte de acero una sonda de velocidad del sonido (SVP, *Sound Velocity Profiler*), con el fin de proveer datos de SVP en tiempo real al ecosonda.



Figura 5.1-5: Soporte de acero y transductor instalados al costado de la embarcación.
Fuente: Elaboración Propia, utilizando cámara digital Sony.

Para el posicionamiento geográfico, se instaló una antena DGPS (*Trimble SPS 852*) sobre el mástil de la embarcación y las dos antenas del sensor de rumbo (*Hemisphere Vector VS111*) quedando sobre la línea de cruzía.

Luego, se instaló un sensor de movimiento R2Sonic (Modelo *TSS DMS 05*) en la proa de la embarcación, cercano al transductor, directamente sobre la línea de cruzía (Figura 5.1-6).



Figura 5.1-6: Sensor de movimiento TSS DMS 05.
Fuente: Elaboración Propia, utilizando cámara digital Sony.

Dentro de la superestructura o cabina de la embarcación se instaló todo el sistema computacional (Figura 5.1-7), cuyos elementos son los que realizan el control de la medición del transductor, sistema de navegación, sensores de rumbo y GPS. Adicionalmente, se conectó al puente un monitor para el control de la navegación. Dado el movimiento propio de la embarcación, todos los elementos fueron fijados y asegurados a los muebles de la sala de trabajo.

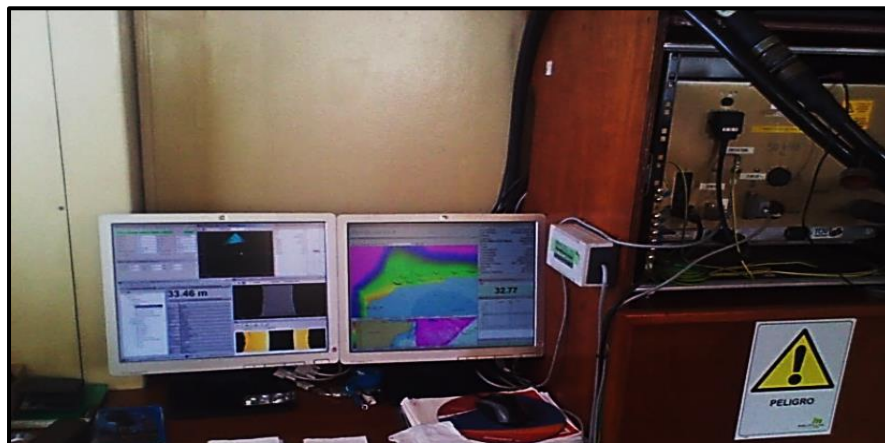


Figura 5.1-7: Sistema computacional y cableado dentro de la cabina de la embarcación.
Fuente: Elaboración Propia, utilizando cámara digital Sony.

Previo al inicio de los trabajos de levantamiento, se efectuó una prueba de funcionamiento independiente de todos los elementos del sistema. Posteriormente, se realizó otra prueba con todos los elementos del sistema conectados, para verificar la correcta coordinación temporal, integración mecánica, eléctrica e informática de ellos.

Una vez instalados todos los elementos o instrumentos del sistema multihaz, se configuró el software. En primera instancia, esto se realiza con un levantamiento de la posición de los componentes, donde se registran o se miden las distancias verticales y horizontales con respecto al punto de referencia del sistema, correspondiente al sensor de movimiento. Las distancias calculadas fueron ingresadas al software hidrográfico Hypack, permitiendo el cálculo de la posición real de cada sonda (Figura 5.1-8).

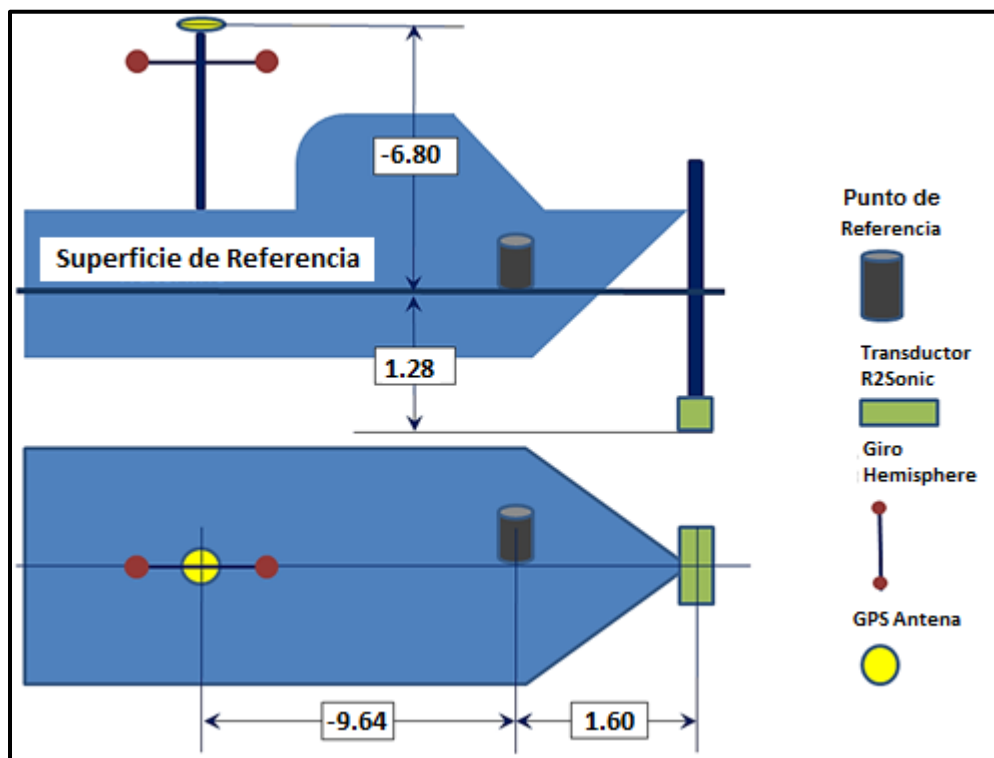


Figura 5.1-8: Vista en planta y elevación de las distancias verticales y horizontales de los distintos sensores instalados.

Fuente: Elaboración Propia, utilizando Software Hypack.

▪ CALIBRACIÓN

El proceso de calibración se denomina “Prueba de Parche”, que se efectúa para corregir los desvíos propios del montaje del sistema en la embarcación. Esta calibración se realiza antes de comenzar las mediciones y cada vez que se detectan nuevos movimientos del transductor. Los elementos que se consideran para este proceso son los siguientes:

- ✓ Prueba de latencia (demora de recepción de los datos de posición desde el GPS).
- ✓ Calibración de rolido o balanceo (inclinación lateral).
- ✓ Calibración guiñada (desvío del transductor respecto al eje de crujía o rumbo).
- ✓ Calibración de cabeceo (inclinación proa popa).

1. PRUEBA DE LATENCIA

La prueba de latencia consiste en navegar de manera perpendicular a una pendiente cualquiera (en lo posible del mismo sector de análisis), dos veces en una misma dirección, pero a velocidades distintas. Esta prueba permite conocer y corregir el desfase de posicionamiento producto del tiempo interno de proceso del GPS. La Figura 5.1-9 presenta un esquema de una embarcación navegando a distintas velocidades (4 y 8 nudos).

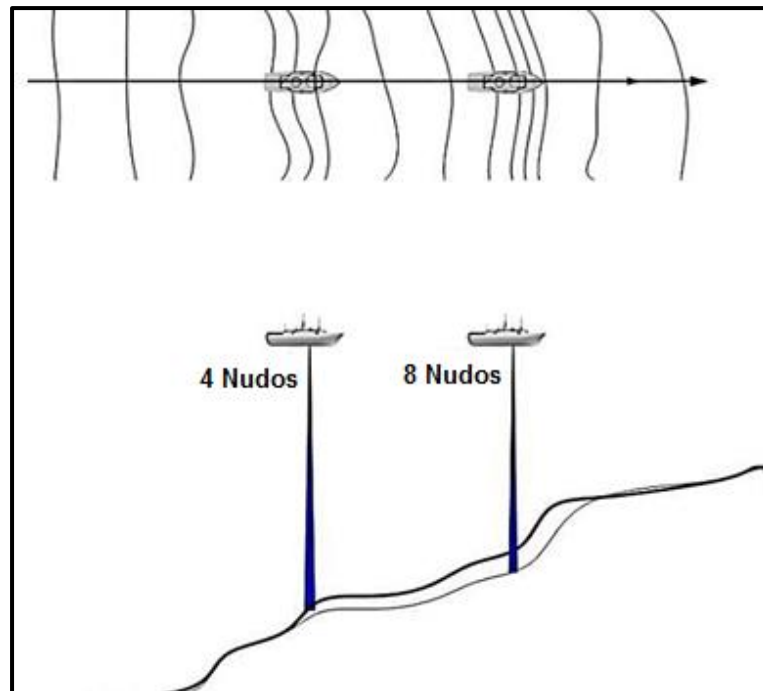


Figura 5.1-9: Esquema de calibración de la prueba de latencia.
Fuente: Elaboración propia.

2. CALIBRACIÓN DE ROLIDO

La desviación de rolido o balanceo se corrigió luego de haber navegado en forma recíproca, pero al contrario de la prueba de latencia, esta se realiza sobre un fondo plano, es decir, sin pendiente. Un ejemplo de prueba de rolido se visualiza en la Figura 5.1-10.

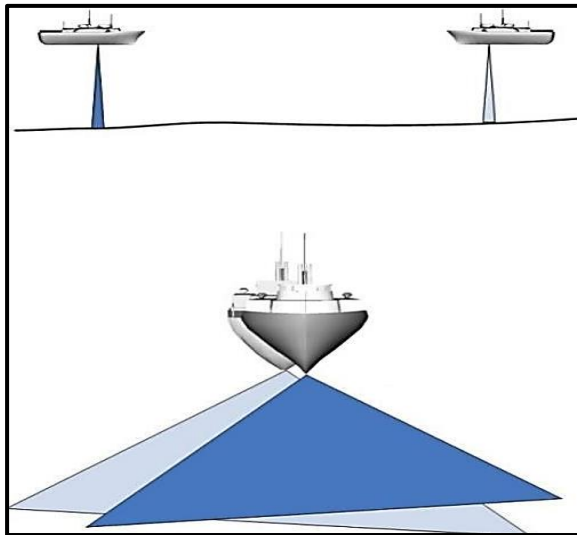


Figura 5.1-10: Esquema de la prueba de rolido.
Fuente: Elaboración propia.

Luego automáticamente se calculan los parámetros de corrección para la calibración de rolido (balanceo) en el software Hidrográfico Hypack, resultando los gráficos que se presentan en las Figuras 5.1-11 y 5.1-12.

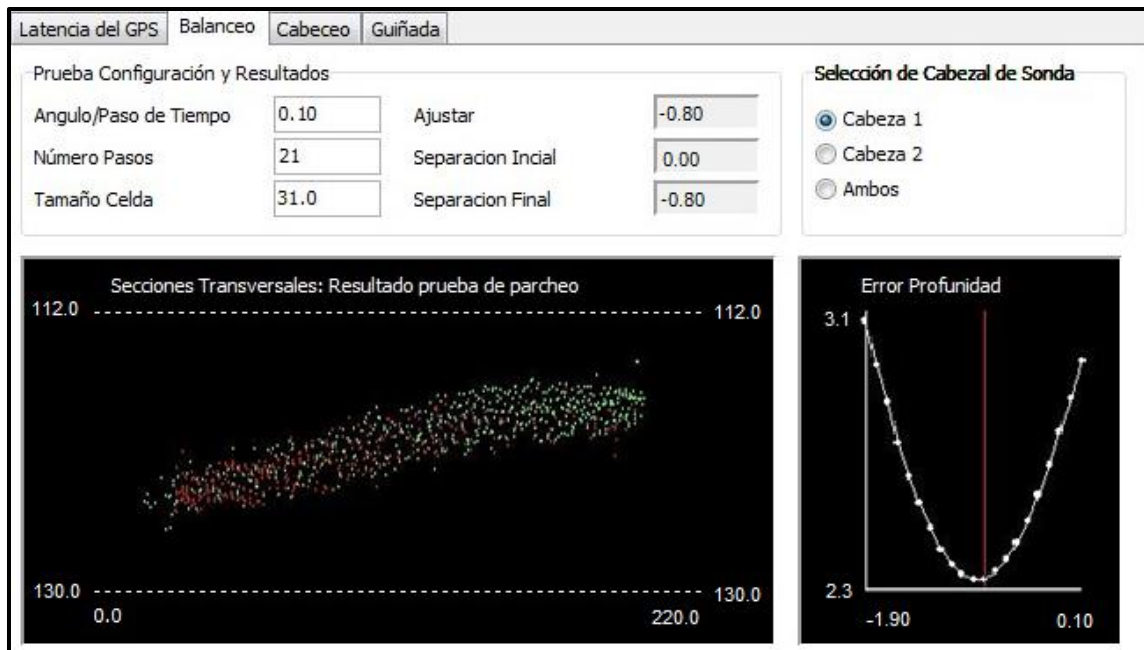


Figura 5.1-11: Resultado gráfico de la desviación de rolido, cabezal de sonda 1.
Fuente: Software Hidrográfico Hypack.

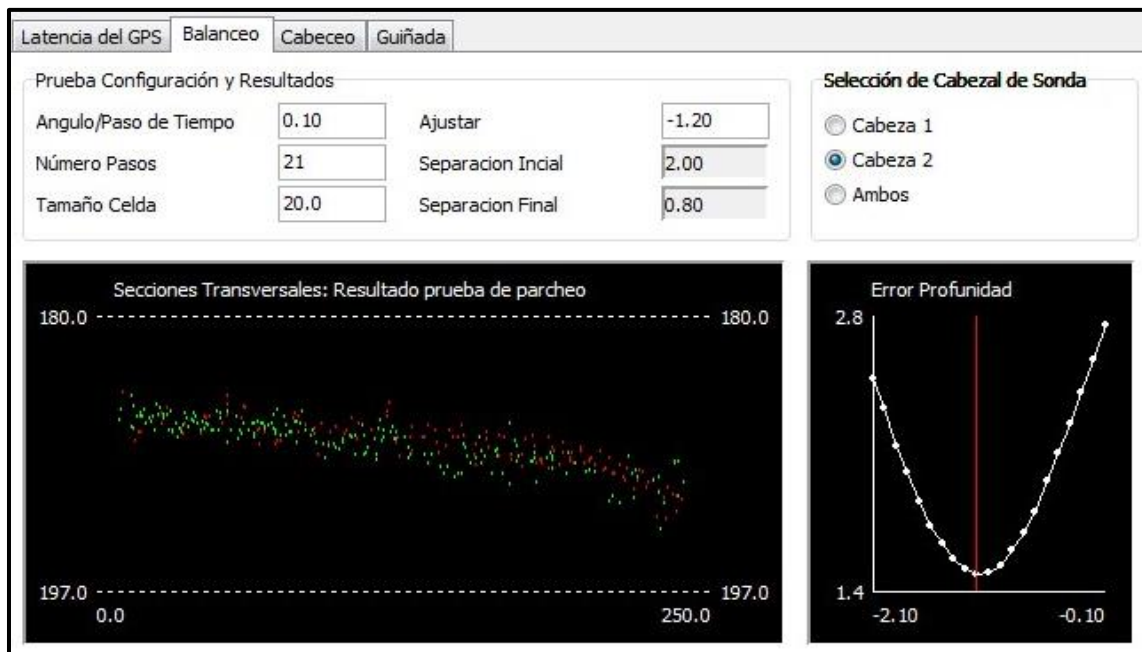


Figura 5.1-12: Resultado gráfico de la desviación de rolido, cabezal de sonda 2.
Fuente: Software Hidrográfico Hypack.

3. CALIBRACIÓN DE GUIÑADA

La guiñada o caída de proa es producida por el gobierno propio del barco, es decir, el cambio de rumbo producido por el patrón de la embarcación de forma consciente. También es producido por el cambio de orientación de la proa a causa de las distintas corrientes que se producen a nivel de la superficie del mar.

La calibración de guiñada se realiza navegando de manera paralela sobre un fondo que presente un elemento conspicuo (e.g. roca o naufragio) que sea determinante al momento de realizar la medición (Figura 5.1-13). La navegación se efectúa por ambos lados del objeto identificado, ya que posteriormente se realiza un traslape de datos para luego calcular la desviación producida. El resultado gráfico de desviación de guiñada se presenta en la Figura 5.1-14 y 5.1-15.

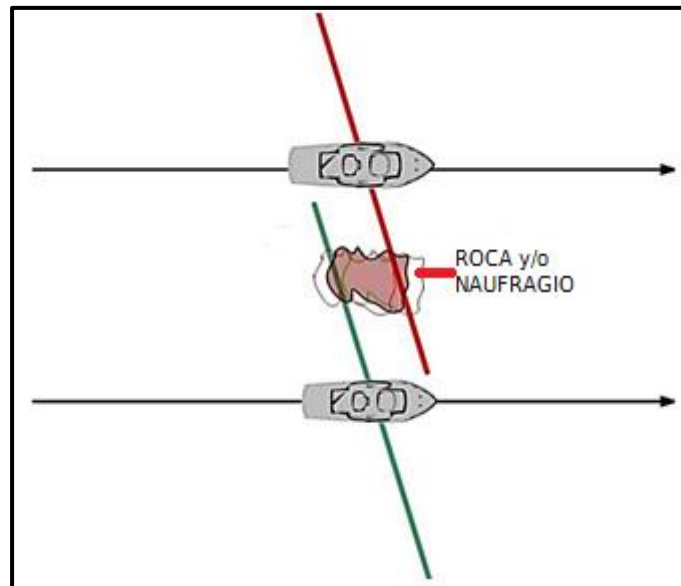


Figura 5.1-13: Esquema de la calibración de guiñada.
Fuente: Elaboración propia.

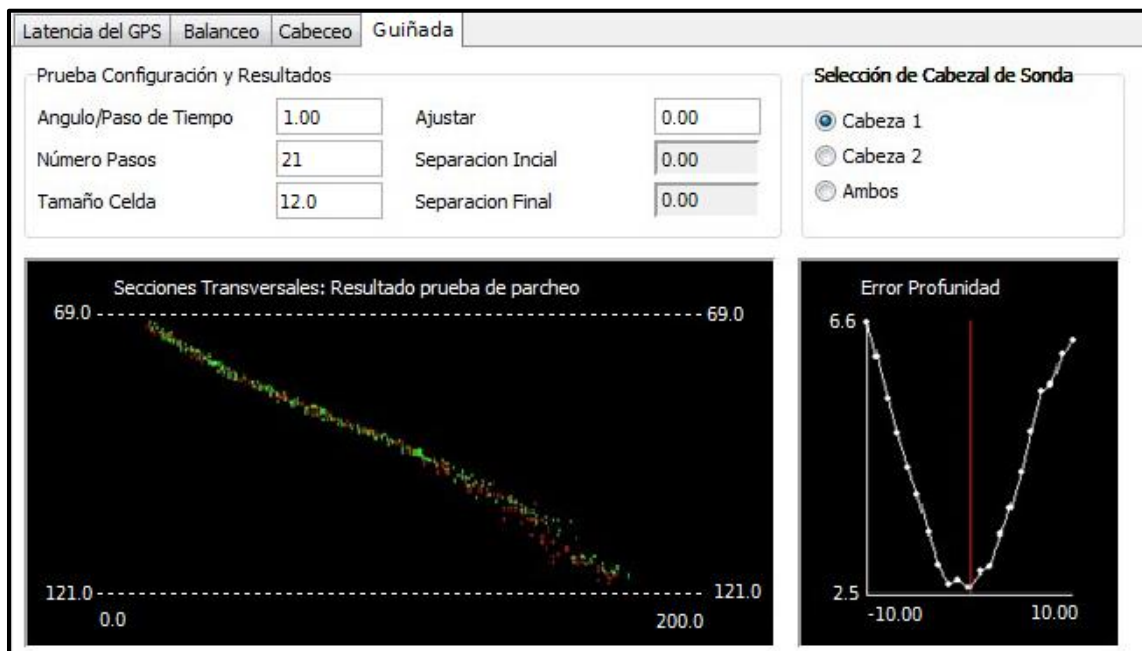


Figura 5.1-14: Resultado gráfico de guiñada calculado, cabezal de sonda 1.
Fuente: Software Hidrográfico Hypack.

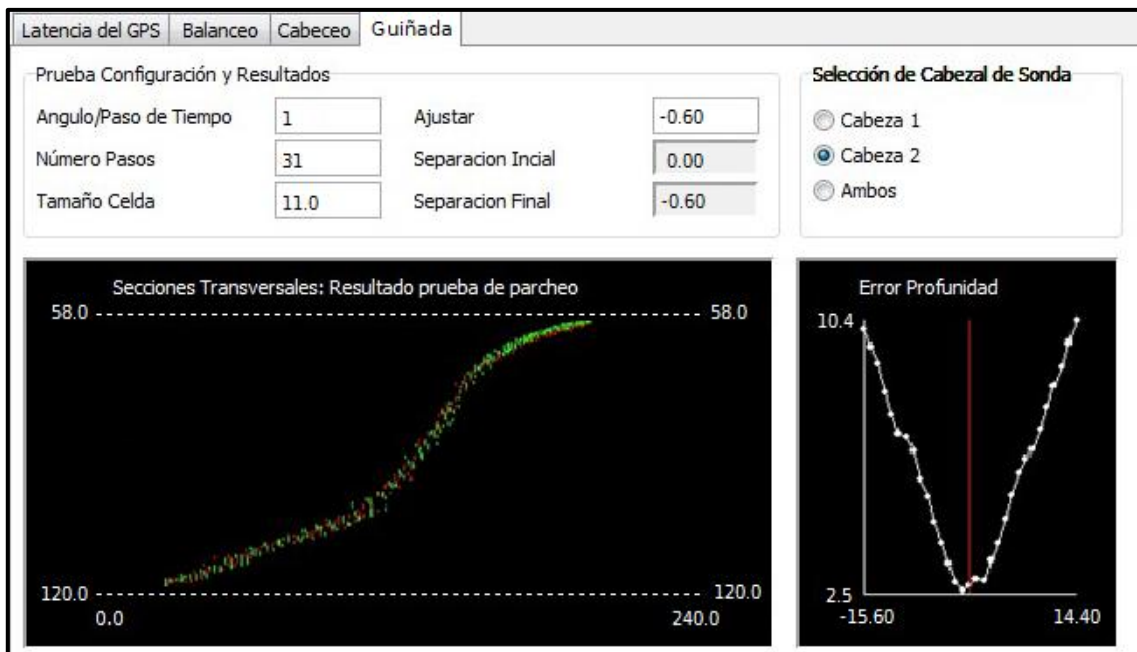


Figura 5.1-15: Resultado gráfico de guiñada calculado, cabezal de sonda 2.
Fuente: Software Hidrográfico Hypack.

4. CALIBRACIÓN DE CABECEO

El cabeceo es el movimiento anular que el barco efectúa producto del oleaje. Para calibrar esta componente se debe navegar sobre un fondo con pendiente, en forma recíproca a una velocidad constante (Figura 5.1-16). El resultado gráfico de desviación de cabeceo se presenta en la Figura 5.1-17.

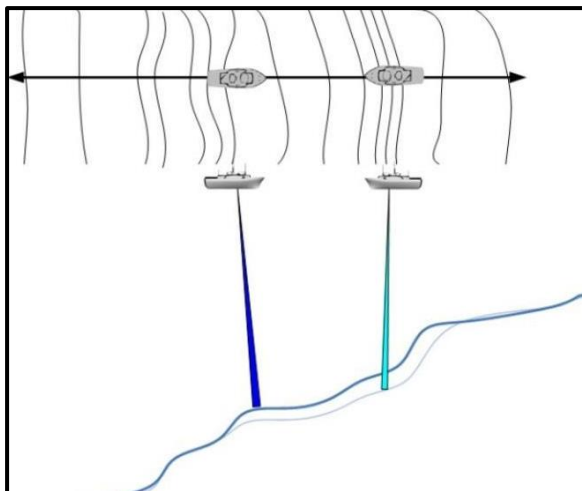


Figura 5.1-16: Prueba de cabeceo o pitch.
Fuente: Elaboración propia.

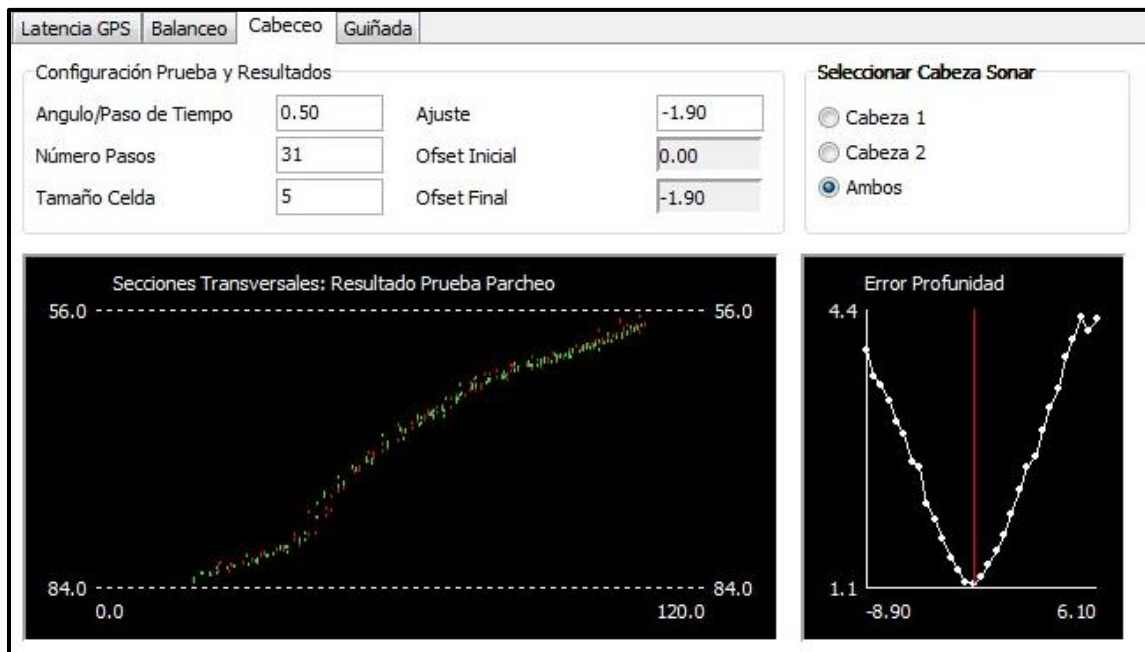


Figura 5.1-17: Resultado gráfico de cabeceo calculado.
Fuente: Software Hidrográfico Hypack.

Cada una de las pruebas antes descritas se repitió al menos tres veces o hasta que los valores de cada prueba fueron consistentes.

Por otra parte, se realizó un perfil de la velocidad de propagación del sonido en el agua (PVS) empleando un Perfilador de la Velocidad del Sonido (marca Valeport y modelo Midas), información que se ingresó al software hidrográfico, y que permitió corregir la velocidad de propagación del sonido en el agua y, a su vez, para corregir la medición de profundidad.

Todos los resultados obtenidos en la Prueba de Parche y la información de los perfiles de la velocidad de propagación del sonido se ingresaron al software hidrográfico Hysweep 2013. Los resultados de calibración (Prueba de Parche) se presentan en la Tabla 5.1-1.

Tabla 5.1-1: Resultado de valores obtenidos en la Prueba de Parche (calibración).
Fuente: Elaboración propia, utilizando MS Excel 2013.

PRUEBA DE PARCHES	RESULTADO
Latencia (mili Segundos)	0.1
Rolado (°)	- 0,8 Estribor 0,8 Babor
Guiñada (°)	0 Estribor - 0.6 Babor
Cabeceo (°)	- 1.9

- **CONTROL GEODÉSICO**

La Geodesia es una ciencia que busca representar las formas que tiene el planeta, indicando los tipos de superficie en su forma natural y artificial (Departamento de la Guajira, 2007). Para el control geodésico se realizó un control horizontal y vertical, especificando la georreferenciación de la batimetría y como son corregidos los datos en su altura vertical y horizontal; estos se detallan a continuación:

- A. Control Horizontal:

Se empleó un sistema de posicionamiento satelital con corrección diferencial satelital SeaSTAR (señal arrendada a la empresa FUGRO), marca Trimble SPS 852.

El posicionamiento horizontal está referido en coordenadas UTM, Huso 18, Datum WGS84.

- B. Control Vertical:

Los datos batimétricos obtenidos fueron reducidos al Nivel Medio del Mar (NMM), los cuales fueron adquiridos de la Tabla de Mareas del SHOA (año 2014).

El huso horario dispuesto para la ejecución de los trabajos fue establecido en hora local (UTC-4, año 2014).

- **ADQUISICIÓN DE DATOS**

Durante la ejecución del trabajo se realizaron perfiles de velocidad del sonido según sector de estudio, cuyos datos fueron ingresados al software hidrográfico para la corrección de la trayectoria de los haces.

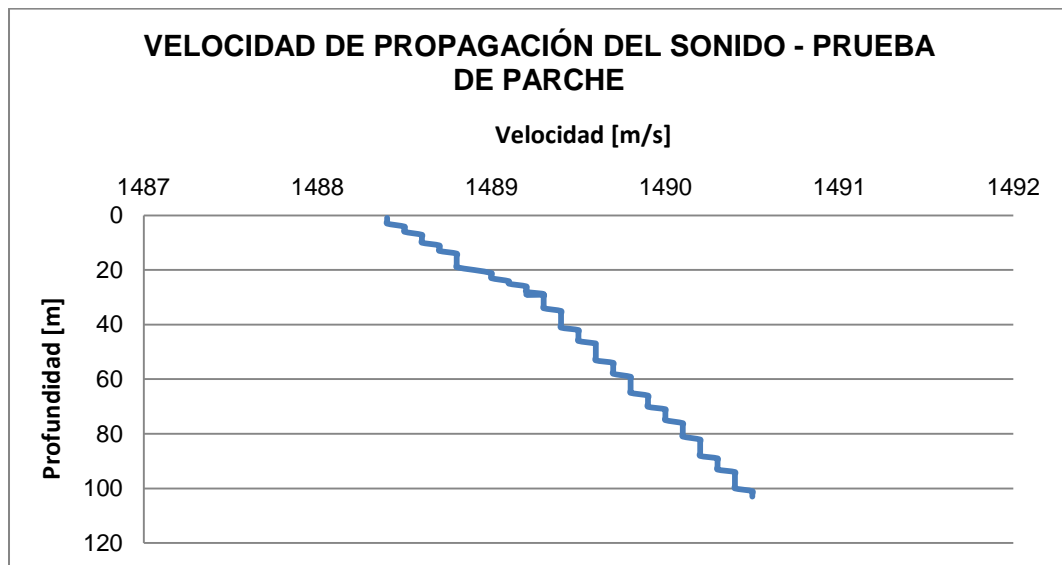
Los datos de la velocidad del sonido del agua de mar que se obtuvieron en la medición se presentan en Anexo 3, capítulo 11.

Las coordenadas donde se realizaron dichos perfiles se presentan en la Tabla 5.1-2, estas se encuentran en coordenadas UTM (Universal Transversal de Mercator) y en grados latitud-longitud.

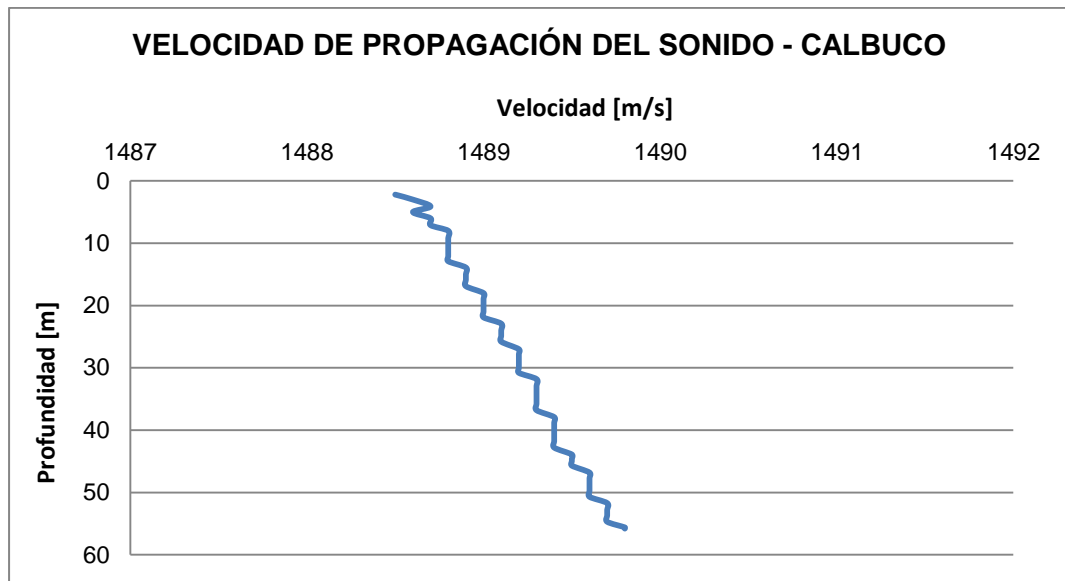
Tabla 5.1-2: Coordenadas de Perfiles de Velocidad del Sonido Realizados.
Fuente: Elaboración propia, utilizando MS Excel 2013.

NOMBRE		NORTE UTM	ESTE UTM	LATITUD (°)	LONGITUD (°)
1	PRUEBA DE PARCHE	5239539,9	621546,87	42,98709507 S	73,50910430 W
2	CALBUCO	5368199,83	651467,58	41,82361113 S	73,17613362 W
3	LINAO	5353382,03	629983,32	41,96083856 S	73,43146966 W

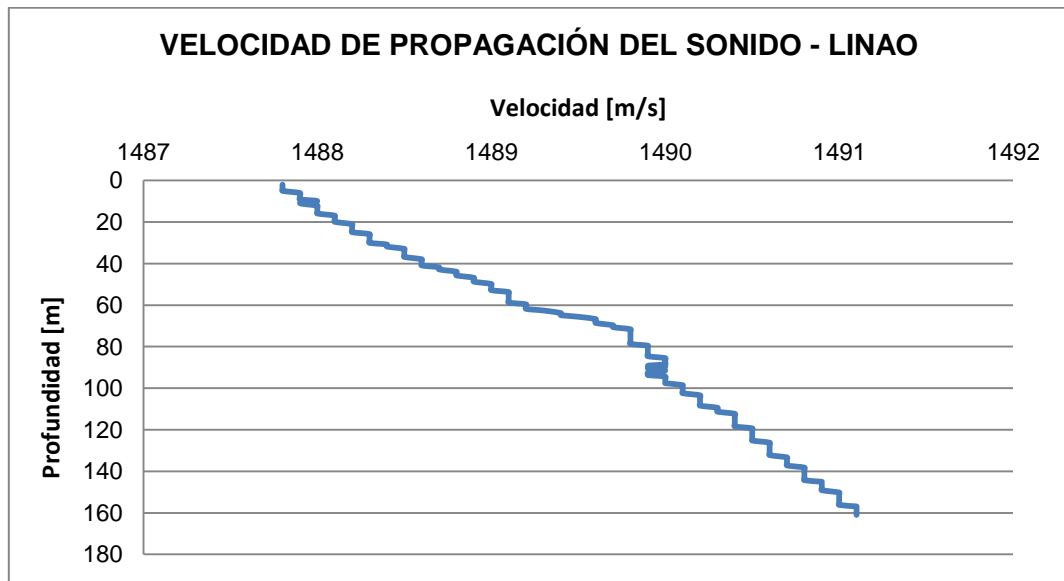
Los Gráficos 5.1-1, 5.1-2 y 5.1-3 presentados a continuación, muestran los perfiles de velocidad del sonido asociados a la estación de medición de Calbuco y Linao.



Gráfica 5.1-1: Perfil de velocidad del sonido: "Prueba de Parche".
Fuente: Elaboración propia, utilizando MS Excel 2013.



Gráfica 5.1-2: Perfil de velocidad del sonido: “Calbuco”.
Fuente: Elaboración propia, utilizando MS Excel 2013.



Gráfica 5.1-3: Perfil de velocidad del sonido: “Linao”.
Fuente: Elaboración propia, utilizando MS Excel 2013.

Con el fin de abarcar toda el área de estudio (Ruta Norte), se procedió a realizar las mediciones considerando una superposición de datos entre cada barrido, de aproximadamente 50%. Para mejorar la calidad del levantamiento batimétrico, se realiza esta

superposición de barridos que aumenta la densidad de los datos, facilitando la discriminación y edición de datos espurios o erróneos, incrementando así la resolución espacial.

Para minimizar la posibilidad de perder la información registrada en terreno, al final de cada jornada de mediciones, los datos se almacenaron en tres medios digitales independientes. Una vez que los datos fueron resguardados, se realizó un pre-proceso de la información, que consistió en filtrar los perfiles levantados y generar una matriz con datos de calidad tolerable. El fin de esta tarea, es verificar la calidad de los datos obtenidos en la jornada y verificar el avance (cobertura) diario.

- PROCESAMIENTO DE DATOS

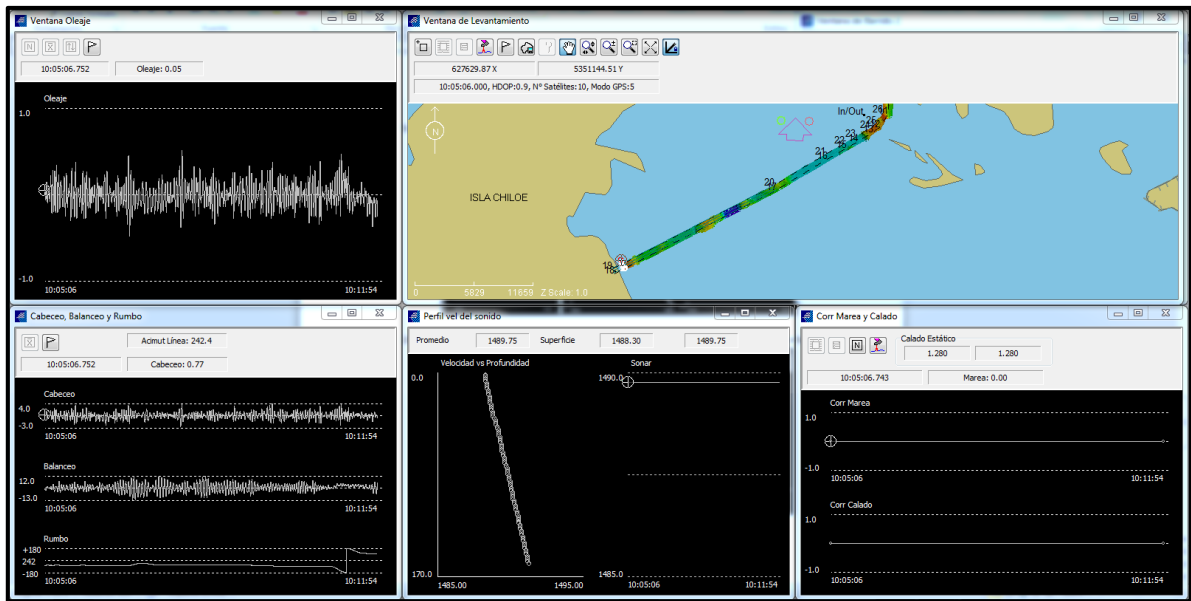
Posterior a los datos obtenidos con el ecosonda multihaz, se realizó el procesamiento de la información en tres etapas: Verificación de los parámetros de levantamiento, edición de datos en base al barrido y edición de datos en base al área. A continuación se describen los tres procesos

1. VERIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE LEVANTAMIENTO

Los archivos de datos sin depurar, fueron cargados en el programa de procesamiento Hypack (software hidrográfico), verificando los desplazamientos angulares de distancia y tiempo, certificando que la información contenida en el archivo concuerde con la obtenida en la calibración realizada (Prueba de Parche).

En esta etapa se configuraron los filtros de picos y de dualidad topográfica. El filtro de picos se programó para eliminar datos con diferencia igual o mayor a 5 m de profundidad respecto del dato adyacente. El filtro de dualidad topográfica, elimina la profundidad de mayor valor para una misma posición. Además, se aplicó la corrección por mareas al Nivel Medio del Mar.

En esta etapa, se pueden visualizar y editar los diferentes datos medidos por los sensores conectados al sistema multihaz, que registran: oleaje, cabeceo, balance, rumbo, corrección por mareas, entre otros. También se visualiza la disposición de las líneas de derrota (Figura 5.1-18).



**Figura 5.1-18: Etapa 1 - Edición de datos en Linao.
Fuente: Software Hidrográfico Hypack.**

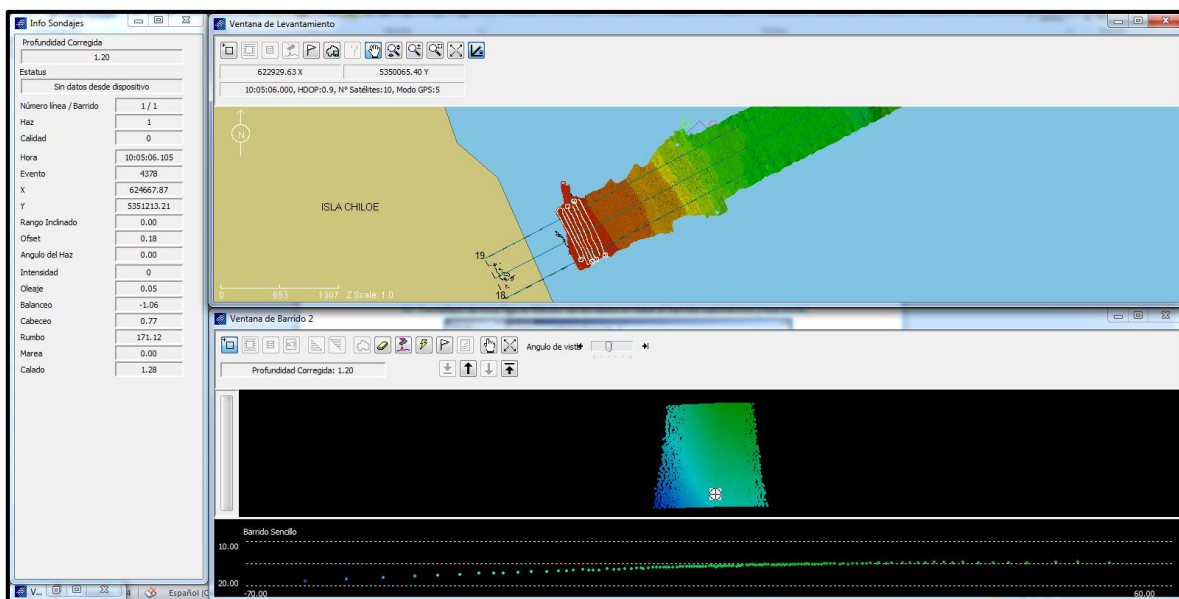
2. EDICIÓN DE DATOS EN BASE AL BARRIDO

Los filtros previamente configurados, son aplicados en esta etapa. Posteriormente, se despliega cada barrido y cada pulso (dato) para analizar individualmente. Se eliminaron todos los datos de mala calidad y los datos de buena calidad fueron guardados como datos editados.

En esta etapa de edición existen varias formas de visualizar los datos, puntos con colores por profundidad, superficie 3D, gráfico de barridos (Figura 5.1-19); además, los datos se pueden manejar tridimensionalmente con diferentes herramientas de edición automáticas y manuales.

En la parte izquierda de la pantalla de edición se puede visualizar una serie de datos informativos de cada punto seleccionado, tales como: número de haz, calidad, hora, coordenada X e Y, profundidad bruta y corregida, marea, etc.

Cabe señalar que los datos seleccionados como malos, mala calidad, dudosos, etc., no son borrados de la base de datos, sino que son marcados con un código que los invalida o separa de los datos de buena calidad, dejándolos disponibles en caso de requerirse un nuevo análisis.



**Figura 5.1-19: Etapa 2 - Edición de los datos en base al barrido batimétrico (Linao).
Fuente: Software Hidrográfico Hypack.**

3. EDICIÓN DE DATOS EN BASE AL ÁREA

En esta etapa, los datos se cargan en una matriz que los despliega espacialmente, permitiendo una inspección desde otra perspectiva, además se puede visualizar con mayor exactitud la real cobertura de los datos y su ubicación geográfica respecto al terreno.

Se cargan todos los datos de cada línea de derrota, teniendo la posibilidad de visualizarlas separadamente por capas de colores, obteniéndose así una visión más global de los datos capturados.

Finalizada la tercera fase de edición, los datos son cargados y grabados como una matriz de datos y, a partir de ella, se genera un archivo de posiciones y profundidades (*.XYZ). Luego, con el archivo XYZ, se genera un modelo digital de terreno (DTM) basado en la metodología TIN (*Triangulated Irregular Network*), desde el cual se extraen los valores de profundidades que forman los planos finales.

5.2 LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO MONOHAZ

El levantamiento batimétrico con ecosonda monohaz se realizó en los 2 sitios de aterrizajes proyectados del cable (Calbuco y Linao), correspondientes a la Ruta Norte. Este análisis se extendió desde el límite de la topografía hasta conectar con la batimetría multihaz, donde posteriormente se realizó un traslape con los datos batimétricos (monohaz y multihaz) y topográficos de los dos sitios.

En el sitio de aterrizaje de Calbuco existe una limitada maniobrabilidad (navegación) por la topografía del sector, por lo que las líneas de sondaje monohaz se realizaron perpendiculares al eje del cable, espaciadas cada 10 m, siguiendo el contorno de la playa. Por otra parte, el levantamiento realizado en el sitio de Linao, abarcó una franja de 300 m de ancho y 2.000 m de largo sobre el eje del trazado de la Ruta Norte. A continuación, en las Figuras 5.2-1 y 5.2-2 se presentan las áreas de levantamiento descritas.



Figura 5.2-1: Área de levantamiento monohaz en Calbuco.
Fuente: Elaboración Propia, utilizando Google Earth Pro.



Figura 5.2-2: Área de levantamiento monohaz en Linao.
Fuente: Elaboración propia, utilizando Google Earth Pro.

Los sectores de baja profundidad, como es el caso de las zonas cercanas a los sitios de aterrizaje de Calbuco y Linao, no se recomienda utilizar ecosonda multihaz, debido a que la profundidad mínima segura para operar con este equipo es de 5 m.

- **PLANIFICACIÓN DE BATIMETRÍA MONOHAZ**

1. El estudio de batimetría monohaz se realizó empleando un ecosonda marca Syqwest, modelo BATHY 500 MF, frecuencia 200 KHz, instalado en la embarcación de trabajo.
2. En el área de Calbuco se levantaron 5 perfiles batimétricos con un espaciamiento de 10 m entre ellos (líneas perpendiculares al eje de la ruta del cable), abarcando un área de 50 m de ancho.
3. En el área de Linao se levantaron 25 perfiles batimétricos con un espaciamiento de 12 m entre ellos (líneas paralelas al eje de la ruta del cable), permitiendo cubrir la franja de 300 m de ancho.

A continuación se describe el procesamiento realizado para la batimetría monohaz:

A. Posicionamiento

La determinación de la posición geográfica de las sondas se realizó mediante la utilización de un receptor satelital marca Hemisphere modelo VS100. Los datos de posición de las sondas fueron incorporados al software de control Hypack, el cual efectuó la asociación y almacenamiento durante todo el levantamiento.

B. Planificación de líneas de derrota

Fue controlado mediante el software hidrográfico Hypack, instalado en un PC a bordo de la embarcación.

C. Profundidad

En el sondaje se utilizó el ecosonda Hidrográfico digital marca Syqwest, Bathy 500.

D. Nivel del Mar

La reducción de la batimetría se efectuó al nivel medio del mar, mediante la utilización de los pronósticos de mareas de Servicio Hidrográfico de la Armada (SHOA).

E. Procesamiento

El procesamiento de los datos colectados se efectuó con el software hidrográfico Hypack, con la herramienta Editor de Haz Simple (Figura 5.2-3), la cual permite analizar cada una de las líneas y sondas colectadas, eliminar los datos de mala calidad, vincular la sonda con la posición obtenida desde el receptor satelital GPS, seleccionar los datos y generar los productos correspondientes.

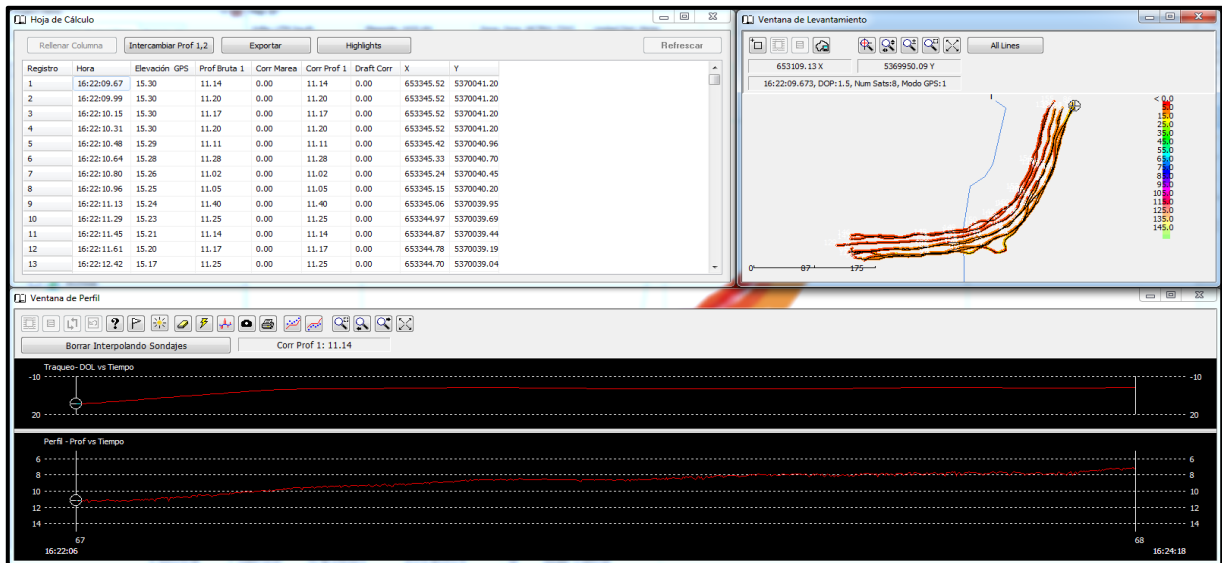


Figura 5.2-3: Imagen del proceso batimétrico monohaz (editor de haz simple).
Fuente: Software Hidrográfico Hypack.

5.3 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

El levantamiento topográfico se realizó en los sitios de aterrizaje de Calbuco y Linao, abarcando una franja de 100 m de ancho sobre el eje del trazado del cable. Hacia tierra, el largo del levantamiento abarcó desde la baja mar hasta los límites de predios particulares.

La Figura 5.3-1 muestra la ubicación general de levantamiento topográfico en los dos sitios de aterrizaje del cable.

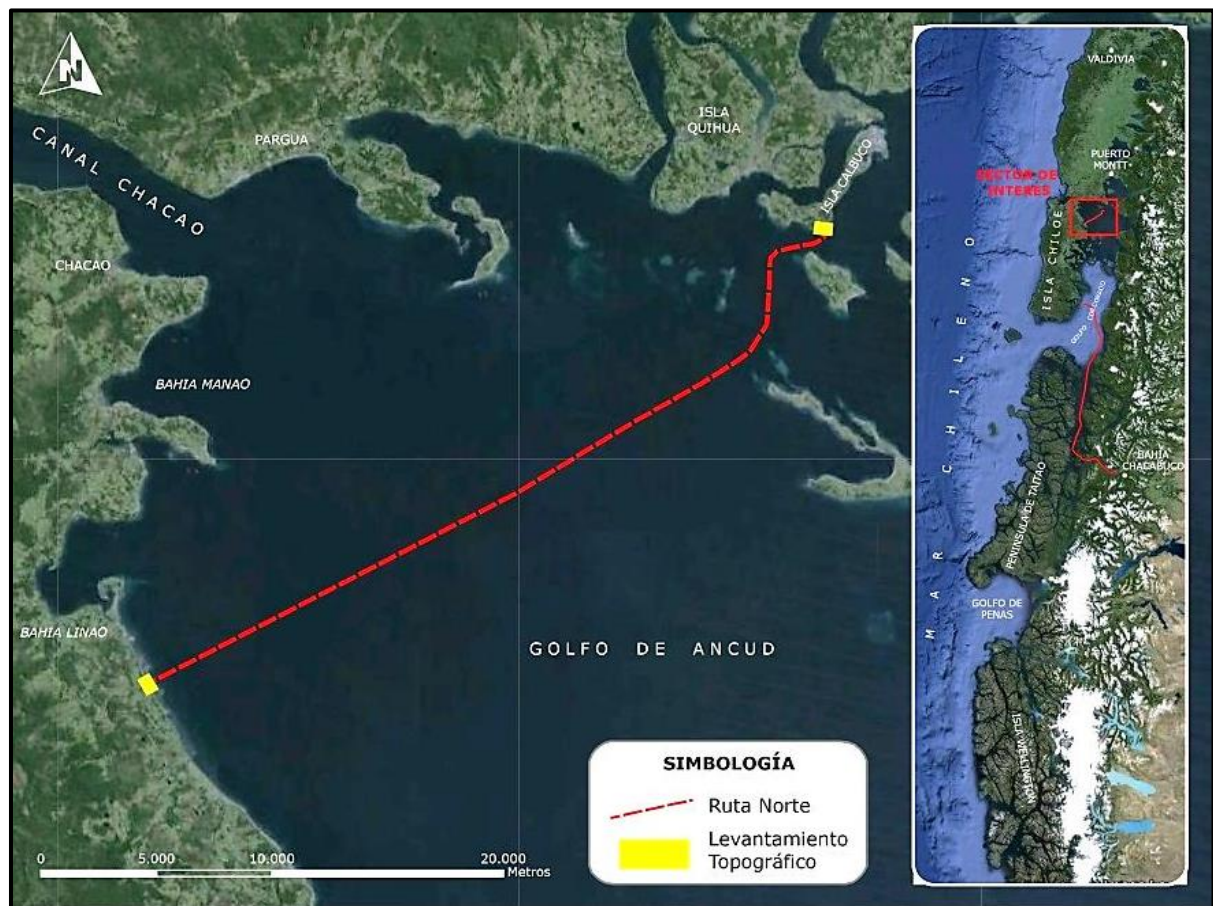


Figura 5.3-1: Localización de las áreas de levantamiento topográfico en los sitios de aterrizaje de la Ruta Norte.

Fuente: Elaboración propia, utilizando Google Earth Pro.

- **DESARROLLO TOPOGRÁFICO**

El levantamiento realizado en las áreas de aterrizaje del cable se desarrolló mediante DGPS Geodésico Trimble R6 RTK DGPS L1/L2, el que consideró la determinación de:

- Cierres perimetrales (alambradas) y otros límites visibles.
- Ríos y esteros.
- Postes y otros elementos relevantes para el proyecto.
- Línea de alta marea (pleamar).
- Árboles y áreas de vegetación densa.
- Perfiles altimétricos (al NMM) del terreno (cada 5 m aproximadamente).

La escala para trabajar en terreno in situ se consideró la escala natural (1:1), y para procesos de dibujo y ploteo del plano 1:1000.

1. SISTEMAS DE REFERENCIA

Los sistemas de referencia empleados en la vinculación de vértices geodésicos de la Red Geodésica Nacional se presentan en la Tabla 5.3-1.

Tabla 5.3-1: Coordenadas de Perfiles de Velocidad del Sonido Realizados.
Fuente: Elaboración propia, utilizando MS Excel 2013.

SISTEMAS DE REFERENCIA	
Sistema Geodésico	WGS84
Proyección Cartográfica	Universal Transversal de Mercator (UTM)
Huso	18 Sur (Meridiano Central 75°)
Referencia altimétrica	Nivel Medio del Mar (NMM)

2. TRANSPORTE ALTIMÉTRICO DEL NIVEL MEDIO DEL MAR

A fin de referir el levantamiento topográfico al Nivel Medio del Mar (NMM), se utilizó el método “*Cálculo de marea para un momento cualquiera*” (Publicación SHOA 3009, año 2014). Se generaron 3 vértices en cada sector, nivelando desde un punto en la playa coincidente con hora respecto a la tabla de marea, hasta los puntos proporcionados en cada una de las áreas a levantar.

5.4 LEVANTAMIENTO CON SONAR DE BARRIDO LATERAL

El levantamiento realizado con el instrumento sonar de barrido lateral se efectuó hasta el veril de 40 m en Calbuco y el veril de 30 m en Linao. El levantamiento se inició antes del veril de los 5 m.

En Calbuco se cubrió un ancho de 460 m y un largo de 1.350 m, con 8 transectos (líneas), y en Linao se cubrió un ancho de 500 m y un largo de 1.620 m, con 5 transectos, lográndose una alta cobertura del corredor en los dos sitios. En la Tabla 5.4-1 se presentan las extensiones del levantamiento realizado en ambos sitios de aterrizaje.

Tabla 5.4-1: Área de levantamiento en la Ruta Norte.
Fuente: Elaboración propia, utilizando MS Excel 2013.

RUTA NORTE	ANCHO (KM)	LARGO (KM)	NÚMERO DE LÍNEAS LEVANTADAS
Aterrizaje Calbuco	0,46	1,35	8
Aterrizaje Linao	0,50	1,62	5

- PROCEDIMIENTO EN LOS SITIOS DE ATERRIZAJE DEL CABLE
 1. Se realizó un levantamiento geofísico, en los dos sitios de aterrizaje del cable; el área de levantamiento se detalla en el punto anterior.
 2. En el levantamiento se empleó un sonar de barrido lateral (Figura 5.4-1) multifrecuencia modelo YellowFin fabricado por Imagenex Technology Corp. Frecuencia empleada 330 Khz.
 3. El sonar fue remolcado por popa e integrado con un receptor GPS *Trimble* modelo SPS-852.
 4. Los parámetros de levantamiento con sonar de barrido lateral, se resumen en Tabla 5.4-2.
 5. El diseño del levantamiento y las líneas de derrota se presentan en las Figuras 5.4-2 y 5.4-3. En la navegación de las líneas planificadas se empleó mediante el software Hidrográfico Hypack.
 6. La información geofísica marina fue sometida a análisis de post-proceso, realizándose la depuración de detección del fondo así como las respectivas correcciones geométricas y radiométricas de los registros, permitiendo así la correcta interpretación de los datos para la identificación de potenciales anomalías o blancos.

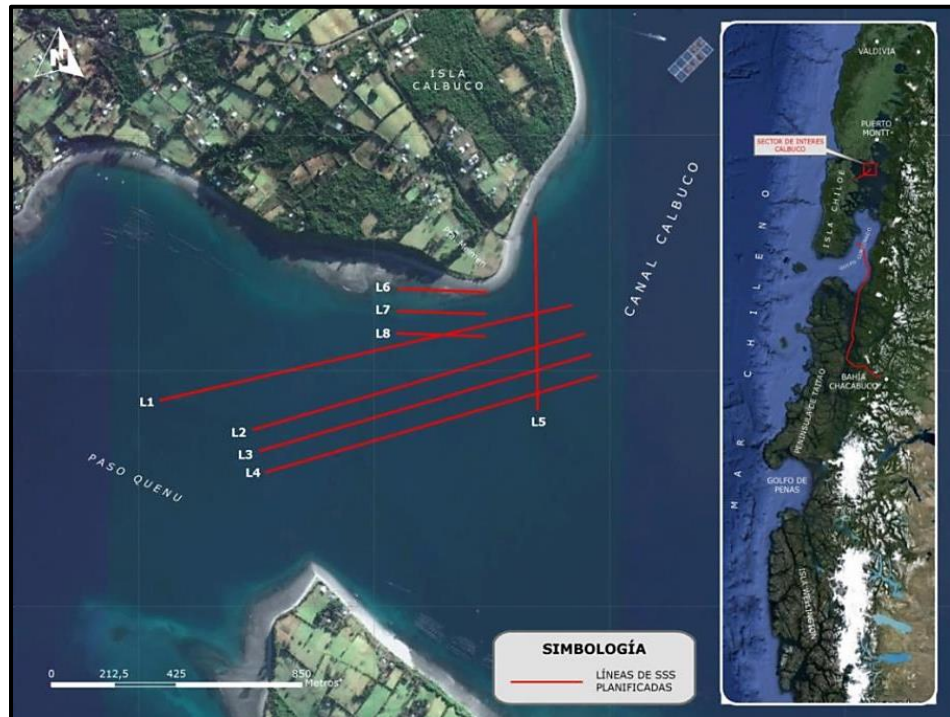
En este proceso se empleó el software SonarWiz-5, fabricado por Chesapeake Technology.

Tabla 5.4-2: Parámetros de levantamiento con Sonar de barrido lateral.
 Fuente: Elaboración propia, utilizando MS Excel 2013.

PARÁMETROS DE LEVANTAMIENTO	CALBUCO	LINAO
Altura de remolque sobre el fondo marino (m)	Entre 10 y 20% del rango de barrido seleccionado	
Rango	100 m por banda	
Frecuencia	330 KHz	
Huella	1,8° de frente de onda y 60° de abertura de haz	
N° de líneas de derrota	8	5
Espaciamiento de líneas (m)	75 m	
Cobertura	150%	
Superposición	37,50%	
Formato de almacenamiento de registros	XTF (eXtended Triton Format)	
Sistema de coordenadas	WGS-84	
Zona UTM	18 Sur	
Huso horario	UTC	



**Figura 5.4-1: Sonar de barrido lateral modelo *YellowFin*.
Fuente: Elaboración propia, utilizando cámara digital Sony.**



**Figura 5.4-2: Líneas de derrota del sonar de barrido lateral en Calbuco.
Fuente: Elaboración propia, utilizando Google Earth Pro.**



Figura 5.4-3: Líneas de derrota del sonar de barrido lateral en Linao.
 Fuente: Elaboración propia, utilizando Google Earth Pro.

5.5 INSPECCIÓN SUBMARINA

Las filmaciones submarinas se realizaron a partir de los puntos de aterrizaje de Calbuco y Linao, es decir sólo en los sectores someros debido a limitaciones de la fuente luminosa empleada por el vehículo submarino (ROV).

El emplazamiento de los sitios de aterrizaje de la Ruta Norte y localización del levantamiento se presentan en las Figuras 5.5-1 y 5.5-2. En la simbología se indica el inicio y finalización del video.

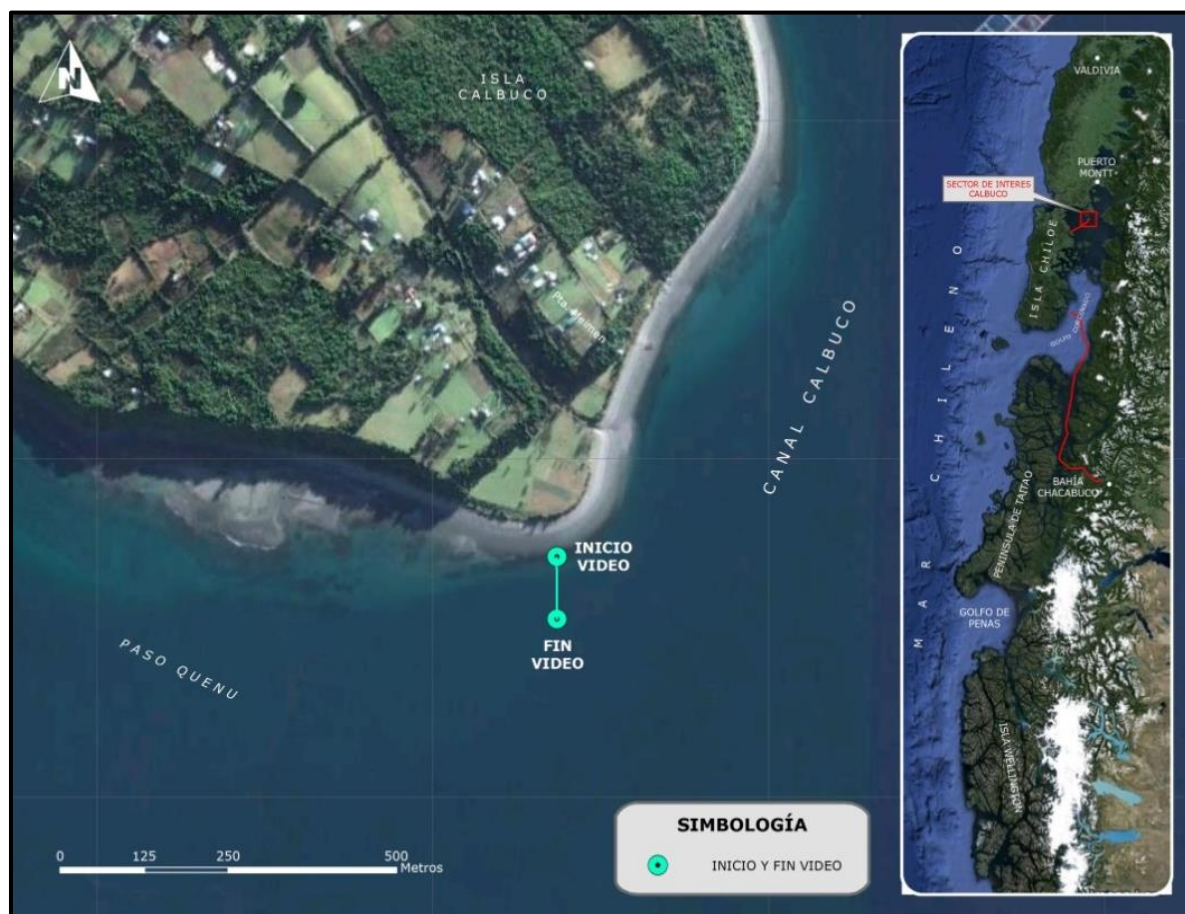


Figura 5.5-1: Localización del levantamiento realizado en Calbuco (sobre el eje del área prevista de tendido de cable, en Ruta Norte).

Fuente: Elaboración propia, utilizando Google Earth Pro.



Figura 5.5-2: Localización del levantamiento realizado en Linao (sobre el eje del área prevista de tendido de cable, en Ruta Norte).

Fuente: Elaboración propia, utilizando Google Earth Pro.

- PROCEDIMIENTO DE LAS FILMACIONES

La inspección submarina se llevó a cabo, siguiendo el siguiente protocolo:

1. A bordo de la embarcación, se realizó la conexión del sistema de inspección: monitor, fuente de poder, consola de control, umbilical y ROV (Remote Operated Vehicle) marca Seabotix y modelo LBV 150 (Figura 5.5-3).
2. Previo a cada inmersión se revisaron sellos, cierre y vacío del ROV. Asimismo adecuado funcionamiento de motores.
3. Una vez revisado el adecuado funcionamiento del sistema se configuró información de entrada del video y se sumergió el ROV con un sistema de lastre para facilitar su maniobrabilidad.

4. Durante el levantamiento se verificó la calidad de la imagen recibida y el adecuado registro de ésta.



Figura 5.5-3: ROV y accesorios (umbilical, fuente de poder y caja de control); ROV sumergido.
Fuente: Elaboración propia, utilizando cámara digital Sony.

Se realizaron inspecciones submarinas en los sitios de aterrizaje del cable. El Plan de inspección se presenta en la Tabla 5.5-1.

Tabla 5.5-1: Plan de levantamiento de la inspección submarina con ROV en Ruta Norte.
Fuente: Elaboración Propia, utilizando MS Excel 2013.

RUTA NORTE	LÍNEAS LEVANTAS	LONGITUD DE LA LÍNEA
Aterrizaje Calbuco	1	92 m
Aterrizaje Linao	1	876 m

5.6 SEDIMENTOS DE PLAYA

En cada sitio de aterrizaje de la Ruta Norte (Calbuco y Linao) se realizó una caracterización visual y pruebas de penetración de los sedimentos de playa. No se efectuaron muestras submarinas ya que para el proyecto el cable llega a tierra tendido sobre el fondo marino sin necesidad de realizar un trabajo de penetración del fondo, por lo tanto se enterraría sólo en las playas de los sitios de aterrizaje.

Las figuras 5.6-1 y 5.6-2, muestran la distribución espacial de las estaciones donde se realizaron las pruebas de penetración.



Figura 5.6-1: Distribución espacial de las estaciones de muestreo en Calbuco.
Fuente: Elaboración propia, utilizando Google Earth Pro.



Figura 5.6-2: Distribución espacial de las estaciones de muestreo en Linao.
Fuente: Elaboración propia, utilizando Google Earth Pro.

- **DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO**

Las pruebas de penetración de sedimento se realizan para tener una apreciación de la consistencia del suelo o del terreno. Las pruebas se efectuaron en el eje de cada corredor (zona de aterrizaje de Calbuco y Linao) durante la marea vaciante. Para llegar al sitio exacto del eje se utilizó un GPS Marca Garmin, cuyo navegador proporcionó las coordenadas geográficas de cada estación de muestreo.

Las pruebas se realizaron con una varilla de cobre de construcción de 2 m de largo y 18 mm de diámetro. La varilla fue hincada en el terreno empleando un mazo (combo), hasta lograr una cierta resistencia a la hinca. La penetración alcanzada en cada estación fue medida con una huincha de medir, además de ser anotada junto con la coordenada de dicha estación. El desarrollo de las pruebas fue registrado fotográficamente.

Finalmente, en base a observación en terreno y pruebas de penetración, se realizó una descripción general del sedimento de cada estación.

6. RESULTADOS

6.1 BATIMÉTRICOS MULTHAZ Y MONOHAZ

El levantamiento batimétrico multihaz cubrió el área de estudio denominada Ruta Norte (Calbuco - Linao). El trayecto abarcó una superficie total de 2.981 Has (Figura 6.1-1).

Durante el levantamiento las condiciones de mar fueron favorables y estables, observándose en general mar de fondo o swell², con longitudes de ondas muy superiores a su altura en el sitio de interés. Esto se debe a que el oleaje y las corrientes mareales ya han cruzado el canal de Chacao, zona donde generalmente se visualiza oleaje tipo sea³ o local.

La ruta explorada presenta profundidades que alcanzaron un máximo de 340 m aproximadamente. La mayor profundidad se produce al Sureste del sitio de aterrizaje de Linao (aproximadamente a 13 km), en dicho sector las profundidades varían entre los 100 a 340 m en una distancia aproximada de 500 metros, con 50 % de inclinación aproximada, en el resto de la ruta no se producen cambios abruptos en la pendiente (Figura 6.1-2).

En general la ruta presenta profundidades que varían entre los 75 y 225 m aproximadamente.

Se concluye que a través de la prospección marina batimétrica multihaz no se detectó ninguna singularidad, anomalía u obstáculo que pudiese afectar a la instalación del cable submarino de fibra óptica. Cabe destacar que además no se registró ningún hallazgo con relevancia arqueológica.

En el Anexo 1 (capítulo 9.1 y 9.2) y 3 (capítulo 11) se encuentra la siguiente información del levantamiento batimétrico multihaz:

- Fotografías generales del estudio.
- Fotografías del estudio Multihaz.
- Datos de velocidad del sonido del agua de mar (SVP) utilizados en el levantamiento.

Con el fin de favorecer el manejo de los datos y su interpretación, se realizó un traslape con la información batimétrica multihaz, monohaz y topografía del sector. De esta manera los planos y productos tanto de la batimetría como de la topografía se visualizan en las Figuras

² El oleaje tipo Swell o mar de fondo es un movimiento de propagación de las olas que se encuentran fuera de la zona donde se ha generado. Este tipo de ola luego de haber abandonado el área de generación, se propaga, logrando un estado de mar más homogéneo y con menor dispersión direccional.

³ El oleaje tipo Sea o local es denominado como mar de viento y se encuentra dentro de las ondas de gravedad que son generadas por causa de soplido del viento. Este posee generalmente un oleaje desordenado con alta dispersión direccional.

6.1-3 y 6.1-4, cuya topo-batimetría se superpuso en los softwares Google Earth Pro y AutoCad Civil 3D 2012 (plano CAD).

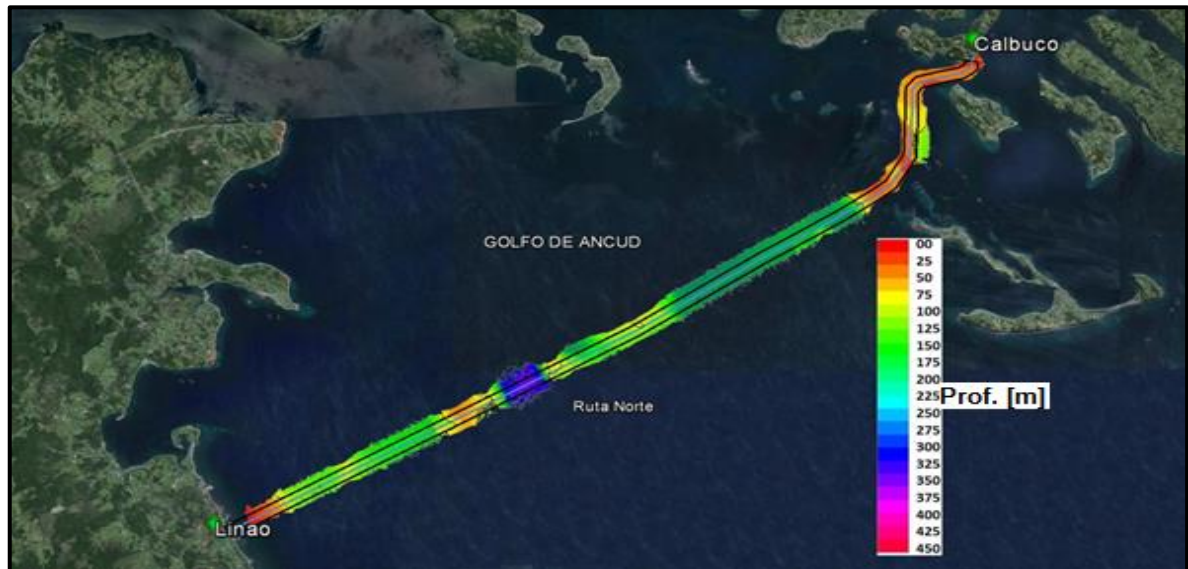


Figura 6.1-1: Resultado topo-batimétrico en Google Earth Pro.
Fuente: Elaboración propia, utilizando Google Earth Pro.

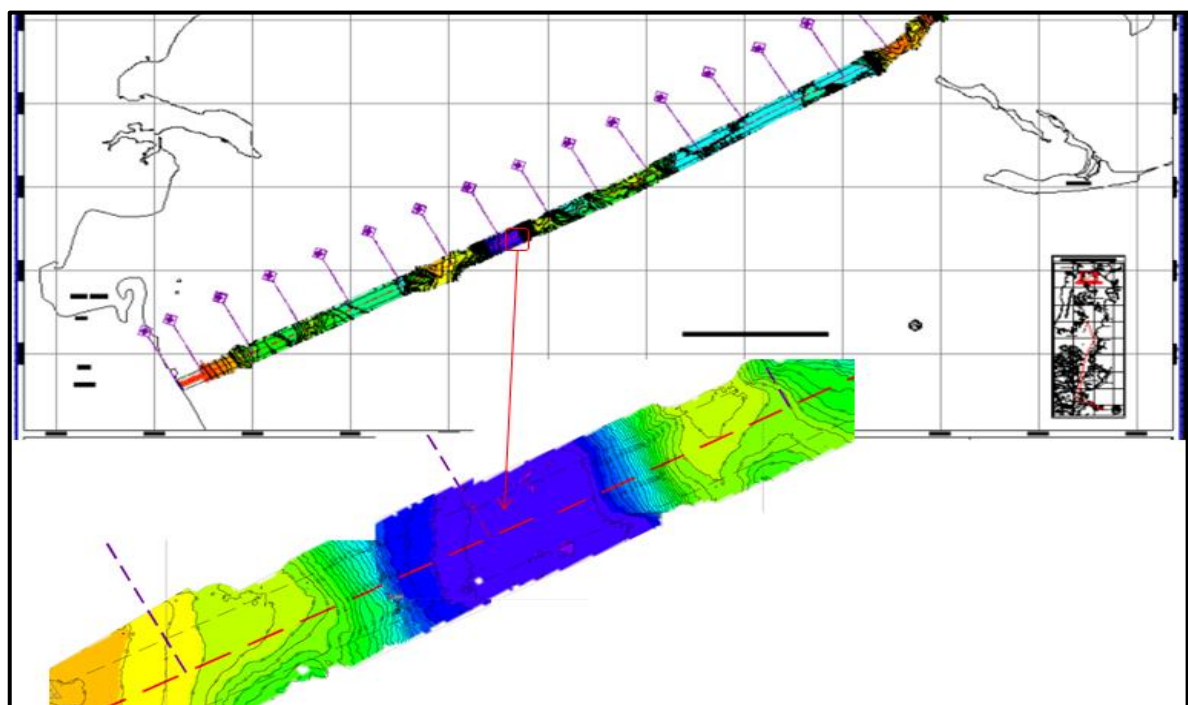


Figura 6.1-2: Localización de pendiente en Ruta Norte (Calbuco - Linao).
Fuente: Elaboración propia, utilizando imagen procesada en el AutoCad Civil 3D 2012.

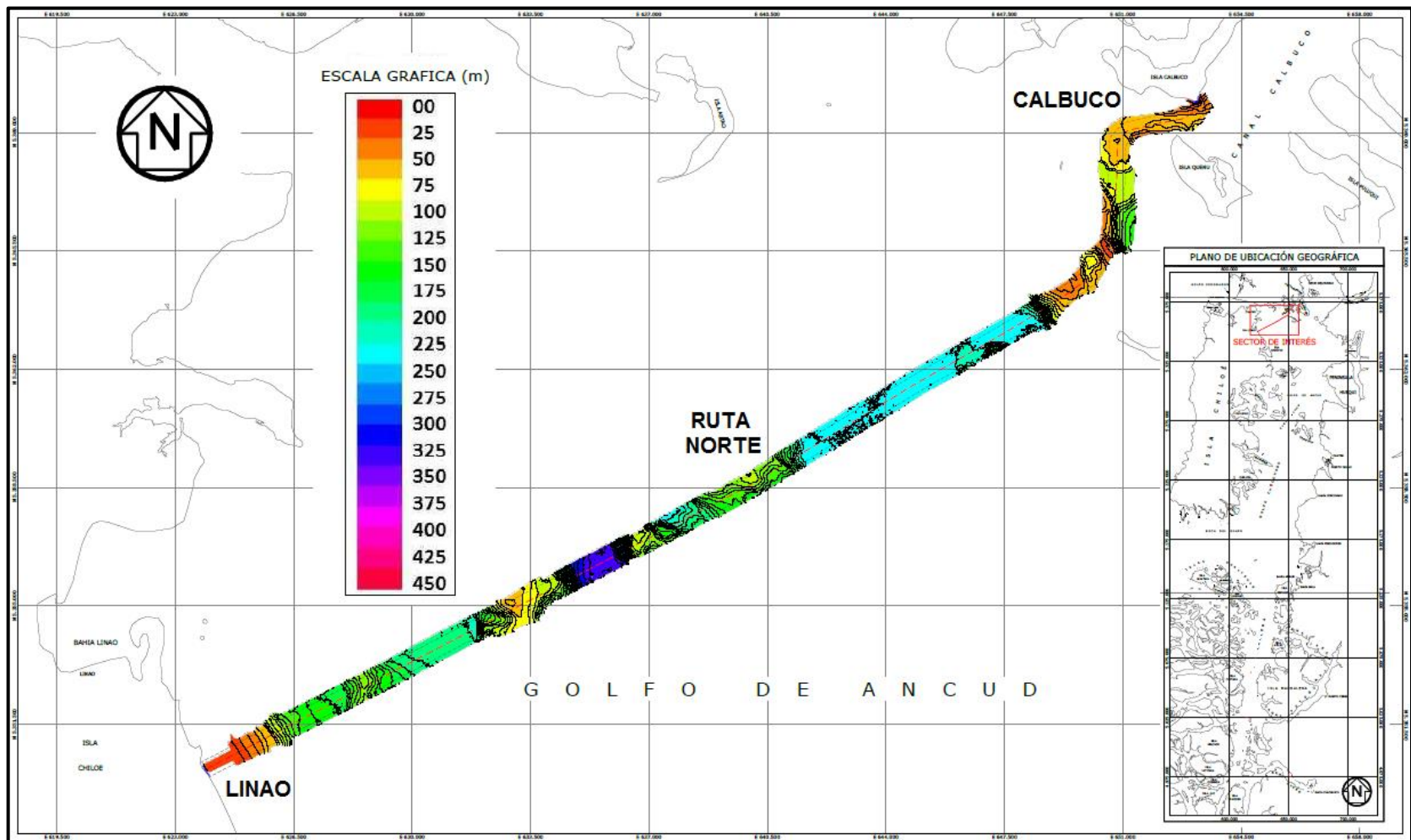


Figura 6.1-3: Plano topo-batimétrico de la Ruta Norte (Calbuco - Linao), en formato CAD.
 Fuente: Elaboración propia, utilizando Autocad Civil 3D 2012.

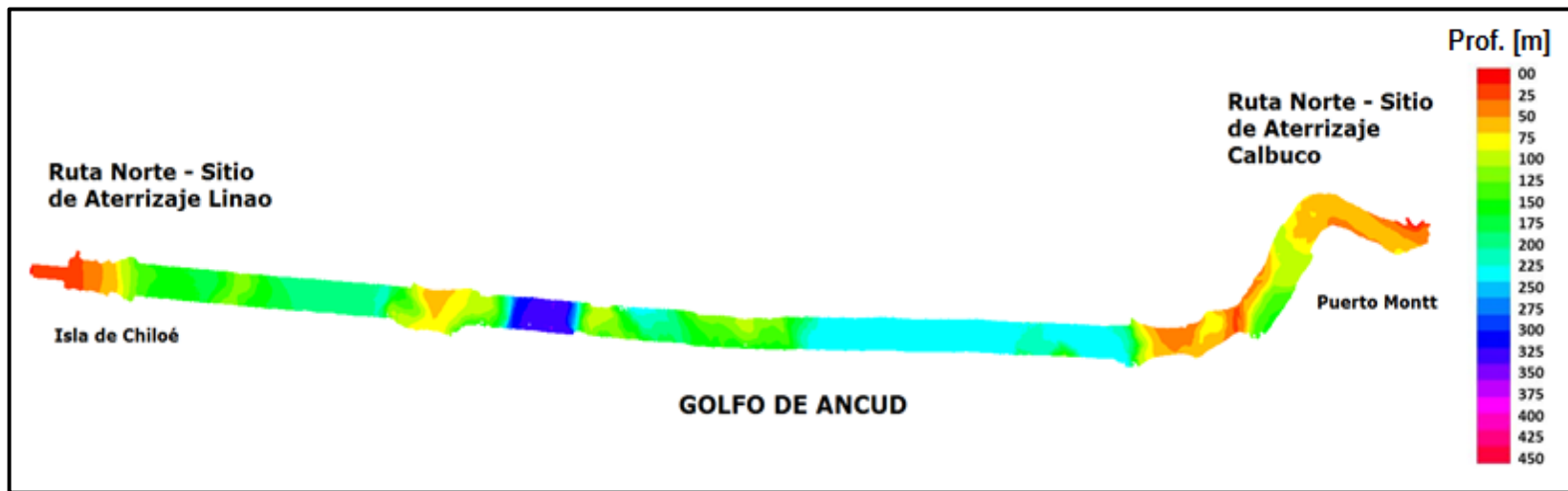


Figura 6.1-4: Imagen topo-batimétrica de la Ruta Norte (Calbuco - Linao).
 Fuente: Elaboración propia, utilizando imagen procesada en el software Hidrográfico Hypack.

El levantamiento batimétrico monohaz realizado en los dos sitios de aterrizaje (6.1-5) indica que no se observan obstrucciones relevantes en la ruta del cable submarino.



Figura 6.1-5: Sitios de aterrizaje de Calbuco y Linao con equipo Multihaz.
Fuente: Elaboración propia, utilizando Google Earth Pro.

El sitio de aterrizaje con mayor pendiente en el fondo marino fue Calbuco, con un valor de 19,29%. La pendiente del fondo marino en el sitio de aterrizaje Linao, posee una pendiente suave de 0,82% (Tabla 6.1-1). Esta información se utilizará para evitar sectores de alta pendiente que perjudiquen el tendido del cable al momento de su instalación en el lecho marino.

Tabla 6.1-1: Pendiente del fondo marino en el área levantada con batimetría monohaz.
Fuente: Elaboración propia, utilizando MS Excel 2013.

RUTA NORTE	CALBUCO	LINAO
Pendiente	19,29%	0,82%

En el Anexo 4 (capítulo 12) se encuentran Figuras de la batimetría monohaz en los sitio de aterrizaje Calbuco y Linao.

6.2 TOPOGRAFÍA – TOPOBATIMETRÍA MONOHAZ

Dada a la existencia de predios particulares cercados, el levantamiento topográfico no pudo realizarse en toda la extensión planificada (250 m tierra adentro). En Calbuco alcanzó 60 m y en Linao 218 m. La información de las áreas levantadas se presenta en la Tabla 6.2-1 y 6.2-2 y en las Figuras 6.2-1 y 6.2-2.

Tabla 6.2-1: Levantamiento topográfico de sitios de aterrizaje en la Ruta Norte.
Fuente: Elaboración propia, utilizando MS Excel 2013.

RUTA NORTE	ANCHO APROX. M	LARGO APROX. M (BAJA MAR HACIA TIERRA)
ATERRIZAJE CALBUCO	135	60
ATERRIZAJE LIAO	122	218



Figura 6.2-1: Levantamiento topográfico en Calbuco.
Fuente: Elaboración propia, utilizando Google Earth Pro y Autocad Civil 3D 2012.

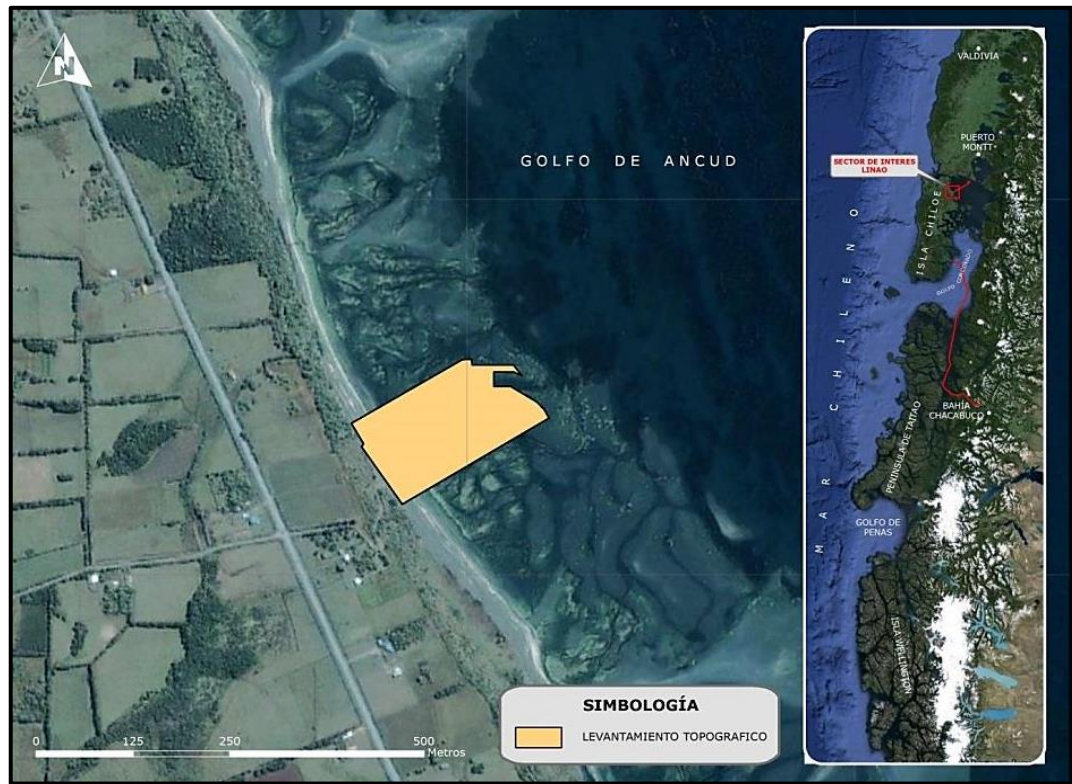


Figura 6.2-2: Levantamiento topográfico en Linao.
Fuente: Elaboración propia, utilizando Google Earth Pro y Autocad Civil 3D 2012.

Tabla 6.2-2: Descripción de sitios de aterrizaje en Ruta Norte.
Fuente: Elaboración propia, utilizando MS Excel 2013.

RUTA NORTE	DESCRIPCIÓN
CALBUCO	<p>La playa presenta una pendiente estable.</p> <p>No se observan obstáculos naturales de importancia en la ruta del cable.</p> <p>Hacia el Oeste y coincidente con la línea de alta marea, se presenta una alambrada. En ese sector hay un aumento en la pendiente, además de vegetación.</p> <p>La distancia horizontal registrada entre la línea de alta y baja marea es aproximadamente 70 m.</p> <p>La pendiente aproximada entre la línea de baja y alta marea es 7%.</p>
LINAO	<p>La playa presenta una pendiente suave.</p> <p>Se observan rocas no mayores de un metro de altura.</p> <p>Hacia el Suroeste y coincidente con la línea de alta marea, se presenta una alambrada y un talud que corona a 30 m de altura.</p> <p>La distancia horizontal registrada entre la línea de alta y baja marea es aproximadamente 220 m.</p> <p>La pendiente aproximada entre la línea de baja y alta marea es 2,27%.</p>

Las Figuras 6.2-3 y 6.2-4 muestran planos topo-batimétricos monohaz de los sitios de aterrizaje de Calbuco y Linao, donde se detallan los veriles asociados a los a la ruta de estudio según el procesamiento de traslape de los datos de batimetría y topografía.

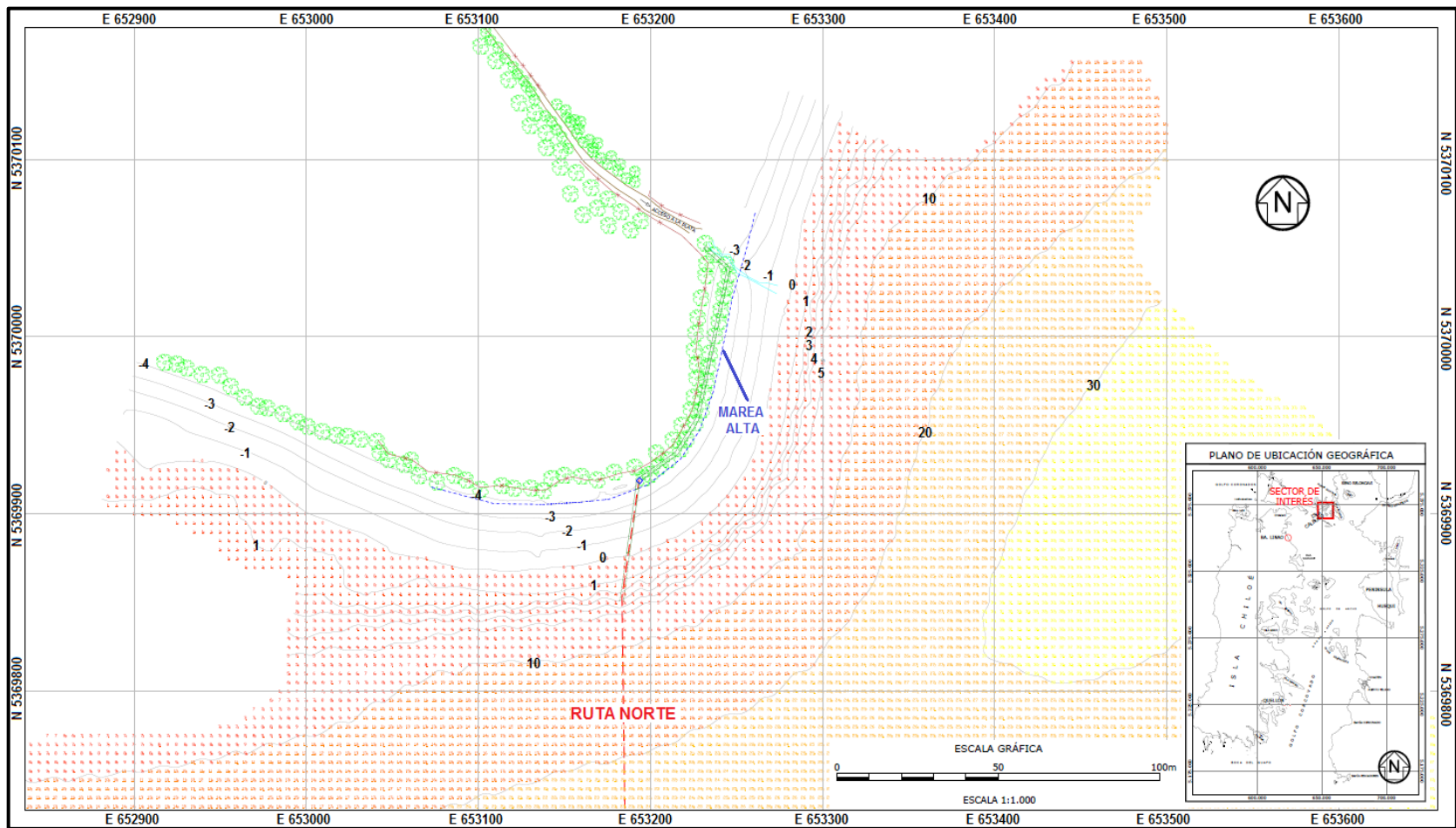


Figura 6.2-3: Plano topo-batimétrico monohaz del sitio de aterrizaje de Calbuco.
Fuente: Elaboración propia, utilizando Autocad Civil 3D 2012.

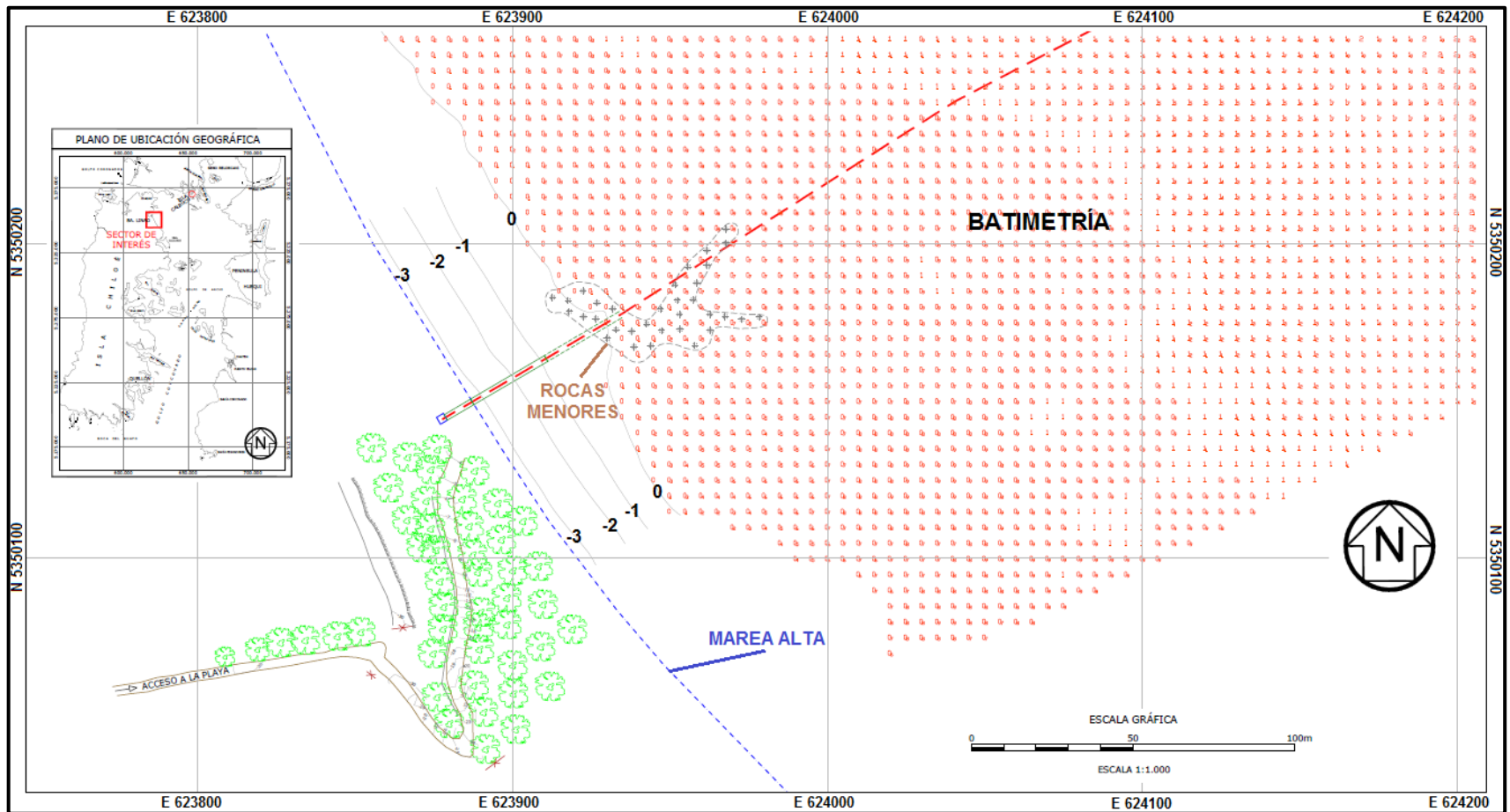


Figura 6.2-4: Plano topo-batimétrico monohaz del sitio de aterrizaje de Linao.
 Fuente: Elaboración propia, utilizando Autocad Civil 3D 2012.

6.3 SONAR DE BARRIDO LATERAL

Se realizó un levantamiento con el equipo sonar de barrido lateral que permitió cubrir una prospección sistemática del 100% del área planificada del estudio (según metodología descrita en el capítulo 5.4).

En el área del sitio de aterrizaje de Calbuco se levantaron un total de 8 líneas de derrota y en el sitio de aterrizaje de Linao el levantamiento correspondió a 5 líneas de derrota. Los datos fueron procesados e interpretados utilizando el software SonarWiz 5.

En post-proceso se consideró la depuración de detección de fondo así como correcciones geométricas y radiométricas del registro. A su vez, se generaron dos mosaicos (Calbuco y Linao) georreferenciados de las sonografías adquiridas y planos AutoCad de cada sitio de aterrizaje.

En los planos se georreferenció la siguiente información:

- ✓ Sonografías.
- ✓ Anomalías identificadas.
- ✓ Tipos de fondo.
- ✓ Superficies reflectivas.
- ✓ Superficies rugosas.
- ✓ Rasgos morfológicos.
- ✓ Ruta del cable submarino de fibra óptica (incluyendo kilometraje y veriles).

Según el análisis del levantamiento geofísico marino con el equipo sonar barrido lateral, no se identificaron elementos conspicuos de altura significativa (≥ 1 m) en la ruta del cable submarino.

No se observan obstáculos naturales de importancia en la ruta del cable (área del sitio de aterrizaje), sin embargo sugiere que en Linao las tareas de enterramiento del cable podrían verse afectadas por la presencia de bolones, troncos u otros elementos.

El instrumento no recolecta información bajo el mismo ya que los transductores del sonar se encuentran instalados a sus costados, por lo tanto se justifica realizar los traslapes para las distintas imágenes acústicas procesadas, completando la información faltante. Cabe mencionar que los tramos sin información se visualizan a través de una franja negra en los mosaicos.

El análisis de la información levantada posee alta concordancia con los resultados de la topo-batimetría (capítulo 6.1 y 6.2) e inspección submarina (capítulo 6.4).

En el Anexo 1, capítulo 9.4 se encuentran fotografías del levantamiento realizado.

En el Anexo 5, capítulo 13 se encuentra una lista de anomalías acústicas o blancos detectados que revelan la existencia de elementos destacados sobre el lecho marino (incluyendo posicionamiento y dimensiones).

A continuación, en la Tabla 6.3-1 se visualiza un resumen de los resultados obtenidos del levantamiento submarino, representados como sonogramas o mosaicos acústicos en las Figura 6.3-1 y 6.3-2, los cuales exponen que a lo largo de la Ruta Norte, incluyendo los sitios de aterrizaje, no se observan anomalías que pudiesen representar un obstáculo para el proyecto.

Tabla 6.3-1: Resumen resultados Ruta Norte.
Fuente: Elaboración propia, utilizando MS Excel 2013.

RUTA NORTE	DESCRIPCIÓN
CALBUCO	<p>Presencia mayoritaria de una superficie lisa reflectiva interpretada como un fondo marino constituido por sedimentos cuyo tamaño (de cantos a arenas) tiende a disminuir hacia el sur, de acuerdo a las imágenes de video submarinas obtenidas hasta el veril de los 20 m.</p> <p>Hacia el extremo Este del área, se destaca una extensa superficie rugosa de mayor reflectividad, la cual se interpreta como un fondo rocoso (Figura 6.3-1).</p> <p>A partir del km 0,2 se observa una superficie con patrones sinuosos (formas de fondo) interpretadas como un campo de geoformas (estructuras sedimentarias) orientado de Este a Oeste.</p> <p>No se observan a lo largo de la ruta proyectada del cable submarino, elementos que sobresalgan del fondo marino.</p> <p>En el Anexo 5 (capítulo 13.1) se presentan los principales blancos detectados, incluyendo su posición y dimensiones.</p>
LINAO	<p>La franja costera comprendida entre el km 37 hasta un poco más allá del km 36,4, corresponde a una superficie rugosa, la que según las imágenes de video submarinas, estaría conformada por bolones aislados, gravas y arenas (Figura 11.3-2).</p> <p>El sector Este presenta una superficie lisa, la que se interpreta como un fondo con cobertura sedimentaria fina.</p> <p>Hacia el Oeste, en las inmediaciones de la ruta del cable proyectado, se observan algunos elementos (blancos) dispersos sobre el fondo marino con alturas inferiores a un metro (ver Anexo 5, capítulo 13.2).</p>

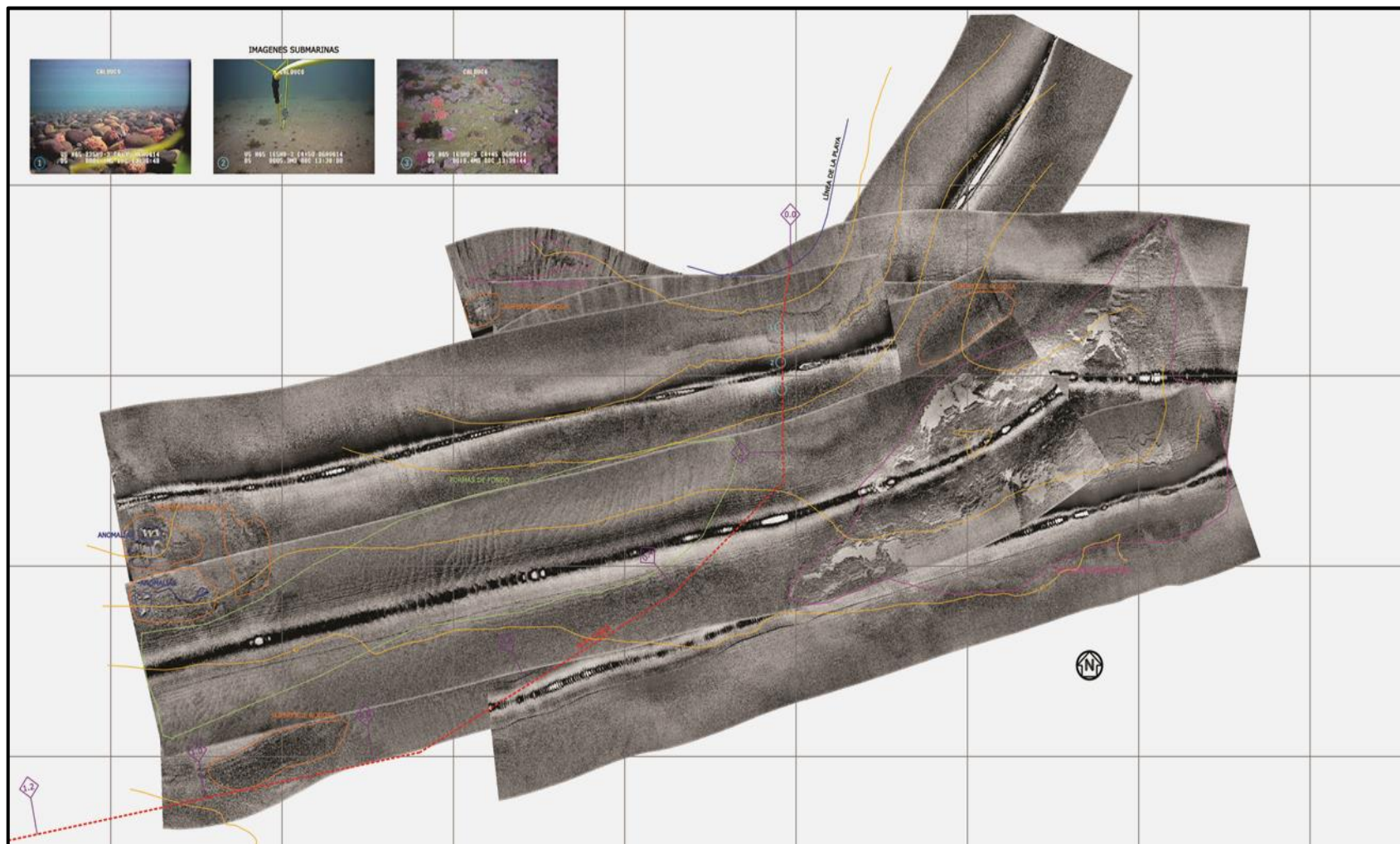
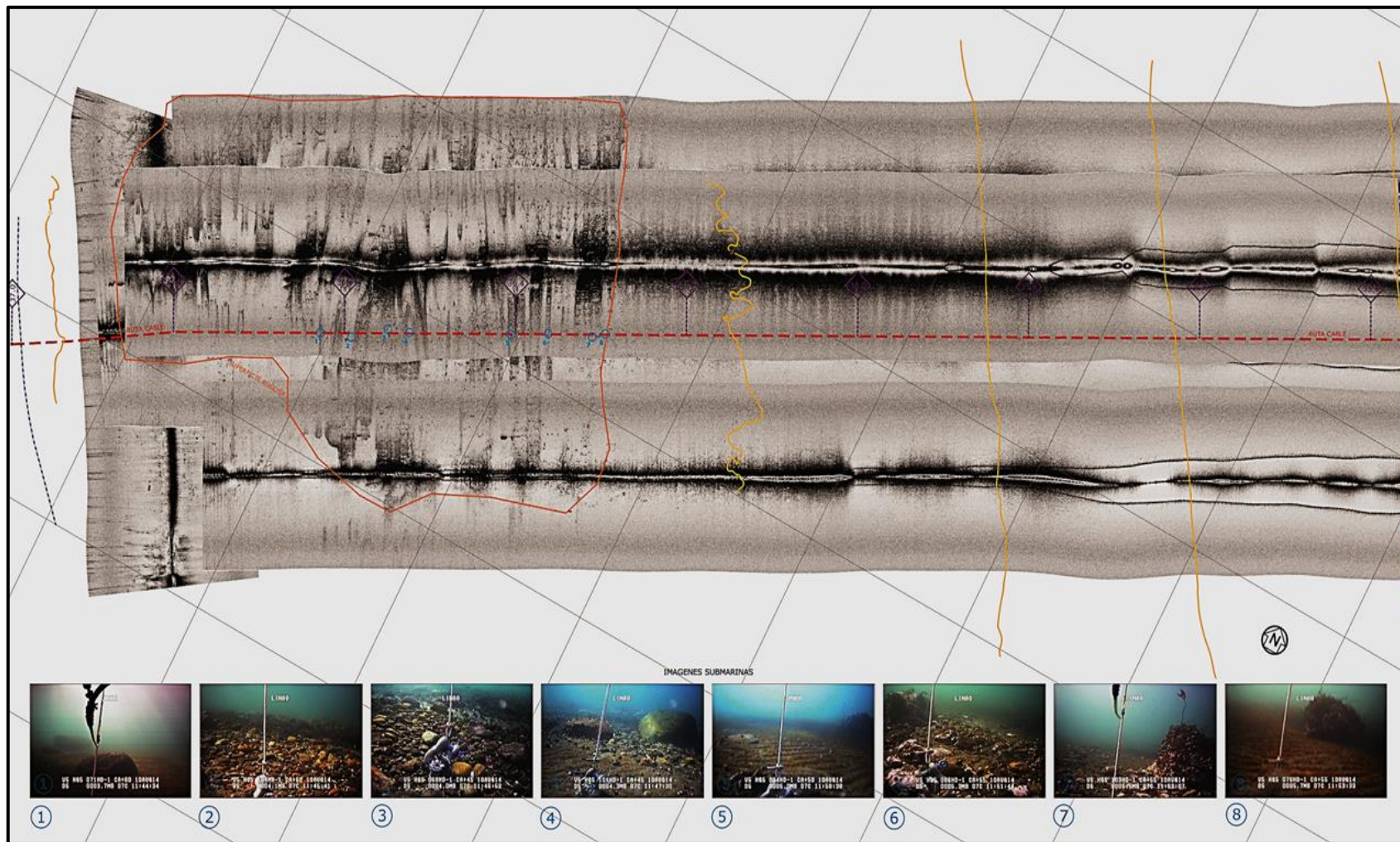


Figura 6.3-1: Imagen del Mosaico acústico obtenido con sonar de barrido lateral en el sector de Calbuco.
Fuente: Elaboración Propia, utilizando SonarWiz5 y Autocad Civil 3D 2012.



**Figura 6.3-2: Mosaico acústico obtenido con sonar de barrido lateral en el sector de Linao.
Fuente: Elaboración propia, utilizando SonarWiz5 y Autocad Civil 3D 2012.**

6.4 FILMACIONES CON ROV

Las condiciones de visibilidad durante las inspecciones submarinas resultaron adecuadas en los dos sitios de aterrizaje de la Ruta Norte (Calbuco - Linao). No obstante, las filmaciones debieron ser finalizadas al ocurrir pérdida de luz en el fondo marino en profundidades más altas.

Para la óptima maniobrabilidad del ROV (vehículo operado remotamente), se utilizó un lastre de 25 cm de largo y 15 cm de ancho. En función de éste, se estimaron y compararon las dimensiones de los blancos observados con los obtenidos con el sonar de barrido lateral, además de la batimetría desarrollada en el sitio de interés.

En general, la inspección submarina realizada mediante ROV confirma los resultados del sonar de barrido lateral, mostrando tanto en Calbuco como Linao, fondos compuestos de arenas y gravas con bolones aislados y cantos rodados.

Los resultados de la inspección se resumen en las Tablas 6.4-1 y 6.4-2. Cabe mencionar, que las horas de las filmaciones que se indican en las Tablas se visualizan mediante fotografías en las Figuras 6.4-1 y 6.4-2.

En Anexo 1, capítulo 9.5 se presentan fotografías generales de las filmaciones submarinas. Las coordenadas exactas de los blancos (rocas u objetos mayores) se detallan en el Anexo 5, capítulo 13.1 y 13.2 (levantamiento con sonar de barrido lateral).

Tabla 6.4-1: Resultados de la inspección en Calbuco, Ruta Norte.
Fuente: Elaboración propia, utilizando MS Excel 2013.

CALBUCO - INSPECCIÓN SUBMARINA RUTA NORTE	
DESCRIPCIÓN GENERAL	<p>La inspección se realizó desde el veril de 1 m hasta los 20 m de profundidad.</p> <p>El suelo corresponde a un fondo de pendiente moderado.</p> <p>Se recorrieron 92 m aproximadamente.</p> <p>En el sector somero se observa que el fondo está cubierto por cantos rodados de aproximadamente 20 cm de diámetro. A medida que la profundidad aumenta, disminuye la densidad de cantos rodados y se da paso a un fondo de arena.</p> <p>A partir de la hora 13:38:33 el suelo comienza a cubrirse de gravas, situación que ocurre hasta la profundidad estudiada.</p>
HORAS FILMACIONES	IDENTIFICACIÓN DE BLANCOS EN LA INSPECCIÓN
13:36:48	Inicio de filmación submarina - suelo arenoso cubierto de cantos rodados de aproximadamente 20 cm de diámetro.
13:38:00	Suelo arenoso con presencia de conchuelas.
13:38:33	Suelo arenoso cubierto de gravas y conchuelas.
13:38:44	Suelo arenoso cubierto de gravas y conchuelas.
13:39:07	Suelo arenoso cubierto de gravas. Situación que se presenta hasta el final de la inspección.
13:39:20	Fin de filmación submarina - suelo arenoso cubierto de gravas.



Figura 6.4-1: Imágenes Representativas Inspección Submarina en Calbuco.
Fuente: Elaboración propia (imágenes extraídas de las filmaciones).

Tabla 6.4-2: Resultados de la inspección en Linao, Ruta Norte.
Fuente: Elaboración propia, utilizando MS Excel 2013.

LINAO - INSPECCIÓN SUBMARINA RUTA NORTE	
DESCRIPCIÓN GENERAL	<p>La inspección se realizó desde el veril de 3 m hasta el veril de los 15 m.</p> <p>El suelo corresponde a un fondo plano o de pendiente muy suave.</p> <p>Se recorrieron 876 m aproximadamente.</p> <p>En el sector somero se observa que el fondo está cubierto de un sedimento fino con presencia de bolones aislados. A partir de los 4 m de profundidad se comienzan a visualizar gravas, cantos rodados y bolones, con un diámetro aproximado de 20 y 40 cm respectivamente. Posterior a ello, en la hora 11:47:30 de la inspección, se registran bolones aislados de mayor tamaño en un suelo arenoso, situación que ocurre en las horas 11:51:44, 11:53:07 y 11:53:32. Finalmente entre las profundidades 5 a 6 m, los bolones y cantos rodados disminuyen dando paso a un fondo de arena, escenario que se observa hasta el veril estudiado.</p>
HORAS FILMACIONES	IDENTIFICACIÓN DE BLANCOS EN LA INSPECCIÓN
11:38:19	Inicio de filmación submarina - suelo de arena fina.
11:44:34	Suelo arenoso. Se registran dos bolones aislados.
11:46:52	Suelo arenoso acompañado de cantos rodados, conchuelas y bolones de 35 cm de diámetro.
11:47:30	Suelo arenoso acompañado de cantos rodados, conchuelas y presencia de bolones aislados.
11:51:44	Suelo arenoso acompañado de gravas. Se registra un bolón.
11:53:07	Suelo arenoso acompañado de cantos rodados de diámetros de 10 a 20 cm. Se registra una roca de mayor tamaño.
11:53:32	Suelo arenoso. Se registra un bolón aislado. Posteriormente se observa un fondo completamente arenoso.
12:05:31	Fin de filmación submarina - suelo arenoso.

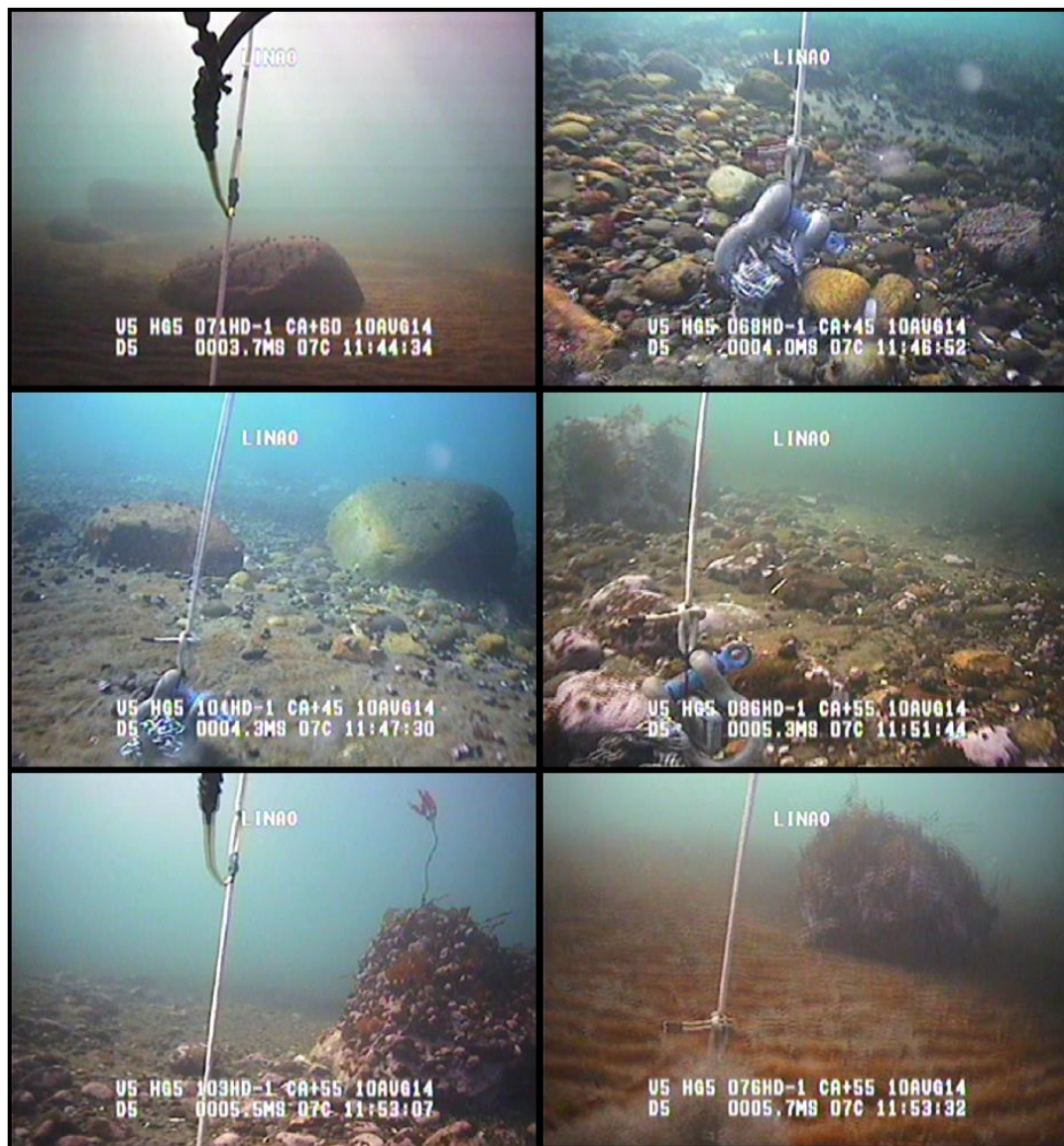


Figura 6.4-2: Imágenes representativas inspección submarina en Linao.
Fuente: Elaboración propia (imágenes extraídas de las filmaciones).

6.5 MUESTRAS DE PENETRACIÓN DE SEDIMENTOS

A fin de obtener información complementaria para apoyar la interpretación de los análisis topográficos y sonográficos del fondo marino del área del proyecto, se realizaron cuatro muestras de penetración de sedimentos por sitio de aterrizaje.

En general, los sedimentos de playas de los sitios de aterrizaje se componen de arena gravosa; las pruebas de penetración realizadas para estimar la consistencia del terreno arrojaron valores superiores a 30 cm cerca de la línea de playa.

La Tabla 6.5-1 muestra las coordenadas UTM de las estaciones consideradas por sitio de aterrizaje, la penetración lograda por estación y una descripción resumida del tipo de sedimento. Esta información se complementa con el registro fotográfico presentado en Anexo 2, capítulo 10.

Tabla 6.5-1: Descripción de sedimentos en los sitios de aterrizaje de la Ruta Norte.

Fuente: Elaboración propia, utilizando MS Excel 2013.

RUTA NORTE	MUESTRA	COORDENADAS UTM	PENETRACIÓN	DESCRIPCIÓN
Aterrizaje Calbuco	1	653188 E 5369882 S	54,5 cm	Suelo arenoso con gravas y conchuelas
	2	653191 E 5369892 S	77 cm	Suelo gravoso con conchuelas
	3	653198 E 5369906 S	65 cm	Suelo arenoso
	4	653194 E 5369918 S	16 cm	Suelo arenoso con gravas
Aterrizaje Linao	1	624067 E 5350182 S	33 cm	Suelo arenoso
	2	624011 E 5350163 S	100 cm	Suelo arenoso
	3	623956 E 5350145 S	32 cm	Suelo arenoso
	4	623900 E 5350129 S	54 cm	Suelo arenoso con presencia de algunas gravas

En la zona de aterrizaje de Calbuco, el rango de penetración de los sedimentos registrados varía entre los 16 a 54,5 cm (Figura 6.5-1), ya que a medida que nos alejamos de la línea de costa el suelo se vuelve más compacto. En las estaciones 1, 2 y 3 se presentaron sedimentos de matriz arenosa con presencias de gravas y conchuelas. Por otra parte, la estación 4 presentó un suelo altamente compactado con sedimentos arenosos.

En la zona de aterrizaje de Linao, el rango de penetración de los sedimentos registrados varía entre los 32 a 100 cm (Figura 6.5-2). En las estaciones 1, 2 y 3 se registraron suelos arenosos, sin embargo, la estación 4 presentó sedimentos arenosos con presencia de gravas y fragmentos calcáreos.

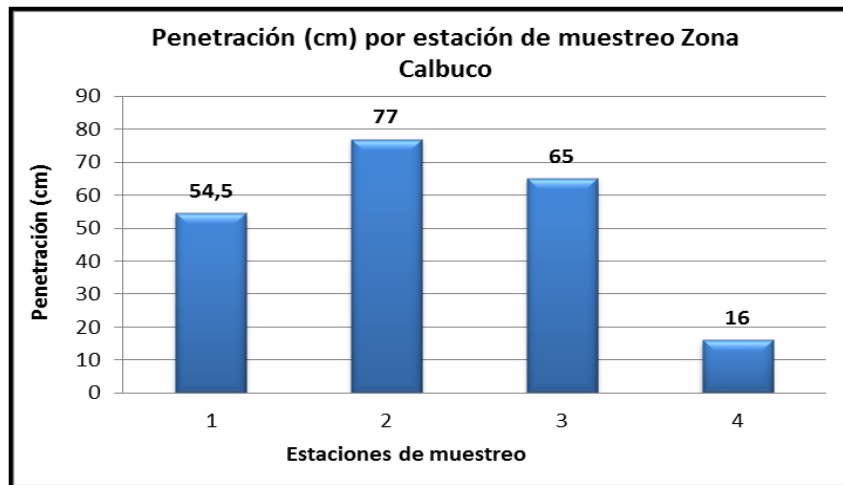


Figura 6.5-1: Penetración (cm) por estación de muestreo, en Calbuco (Ruta Norte).
Fuente: Elaboración propia, utilizando MS Excel 2013.

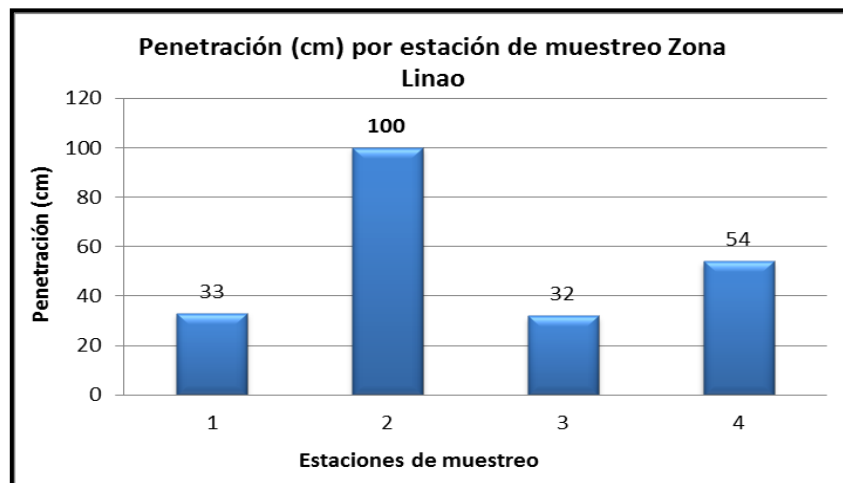


Figura 6.5-2: Penetración (cm) por estación de muestreo, en Linao (Ruta Norte).
Fuente: Elaboración propia, utilizando MS Excel 2013.

7. CONCLUSIONES

7.1 RUTA NORTE

Se realizó una prospección marina en el área de estudio denominada Ruta Norte, que correspondió al tramo oceánico de investigación para la búsqueda y establecimiento de una ruta de un cable submarino de fibra óptica.

La ruta de estudio denominada Ruta Norte, dio inicio en la isla de Calbuco (Puerto Montt), finalizando en el sitio de Linao (Isla de Chiloé), siendo estos dos los sitios de aterrizaje del cable submarino.

El levantamiento batimétrico de alta resolución con sonar multihaz en la Ruta Norte, tuvo un área total de 2.981 Has, específicamente 37,1 km de largo por 0,5 km de ancho (en promedio).

El resultado obtenido, indica que las mayores profundidades se registraron en la ruta a unos 13 km aproximados de Linao (340 m profundidad máxima). Las profundidades menores se registraron en el sector del Paso Corvio aproximadamente a 7 km de Calbuco.

El relieve submarino de la ruta se caracteriza por ser relativamente homogéneo, con pocas singularidades morfológicas en el sector del Canal Calbuco hasta el paso Corvio, km 7 de la ruta (desde Calbuco a Linao), con una profundidad que varía de entre 0 a 100 m. En el tramo desde el Paso Corvio hasta la Playa de Linao, el relieve es menos homogéneo aumentando en profundidad, registrándose la mayor en el km 24 de la ruta, alcanzando una profundidad de 340 m aproximadamente, entre el km 9 hasta el km 17 el fondo es relativamente plano.

No se registran hallazgos que pudiesen tener relevancia arqueológica.

7.2 SITIOS DE ATERRIZAJE DE LA RUTA NORTE

7.2.1 SITIO DE ATERRIZAJE DE CALBUCO

Los resultados del levantamiento realizado en el sitio de aterrizaje de Calbuco, permite describir el área como una playa de arena con presencia de grava, canto rodado⁴, conchuelas y fragmentos calcáreos⁵. El sustrato de la playa es blando obteniéndose

⁴ Canto rodado es una piedra pequeña, lisa y redonda como consecuencia del desgaste sufrido en una corriente de agua.

⁵ Los fragmentos calcáreos son aquellas rocas o elementos cuyos componentes esenciales son los carbonatos de calcio y magnesio.

penetraciones desde 16 hasta 77 cm, presentando el terreno una mayor resistencia a la hinca en dirección al supralitoral⁶.

La playa limita hacia tierra con una formación de matorrales y predios particulares, entre dicho límite y la línea de baja marea no se distinguen elementos conspicuos. Se observa un acceso vehicular formal a unos 300 m al norte del inicio de la ruta del cable, el cual se encuentra en malas condiciones, no permitiendo el acceso libre de vehículos a la playa, no se observan obras de infraestructura.

La playa presenta una pendiente estable donde es posible constatar la ausencia de obstáculos naturales de importancia. Hacia el Oeste y coincidente con la línea de alta marea, se presenta una alambrada, y un aumento en la pendiente, además de vegetación.

La distancia horizontal registrada entre la línea de alta y baja marea fluctúa entre 70 m.

La pendiente aproximada entre la línea de baja y alta marea es 7%.

La sección submareal⁷ (analizada con batimetría monohaz, sonar de barrido lateral y ROV), presenta un fondo con pendiente moderada (19,3%) constituido mayoritariamente por sedimentos gruesos (cantos) cuyo tamaño tiende a disminuir (arenas) a partir del veril de los 10 m. A mayor profundidad sobre el fondo marino se reconocen estructuras sedimentarias, sin registrar a lo largo de la ruta proyectada del cable elementos conspicuos de gran altura (≥ 1 m).

7.2.2 SITIO DE ATERRIZAJE DE LIAO

Los resultados del levantamiento permiten describir el sitio de aterrizaje de Liao como una playa de arena, observándose la presencia de la componente grava en dirección al supralitoral. El sustrato de la playa es blando obteniéndose penetraciones que van de 32 a 100 cm.

La playa presenta una pendiente suave donde es posible observar la existencia de obstáculos naturales (rocas) no mayores a un metro. Hacia el Suroeste y coincidente con la línea de alta marea, se presenta una alambrada y un talud abrupto que alcanza unos 30 m de altura.

La distancia horizontal registrada entre la línea de alta y baja marea es aproximadamente de 220 m.

La pendiente aproximada entre la línea de baja y alta marea es 2,27%.

⁶ Zona supralitoral o zona supramareal es el área que se encuentra sobre la línea más alta de las mareas vivas, cuya área queda sumergida por el agua de mar solamente en tormentas que coincidan con las mareas altas.

⁷ La zona submareal o zona de aguas someras corresponde al área más alejada de la costa y siempre se encuentra cubierta totalmente por el mar, coincidiendo su límite con el nivel de la bajamar.

La sección submareal presenta un fondo plano (0,8% de pendiente) cubierto por bolones aislados, cantos rodados, gravas y arenas, el cual se extiende hasta un poco antes del veril de los 5 m. A partir de este veril, se observa un fondo homogéneo con cobertura sedimentaria más fina. No se destacan a lo largo de la ruta proyectada del cable submarino elementos de altura significativa (≥ 1 m).

7.3 RECOMENDACIONES

Los resultados hallados indican que el tramo de estudio correspondiente a la Ruta Norte y los sitios de aterrizaje, poseen las características apropiadas para ser una alternativa de instalación de un cable submarino de fibra óptica, ya que la prospección marina realizada en la ruta no presenta ninguna clase de anomalía que no permita la instalación de dicho cable. Por otra parte, se debe destacar que a pesar de que no existen elementos conspicuos determinantes para el proyecto, en los inicios de la exploración marina se visualiza una gran cantidad de cantos rodados y gravas que pudiesen agregar dificultad a la hora de realizar la instalación del cable submarino. Es por esta razón, que a la hora de ejecutar la batimetría y el sonar de barrido lateral, se determina previamente un área de corredor relativamente ancha para el levantamiento (500 m batimetría – 300 m sonar), ya que de esa manera existe un resguardo para encontrar la ruta óptima del cable y a su vez no encontrarse con dificultades en la instalación, manipulación y funcionamiento futuro.

Por conclusión, la Ruta Norte sería una alternativa a utilizar para la instalación de un cable submarino de fibra óptica para telecomunicaciones, cuya conexión se denomina Chiloé-Continental (unión entre la isla de Calbuco-Puerto Montt y Linao-Chiloé), promoviendo así un progreso en el ámbito de conectividad de la Isla de Chiloé y el país.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agustin, J., X. Lurton, R., S. Dugelay, M., & C. Satra. (1996). *Contribution of the Multibeam Acoustic Imagery to the Exploration of the Sea-Bottom*. Marine Geophysical Researches, 18: 459-486.
- Ash, S. G., Morgan, M., & Clark, G. (2000). *From Elektron to E Commerce: 150 Years of Laying Submarine Cables*. Global Marine Systems Ltd.
- Camas Anzueto, J. L., Cerecedo Núñez, H. H., Kuzin, E. A., & Mendoza Vásquez, S. (2003). Caracterización de una señal pulsada porpagandose en fibra óptica. *Revista Mexicana de Física* 49 (2) 144-149.
- Chang, Y., Hsu, S., & Tsai, C. (2010). *Side Scan sonar image processing: Correcting Brightness variation and Patching Gaps*. Journal of Marine Science and Technology.
- Comisión Interministerial de Estrategias Marinas. (2015). *Directrices para la caracterización del material dragado y su reubicación en aguas del dominio marítimo-terrestre*. España.
- Dadson, S. R., & Collet, T. S. (2005). *Scientific results from the Mallik 2002 gas hydrate production well program*. Geological Survey of Canada Bulletin.
- Decusatis, C. (2008). *Handbook of Fiber Optic Data Communication*. Third Edition.
- Departamento de la Guajira. (2007). *Mejora de los Sistemas de Cartografía del Territorio Colombiano (Geodesia)*. Riohacha, Colombia.
- GEO Networks Limited. (2011). *Geo Subsea Fibre Optic Cable. Cable Installation Report Ireland*. Londres, Inglaterra.
- GZA . (2008). *Geophysical Survey Report Proposed Wind Farm and Submarine Cable Route, Hull, Massachusetts*.
- ICPC, UNEP, & UNEP-WCMC. (2009). *Submarine Cables and the Oceans: Connecting the World*. (I. I., U. U., & W. W., Edits.)
- Lawrence, J. P., Ralph, S. L., Knebel, H. J., & Persuad, M. (1999). *Sidescan sonar image, surficial geologic interpretation, and bathymetry of the long island sound sea floor off roanoke point, New York*.
- Léniz Drápela, R. (2008). *Navegación Costera R.L.D. Hidrografía*.
- National Oceanic and Atmospheric Administration, N. (2006). *Olympic Coast National Marine Sanctuary Habitat Mapping: Survey report and classification of side scan sonar data from surveys HMPR-114-2004-02 and HMPR-116-2005-01* .

- Nazamues Quenguan, A. L. (2009). *Estudio del Impacto de la Instalación del Cable Submarino en Punta Carnero en el Mercado de Telecomunicaciones*. Quito.
- Organización Hidrográfica Internacional. (2005). *Manual de Hidrografía*. Mónaco.
- Pickrill, R. A., & Todd, B. J. (2003). *The multiple roles of acoustic mapping in integrated ocean management, Canadian Atlantic continental margin*. Ocean and Coastal Management.
- Rodríguez Santana, Á., Antoranz Pecharromán, A., Menéndez González, I., & Cisneros Aguirre, J. (2006). *Geofísica Marina: Fundamentos y aplicación a la Tectónica Global*. Las Palmas, España: Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.
- Sánchez Moreno, J. A. (2005). *Escuela de Hidrografía - Manual de Hidrografía*. Cádiz, España: Escuela de Hidrografía de la Armada Española.
- Science Applications International. (2000). *Environmental Impact Report*. AT&T China-US Cable Network.
- Seco Peña, A. (2012 - 2013). *Cables Submarinos de Internet, Comunicación sin Fronteras*. Ética, legislación y Profesión.
- Seo, N. S. (2003). *Evaluation of High-power Endurance in Optical Fiber Links* *Evaluation of High-power Endurance in Optical Fiber Links*.
- SHOA. (2011). *Instrucciones Hidrográficas N°5 "Especificaciones Técnicas para la Ejecución de Sondajes"*. Valparaíso.
- SHOA, S. H. (2006). *CNE SHOA, Carta Náutica "Paso Guar a Golfo de Ancud", N° de Celda CL4LL030*. Valparaíso.
- Tello, R. J. (2010). *Global Positioning Calculus Using Protocol NMEA 0183 and Google Earth*. Lima, Perú: Facultad de Ingeniería Electrónica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- USDOJ. (2012). *Guidelines for Providing Geological and Geophysical, Hazards, and Archaeological Pursuant to 30 CFR Part 585*. EEUU, Estados Unidos.
- Vista al Mar. (2010). *Batimetría y otros Métodos Acústicos para Mapear el Fondo Marino*. Madrid, España.

9. ANEXO 1 - FOTOGRAFÍAS

9.1 FOTOGRAFÍAS GENERALES



Figura 9.1-1: Vista General Calbuco.
Fuente: Elaboración Propia, utilizando cámara digital Sony.



Figura 9.1-2: Cursor de agua Calbuco – Vista playa Calbuco (sitio de aterrizaje).
Fuente: Elaboración Propia, utilizando cámara digital Sony.



Figura 9.1-3: Vista General Linao.
Fuente: Elaboración Propia, utilizando cámara digital Sony.



Figura 9.1-4: Vista Playa Linao (sitio de aterrizaje).
Fuente: Elaboración Propia, utilizando cámara digital Sony.

9.2 FOTOGRAFÍAS DEL SISTEMA MULTHAZ



Figura 9.2-1: Embarcación usada para el levantamiento multihaz.
Fuente: Elaboración Propia, utilizando cámara digital Sony.



Figura 9.2-2: GPS instalado en la embarcación – Proceso de levantamiento.
Fuente: Elaboración Propia, utilizando cámara digital Sony.

9.3 FOTOGRAFÍAS DEL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO



Figura 9.3-1: Vista general de Topografía en Calbuco.
Fuente: Elaboración Propia, utilizando cámara digital Sony.



Figura 9.3-2: Topografía en Linao.
Fuente: Elaboración Propia, utilizando cámara digital Sony.

9.4 FOTOGRAFÍAS DEL LEVANTAMIENTO CON SONAR DE BARRIDO LATERAL



Figura 9.4-1: Embarcación usada para el levantamiento – Sonar de Barrido Lateral.
Fuente: Elaboración Propia, utilizando cámara digital Sony.

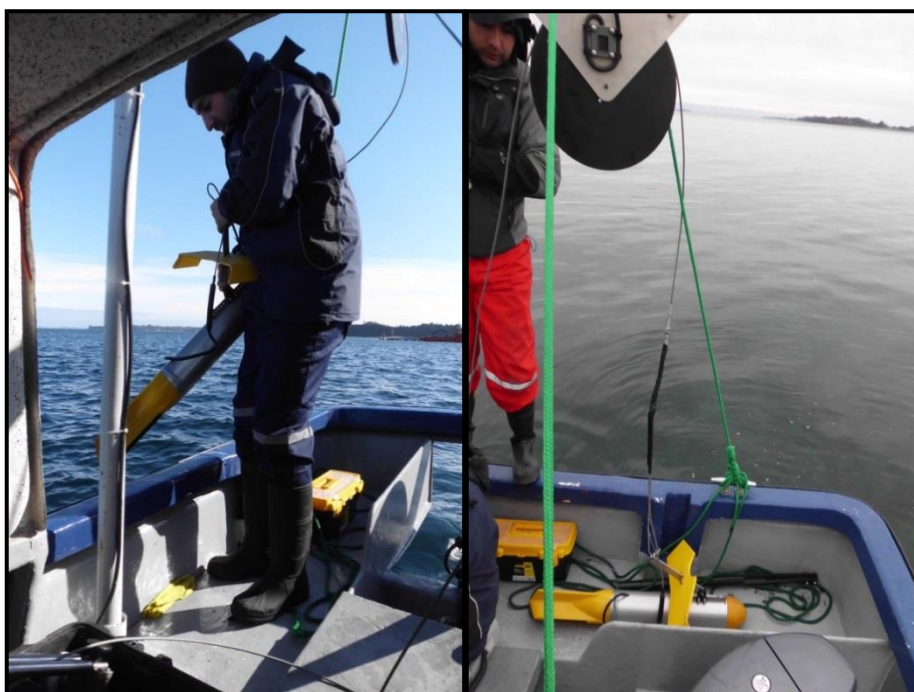
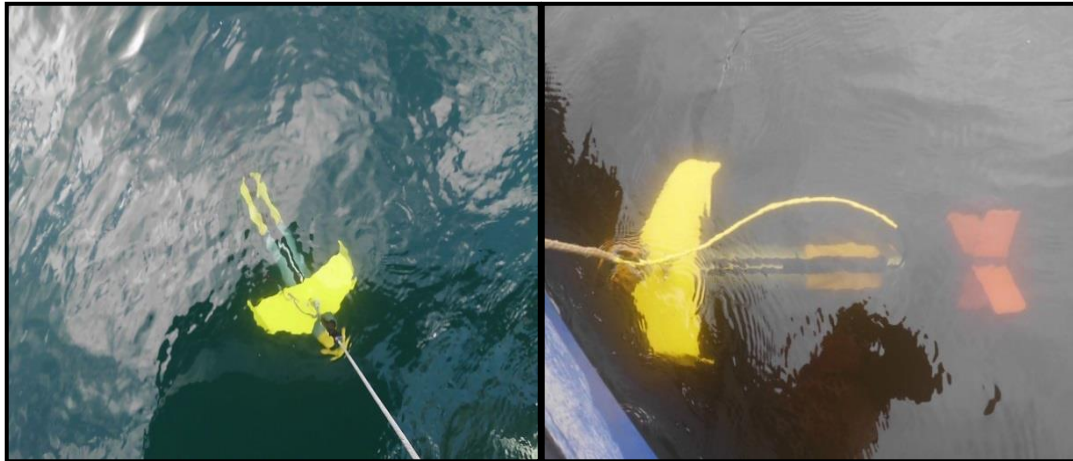
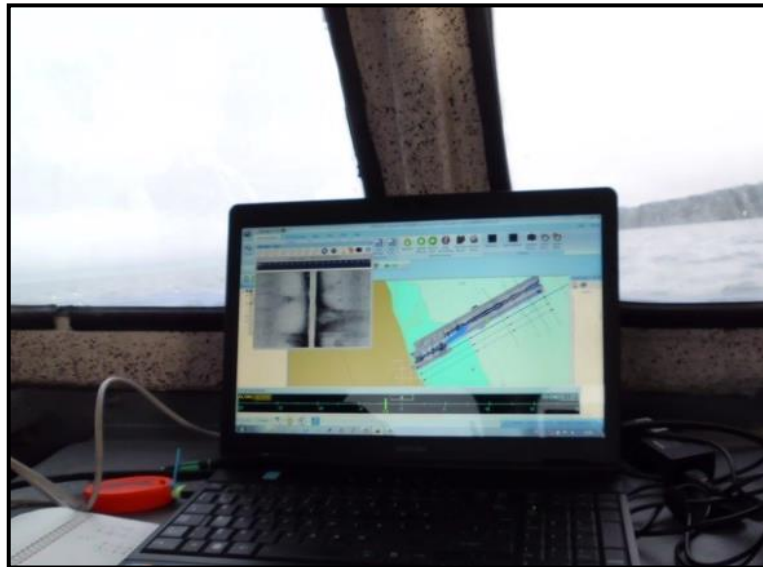


Figura 9.4-2: Preparativos de inmersión del instrumento.
Fuente: Elaboración Propia, utilizando cámara digital Sony.



**Figura 9.4-3: Sonar de Barrido Lateral en Calbuco y Linao.
Fuente: Elaboración Propia, utilizando cámara digital Sony.**



**Figura 9.4-4: Levantamiento con Sonar de Barrido Lateral.
Fuente: Elaboración Propia, utilizando cámara digital Sony.**

9.5 FOTOGRAFÍAS DE FILMACIONES SUBMARINAS CON ROV



Figura 9.5-1: Levantamiento con ROV.
Fuente: Elaboración Propia, utilizando cámara digital Sony.



Figura 9.5-2: levantamiento con ROV – Filmaciones submarinas.
Fuente: Elaboración Propia, utilizando cámara digital Sony.



Figura 9.5-3: Inspección con ROV en sitio de aterrizaje Calbuco.
Fuente: Elaboración Propia, utilizando cámara digital Sony.

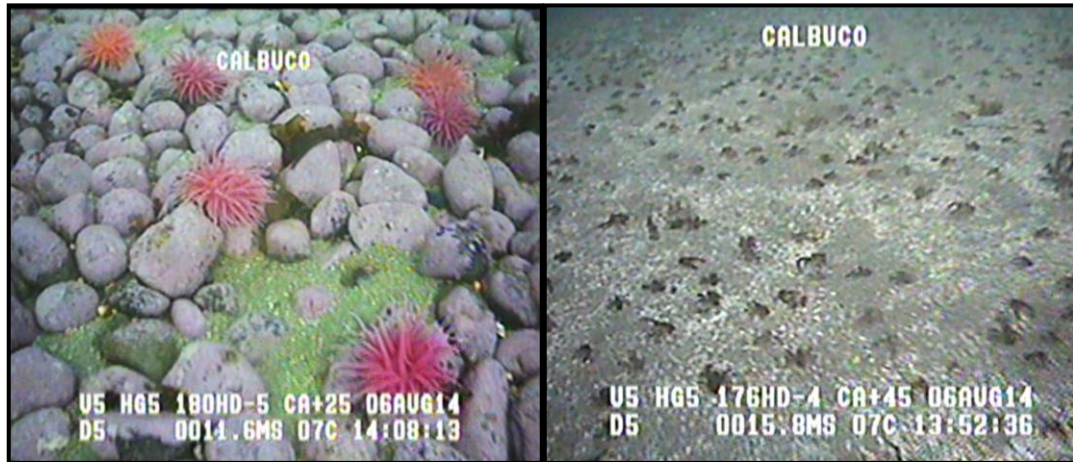


Figura 9.5-4: Inspección con ROV en sitio de aterrizaje Calbuco (2).
Fuente: Elaboración Propia, utilizando cámara digital Sony.

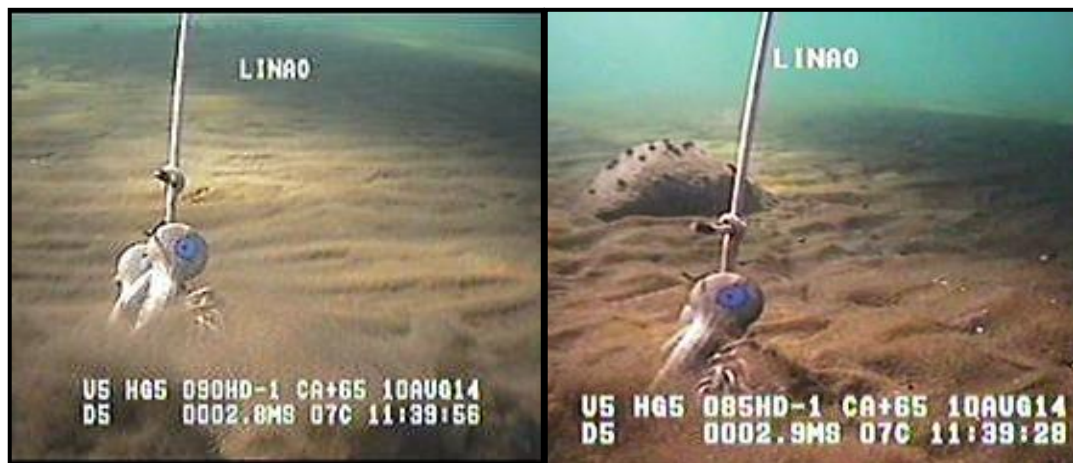


Figura 9.5-5: Inspección con ROV en sitio de aterrizaje Linao.
Fuente: Elaboración Propia, utilizando cámara digital Sony.











Figura 9.5-6: Inspección con ROV en sitio de aterrizaje Linao (2).
Fuente: Elaboración Propia, utilizando cámara digital Sony.

10. ANEXO 2 - SEDIMENTO DE PLAYA









10.1 SITIO DE ATERRIZAJE EN CALBUCO

Tabla 10.1-1: Penetración de sedimento de playa en sitio de aterrizaje Calbuco.
Fuente: Elaboración propia, utilizando MS Excel 2013.

ESTACIÓN CALBUCO	FOTO 1	FOTO 2	PENETRACIÓN
1			54,5 cm
2			77,0 cm
3			65,0 cm
4			16,0 cm

10.2 SITIO DE ATERRIZAJE EN LIAO

Tabla 10.2-1: Penetración de sedimento de playa en sitio de aterrizaje Liao.
Fuente: Elaboración propia, utilizando MS Excel 2013.

ESTACIÓN LIAO	FOTO 1	FOTO 2	PENETRACIÓN
1			33,0 cm
2			100,0 cm
3			32,0 cm
4			54,0 cm

11. ANEXO 3 - DATOS DE VELOCIDAD DEL SONIDO

11.1 VELOCIDAD DEL SONIDO (PRUEBA DE PARCHE)

Tabla 11.1-1: Datos de profundidad y velocidad del sonido en área de prueba de parche.
Fuente: Elaboración propia, utilizando MS Excel 2013.

PROFUNDIDAD [m]	VELOCIDAD DEL SONIDO [m/s]	PROFUNDIDAD [m]	VELOCIDAD DEL SONIDO [m/s]
0,9	1488,4	29,1	1489,3
1,1	1488,4	30,1	1489,3
2,0	1488,4	31,0	1489,3
3,0	1488,4	32,0	1489,3
4,1	1488,5	33,1	1489,3
5,0	1488,5	34,0	1489,3
6,0	1488,5	35,0	1489,4
7,1	1488,6	36,0	1489,4
8,0	1488,6	37,0	1489,4
9,1	1488,6	38,1	1489,4
10,0	1488,6	39,0	1489,4
11,0	1488,7	40,0	1489,4
12,1	1488,7	41,1	1489,4
13,0	1488,7	42,0	1489,5
14,0	1488,8	43,0	1489,5
15,1	1488,8	44,1	1489,5
16,0	1488,8	45,0	1489,5
17,0	1488,8	46,0	1489,5
18,1	1488,8	46,9	1489,6
19,0	1488,8	47,1	1489,6
20,0	1488,9	47,2	1489,6
21,1	1489,0	48,0	1489,6
22,0	1489,0	49,0	1489,6
23,0	1489,0	50,1	1489,6
24,1	1489,1	51,0	1489,6
25,0	1489,1	52,0	1489,6
26,0	1489,2	53,1	1489,6
27,1	1489,2	54,0	1489,7
28,0	1489,2	55,0	1489,7
28,8	1489,3	56,1	1489,7
29,0	1489,2	57,0	1489,7

Tabla 11.1-2: Datos de profundidad y velocidad del sonido en área de prueba de parche (2).
Fuente: Elaboración propia, utilizando MS Excel 2013.

PROFUNDIDAD [m]	VELOCIDAD DEL SONIDO [m/s]	PROFUNDIDAD [m]	VELOCIDAD DEL SONIDO [m/s]
58	1489,7	81	1490,1
59,1	1489,8	82,1	1490,2
60	1489,8	83	1490,2
61	1489,8	83,8	1490,2
62,1	1489,8	84	1490,2
63	1489,8	84,1	1490,2
64,1	1489,8	85,1	1490,2
65	1489,8	86	1490,2
66	1489,9	87	1490,2
67,1	1489,9	88,1	1490,2
68	1489,9	89	1490,3
69	1489,9	90	1490,3
70,1	1489,9	91	1490,3
71	1490	92	1490,3
71,8	1490	93,1	1490,3
72	1490	94	1490,4
72,1	1490	95	1490,4
73,1	1490	96,1	1490,4
74	1490	97	1490,4
75	1490	98	1490,4
76,1	1490,1	99,1	1490,4
77	1490,1	100	1490,4
78	1490,1	101	1490,5
79,1	1490,1	102,1	1490,5
80	1490,1	103	1490,5

11.2 VELOCIDAD DEL SONIDO (CALBUCO)

Tabla 11.2-1: Datos de profundidad y velocidad del sonido en área de Calbuco.
Fuente: Elaboración propia, utilizando MS Excel 2013.

PROFUNDIDAD [m]	VELOCIDAD DEL SONIDO [m/s]	PROFUNDIDAD [m]	VELOCIDAD DEL SONIDO [m/s]
2,2	1488,5	31,8	1489,3
3,0	1488,6	32,9	1489,3
4,1	1488,7	33,8	1489,3
5,0	1488,6	34,9	1489,3
6,0	1488,7	35,8	1489,3
7,1	1488,7	36,8	1489,3
8,0	1488,8	37,9	1489,4
9,2	1488,8	38,8	1489,4
9,9	1488,8	39,8	1489,4
10,9	1488,8	40,9	1489,4
12,1	1488,8	41,8	1489,4
12,9	1488,8	42,8	1489,4
13,9	1488,9	43,9	1489,5
15,0	1488,9	44,6	1489,5
15,9	1488,9	44,7	1489,5
16,9	1488,9	45,0	1489,5
18,0	1489,0	45,7	1489,5
18,9	1489,0	46,8	1489,6
19,9	1489,0	47,7	1489,6
21,0	1489,0	48,7	1489,6
21,9	1489,0	49,6	1489,6
22,9	1489,1	49,8	1489,6
24,0	1489,1	50,7	1489,6
24,9	1489,1	51,7	1489,7
25,8	1489,1	52,8	1489,7
27,0	1489,2	53,7	1489,7
27,8	1489,2	54,7	1489,7
28,8	1489,2	55,6	1489,8
30,0	1489,2	55,8	1489,8
30,8	1489,2		

11.3 VELOCIDAD DEL SONIDO (LINAO)

Tabla 11.3-1: Datos de profundidad y velocidad del sonido en área de Linao.
Fuente: Elaboración propia, utilizando MS Excel 2013.

PROFUNDIDAD [m]	VELOCIDAD DEL SONIDO [m/s]	PROFUNDIDAD [m]	VELOCIDAD DEL SONIDO [m/s]
2,0	1487,8	31,8	1488,4
3,0	1487,8	32,9	1488,5
4,1	1487,8	33,8	1488,5
5,0	1487,8	34,8	1488,5
6,0	1487,9	35,8	1488,5
7,1	1487,9	36,8	1488,5
8,0	1487,9	37,9	1488,6
9,1	1487,9	38,8	1488,6
9,9	1488,0	39,8	1488,6
10,9	1487,9	40,9	1488,6
12,1	1488,0	41,8	1488,7
12,9	1488,0	42,8	1488,7
13,9	1488,0	43,9	1488,8
15,0	1488,0	44,7	1488,8
15,9	1488,0	45,7	1488,8
16,9	1488,1	46,8	1488,9
18,0	1488,1	47,7	1488,9
18,9	1488,1	48,7	1488,9
19,9	1488,1	49,8	1489,0
21,0	1488,2	50,7	1489,0
21,9	1488,2	51,7	1489,0
22,9	1488,2	52,8	1489,0
24,0	1488,2	53,7	1489,1
24,9	1488,2	54,7	1489,1
25,8	1488,3	55,8	1489,1
27,0	1488,3	56,7	1489,1
27,8	1488,3	57,7	1489,1
28,8	1488,3	58,8	1489,1
30,0	1488,3	59,6	1489,2
30,8	1488,4	60,6	1489,2

Tabla 11.3-2: Datos de profundidad y velocidad del sonido en área de Linao (2).
Fuente: Elaboración propia, utilizando MS Excel 2013.

PROFUNDIDAD [m]	VELOCIDAD DEL SONIDO [m/s]	PROFUNDIDAD [m]	VELOCIDAD DEL SONIDO [m/s]
61,8	1489,2	87,6	1490,0
62,6	1489,3	88,5	1490,0
63,8	1489,4	89,2	1489,9
64,5	1489,4	89,5	1490,0
64,6	1489,4	89,6	1490,0
64,9	1489,4	90,5	1489,9
65,6	1489,5	91,5	1490,0
66,7	1489,6	92,6	1489,9
67,5	1489,6	93,3	1489,9
67,6	1489,6	93,4	1489,9
67,8	1489,6	93,7	1489,9
68,6	1489,6	94,4	1490,0
69,7	1489,7	95,6	1490,0
70,6	1489,7	96,4	1490,0
71,6	1489,8	97,2	1490,0
72,7	1489,8	97,4	1490,0
73,6	1489,8	97,6	1490,0
74,6	1489,8	98,5	1490,1
75,7	1489,8	99,4	1490,1
76,6	1489,8	100,2	1490,1
77,5	1489,8	100,4	1490,1
78,7	1489,8	100,5	1490,1
79,5	1489,9	101,5	1490,1
80,5	1489,9	102,4	1490,1
81,6	1489,9	103,4	1490,2
82,5	1489,9	104,5	1490,2
83,5	1489,9	105,4	1490,2
84,6	1489,9	106,4	1490,2
85,5	1490,0	107,5	1490,2
86,5	1490,0	108,4	1490,2

Tabla 11.3-3: Datos de profundidad y velocidad del sonido en área de Linao (3).
Fuente: Elaboración propia, utilizando MS Excel 2013.

PROFUNDIDAD [m]	VELOCIDAD DEL SONIDO [m/s]	PROFUNDIDAD [m]	VELOCIDAD DEL SONIDO [m/s]
109,4	1490,3	136,3	1490,7
110,5	1490,3	137,2	1490,7
111,3	1490,3	138,2	1490,8
112,3	1490,4	139,3	1490,8
113,4	1490,4	140,2	1490,8
114,3	1490,4	141,2	1490,8
115,3	1490,4	142,1	1490,8
116,2	1490,4	143,1	1490,8
116,4	1490,4	144,3	1490,8
116,6	1490,4	145,0	1490,9
117,3	1490,4	145,1	1490,9
118,4	1490,4	145,4	1490,9
119,3	1490,5	146,1	1490,9
120,3	1490,5	147,2	1490,9
121,2	1490,5	148,1	1490,9
121,4	1490,5	149,1	1490,9
122,3	1490,5	150,2	1491,0
123,3	1490,5	151,1	1491,0
124,4	1490,5	152,1	1491,0
125,2	1490,5	152,9	1491,0
126,2	1490,6	153,2	1491,0
127,4	1490,6	154,1	1491,0
128,2	1490,6	155,1	1491,0
129,2	1490,6	156,2	1491,0
130,3	1490,6	156,9	1491,1
131,2	1490,6	157,0	1491,1
132,2	1490,6	157,3	1491,1
133,3	1490,7	158,0	1491,1
134,2	1490,7	159,2	1491,1
135,2	1490,7	160,0	1491,1
136,1	1490,7	161,0	1491,1

12. ANEXO 4 - IMÁGENES BATIMÉTRICAS

12.1 BATIMETRÍA MONOHAZ ATERRIZAJE CALBUCO - LIAO

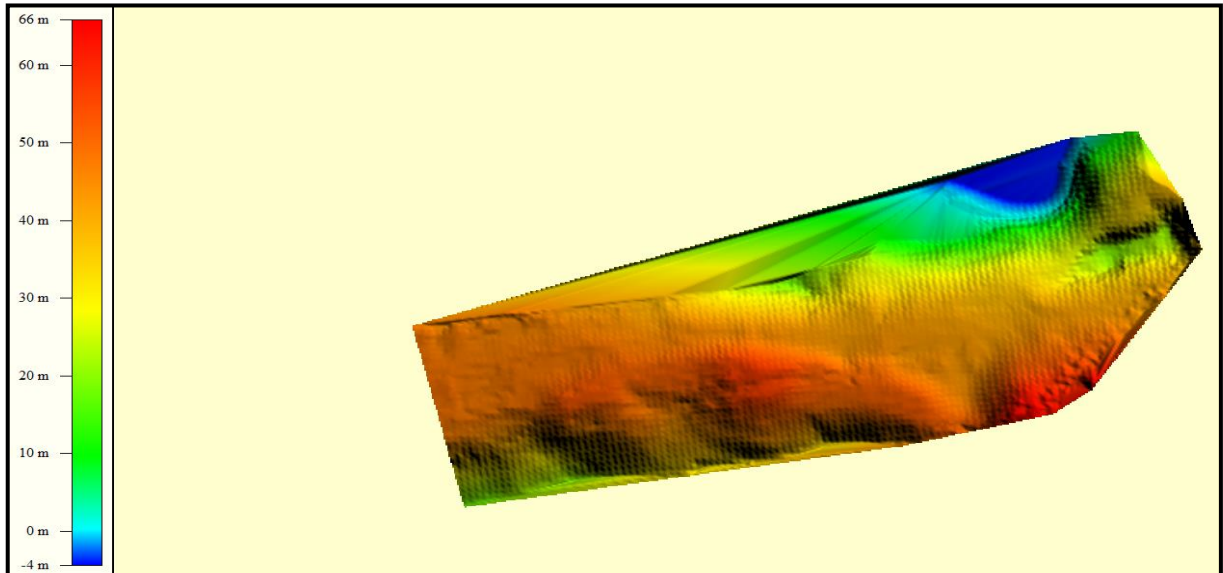


Figura 12.1-1: Batimetría monohaz en el sitio de aterrizaje de Calbuco.
Fuente: Elaboración propia.

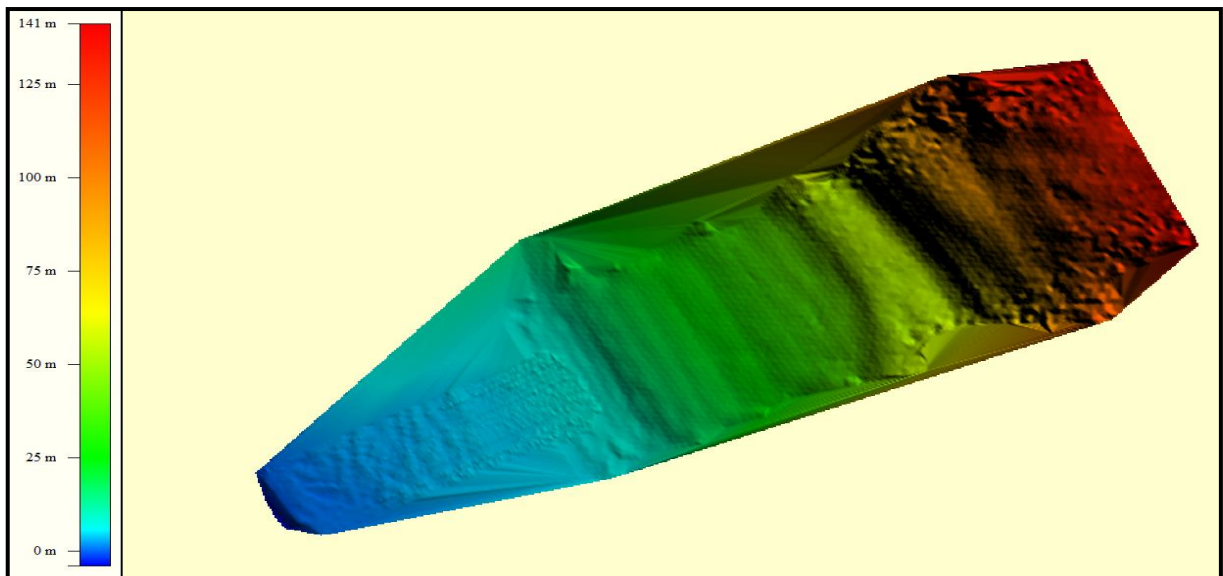


Figura 12.1-2: Batimetría monohaz en el sitio de aterrizaje de Linao.
Fuente: Elaboración propia.

13. ANEXO 5 - BLANCOS DETECTADOS CON SSS

13.1 BLANCOS EN SITIO DE ATERRIZAJE CALBUCO

Tabla 13.1-1: Blancos detectados en sitio de aterrizaje Calbuco.
Fuente: Elaboración propia, utilizando MS Excel 2103.


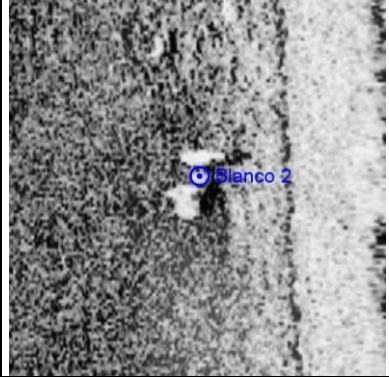
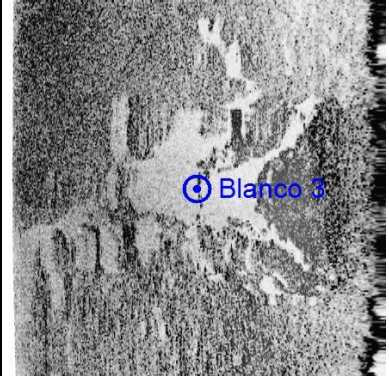
IMAGEN DEL BLANCO	COORDENADAS UTM (DATUM WGS84, ZONA 18S)	DIMENSIONES
 <p>A sonar image showing a bright, irregularly shaped white object (Blanco 1) on a dark, textured seabed. A blue circular marker with a white center is placed on the object, labeled 'Blanco 1'.</p>	<p>Blanco 1 652435,32 (E); 5369605,47 (N) Altura del sonar: 10,4 m</p>	<p>Ancho: 6,7 m Altura: indefinida Longitud: 16,8 m</p>
 <p>A sonar image showing a small, bright white object (Blanco 2) on a dark, textured seabed. A blue circular marker with a white center is placed on the object, labeled 'Blanco 2'.</p>	<p>Blanco 2 652443,35 (E) 5369559,16 (N) Altura del sonar: 10,4 m</p>	<p>Ancho: 4,6 m Altura: 0,6 m Longitud: 7,5 m</p>
 <p>A sonar image showing a large, bright white object (Blanco 3) on a dark, textured seabed. A blue circular marker with a white center is placed on the object, labeled 'Blanco 3'.</p>	<p>Blanco 3 653561,21 (E) 5369847,79 (N) Altura del sonar: 14,0 m</p>	<p>Ancho: 39,5 m Altura: indefinida Longitud: 30,1 m</p>

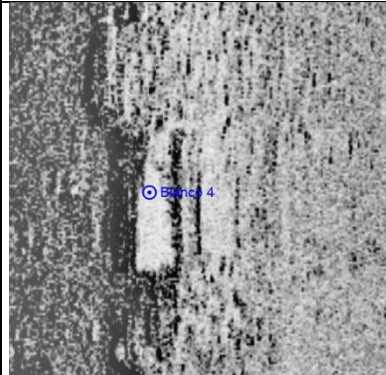
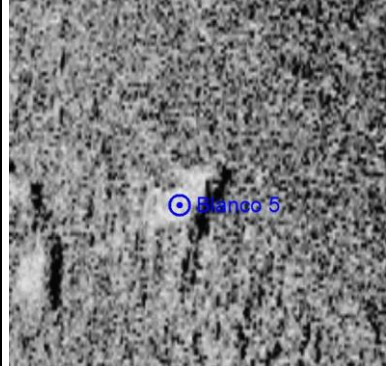
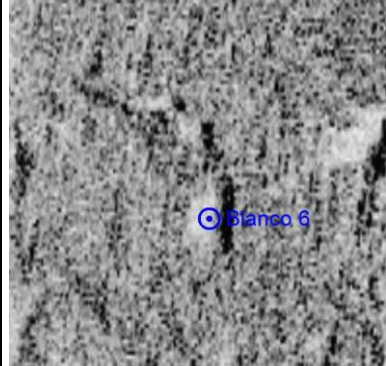
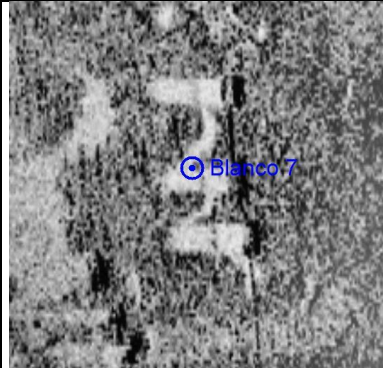

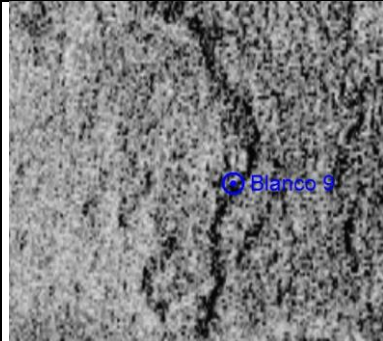
IMAGEN DEL BLANCO	COORDENADAS UTM (DATUM WGS84, ZONA 18S)	DIMENSIONES
 <p>A grayscale sonar image showing a vertical, dark, textured feature. A blue circle with a white center and the text 'Blanco 4' is positioned to the right of the feature.</p>	<p>Blanco 4 653294,35 (E) 5369628,45 (N) Altura del sonar: 14,8 m</p>	<p>Ancho: 4,0 m Altura: 0,2 m Longitud: 13,5 m</p>
 <p>A grayscale sonar image showing a vertical, dark, textured feature. A blue circle with a white center and the text 'Blanco 5' is positioned to the right of the feature.</p>	<p>Blanco 5 652438,51 (E) 5369552, (N) Altura del sonar: 29,8 m</p>	<p>Ancho: 4,1 m Altura: 0,8 m Longitud: 9,2 m</p>
 <p>A grayscale sonar image showing a vertical, dark, textured feature. A blue circle with a white center and the text 'Blanco 6' is positioned to the right of the feature.</p>	<p>Blanco 6 652441,85 (E) 5369567,28 (N) Altura del sonar: 29,6 m</p>	<p>Ancho: 2,7 m Altura: 0,5 m Longitud: 6,4 m</p>

IMAGEN DEL BLANCO	COORDENADAS UTM (DATUM WGS84, ZONA 18S)	DIMENSIONES
 <p>A sonar image showing a dark, vertical object in the center, likely a marker or structure. A blue circle with a white dot and the text 'Blanco 7' is overlaid on the object.</p>	<p>Blanco 7 652446,48 (E) 5369633,93 (N) Altura del sonar: 8,7 m</p>	<p>Ancho: 7,7 m Altura: 0,5 m Longitud: 24,2 m</p>
 <p>A sonar image showing a dark, curved object on the left side. A blue circle with a white dot and the text 'Blanco 8' is overlaid on the object.</p>	<p>Blanco 8 653550,15 (E) 5369831,86 (N) Altura del sonar: 21,6 m</p>	<p>Ancho: 7,7 m Altura: 1,0 m Longitud: 19,9 m</p>
 <p>A sonar image showing a dark, vertical object in the center. A blue circle with a white dot and the text 'Blanco 9' is overlaid on the object.</p>	<p>Blanco 9 652497,30 (E) 5369565,45 (N) Altura del sonar: 29,2 m</p>	<p>Ancho: 0,0 m Altura: - Longitud: 63,0 m</p>

13.2 BLANCOS EN SITIO DE ATERRIZAJE LIAO

Tabla 13.2-1: Blancos detectados en sitio de aterrizaje Liao.
Fuente: Elaboración propia, utilizando MS Excel 2103.

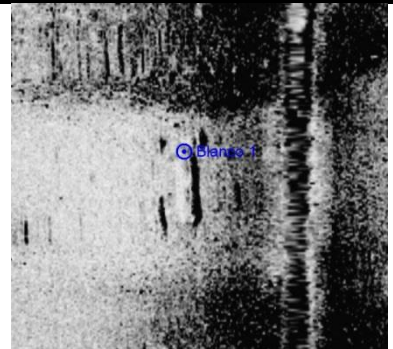
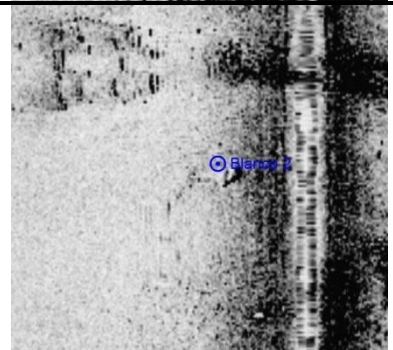

IMAGEN DEL BLANCO	COORDENADAS UTM (DATUM WGS84, ZONA 18S)	DIMENSIONES
 <p>A sonar image showing a dark, vertical, elongated feature labeled 'Blanco 1' in blue text with a small circle next to it. The background is a light, grainy texture.</p>	<p>Blanco 1 624289,55 (E) 5350529,83 (N) Altura del sonar: 3,0 m</p>	<p>Ancho: 1,9 m Altura: 0,2 m Longitud: 8,1 m</p>
 <p>A sonar image showing a dark, vertical, elongated feature labeled 'Blanco 2' in blue text with a small circle next to it. The background is a light, grainy texture.</p>	<p>Blanco 2 624045,05 (E) 5350406,57 (N) Altura del sonar: 1,8 m</p>	<p>Ancho: 4,3 m Altura: 0,1 m Longitud: 2,6 m</p>
 <p>A sonar image showing a dark, vertical, elongated feature labeled 'Blanco 3' in blue text with a small circle next to it. The background is a light, grainy texture.</p>	<p>Blanco 3 624025,64 (E) 5350384,39 (N) Altura del sonar: 1,7 m</p>	<p>Ancho: 0,6 m Altura: <0,1 m Longitud: 6,0 m</p>

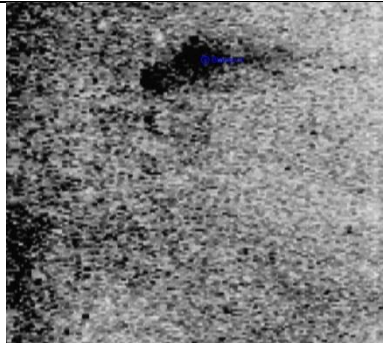
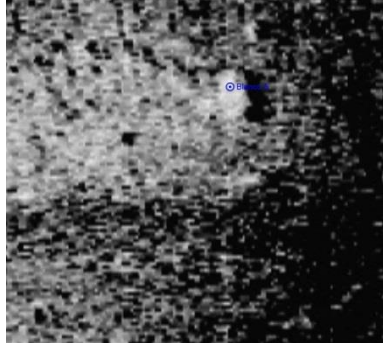
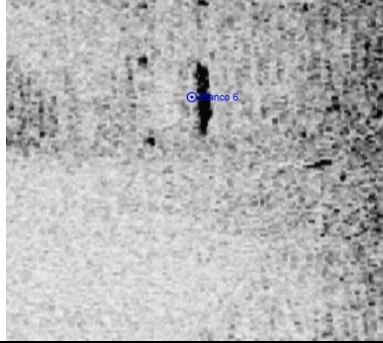
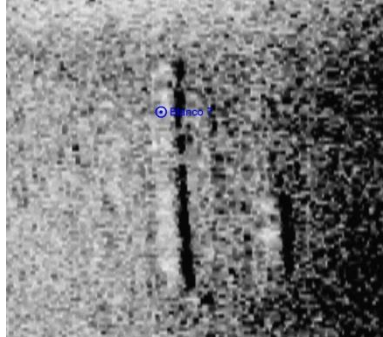
IMAGEN DEL BLANCO	COORDENADAS UTM (DATUM WGS84, ZONA 18S)	DIMENSIONES
	<p>Blanco 4 623963,92 (E) 5350265,45 (N) Altura del sonar: 1,5 m</p>	<p>Ancho: 2,0 m Altura: indefinida Longitud: 6,7 m</p>
	<p>Blanco 5 623971,72 (E) 5350305,45 (N) Altura del sonar: 2,3 m</p>	<p>Ancho: 1,1 m Altura: 0,2 m Longitud: 2,4 m</p>
	<p>Blanco 6 624034,89 (E) 5350354,21 (N) Altura del sonar: 3,0 m</p>	<p>Ancho: 0,7 m Altura: 0,1 m Longitud: 4,1 m</p>
	<p>Blanco 7 624080,05 (E) 5350372,70 (N) Altura del sonar: 3,6 m</p>	<p>Ancho: 1,2 m Altura: 0,1 m Longitud: 12,5 m</p>

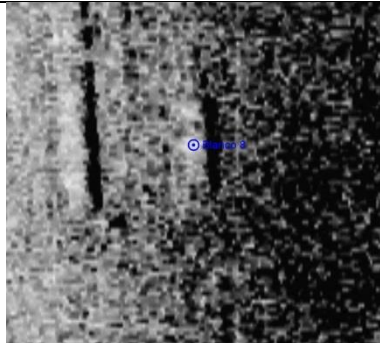

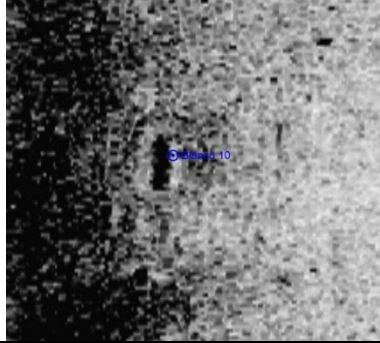
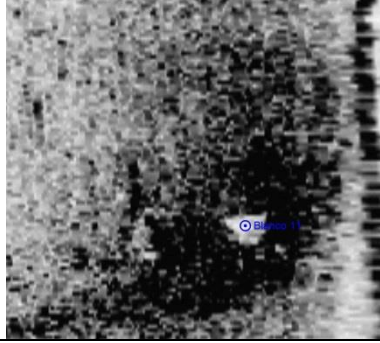
IMAGEN DEL BLANCO	COORDENADAS UTM (DATUM WGS84, ZONA 18S)	DIMENSIONES
	<p>Blanco 8 624088,48 (E) 5350370,05 (N) Altura del sonar: 3,7 m</p>	<p>Ancho: 1,7 m Altura: 0,2 m Longitud: 5,7 m</p>
	<p>Blanco 9 624067,68 (E) 5350357,59 (N) Altura del sonar: 3,4 m</p>	<p>Ancho: 0,4 m Altura: 0,2 m Longitud: 4,0 m</p>
	<p>Blanco 10 624087,23 (E) 5350339,27 (N) Altura del sonar: 3,5 m</p>	<p>Ancho: 1,0 m Altura: 0,3 m Longitud: 2,5 m</p>
	<p>Blanco 11 624276,85 (E) 5350459,73 (N) Altura del sonar: 4,4 m</p>	<p>Ancho: 2,4 m Altura: indefinida Longitud: 1,6 m</p>

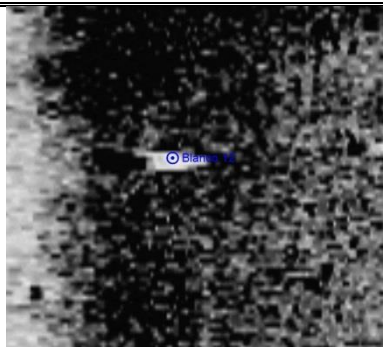
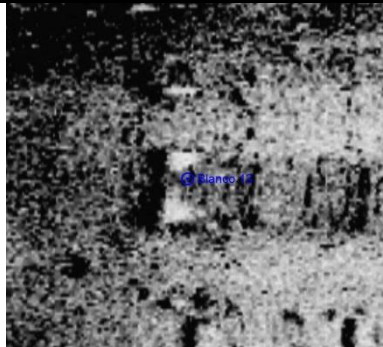
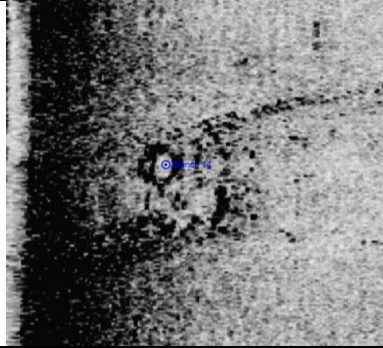
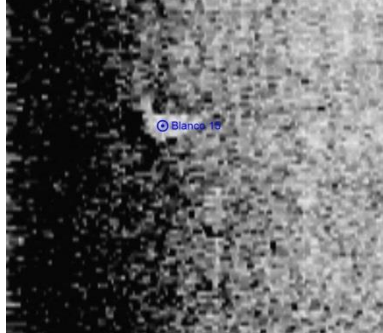
IMAGEN DEL BLANCO	COORDENADAS UTM (DATUM WGS84, ZONA 18S)	DIMENSIONES
 <p>A grayscale sonar image showing a dark, textured seabed. A small white rectangular marker is visible in the center, labeled 'Blanco 12'.</p>	<p>Blanco 12 624342,19 (E) 5350475,73 (N) Altura del sonar: 5,2 m</p>	<p>Ancho: 2,9 m Altura: 0,8 m Longitud: 0,8 m</p>
 <p>A grayscale sonar image showing a dark, textured seabed. A small white rectangular marker is visible in the center, labeled 'Blanco 13'.</p>	<p>Blanco 13 624398,20 (E) 5350496,47 (N) Altura del sonar: 4,9 m</p>	<p>Ancho: 3,0 m Altura: 0,5 m Longitud: 2,7 m</p>
 <p>A grayscale sonar image showing a dark, textured seabed. A small white rectangular marker is visible in the center, labeled 'Blanco 14'.</p>	<p>Blanco 14 624015,52 (E) 5350129,64 (N) Altura del sonar: 2,3 m</p>	<p>Ancho: 3,1 m Altura: indefinida Longitud: 2,9 m</p>
 <p>A grayscale sonar image showing a dark, textured seabed. A small white rectangular marker is visible in the center, labeled 'Blanco 15'.</p>	<p>Blanco 15 624051,65 (E) 5350153,59 (N) Altura del sonar: 3,0 m</p>	<p>Ancho: 3,2 m Altura: 0,3 m Longitud: 1,5 m</p>

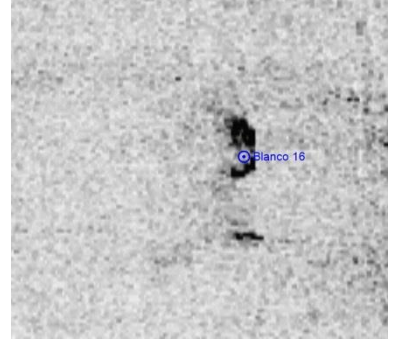
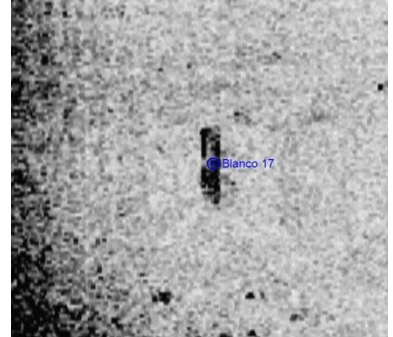
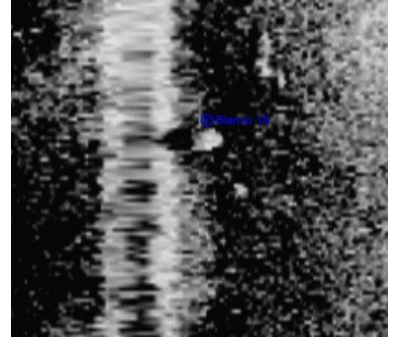
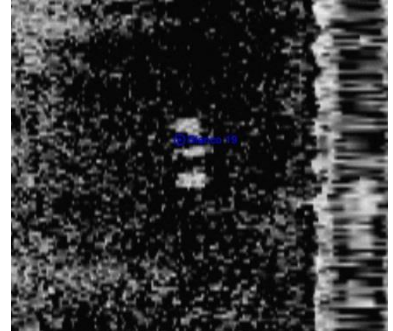
IMAGEN DEL BLANCO	COORDENADAS UTM (DATUM WGS84, ZONA 18S)	DIMENSIONES
	<p>Blanco 16 624057,17 (E) 5350199,74 (N) Altura del sonar: 3,1 m</p>	<p>Ancho: 1,2 m Altura: 0,1 m Longitud: 3,5 m</p>
	<p>Blanco 17 624085,38 (E) 5350161,86 (N) Altura del sonar: 3,0 m</p>	<p>Ancho: 1,2 m Altura: 0,2 m Longitud: 4,8 m</p>
	<p>Blanco 18 624114,99 (E) 5350196,40 (N) Altura del sonar: 3,1 m</p>	<p>Ancho: 1,7 m Altura: 0,7 m Longitud: 1,6 m</p>
	<p>Blanco 19 624362,92 (E) 5350335,19 (N) Altura del sonar: 2,6 m</p>	<p>Ancho: 2,1 m Altura: indefinida Longitud: 3,7 m</p>


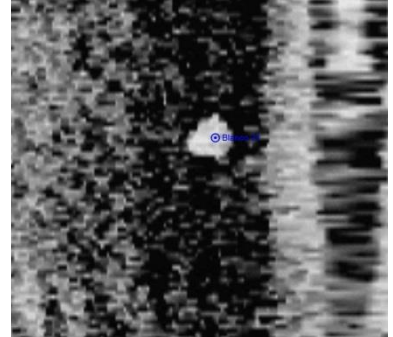
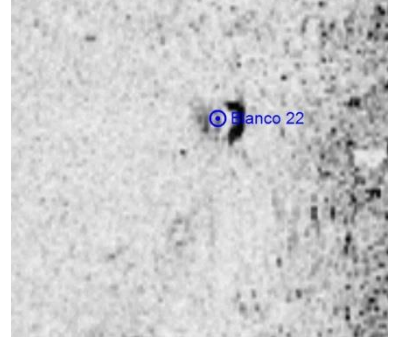

IMAGEN DEL BLANCO	COORDENADAS UTM (DATUM WGS84, ZONA 18S)	DIMENSIONES
 <p>A sonar image showing a dark, irregularly shaped object on a light, grainy seabed. A blue circle with the text 'Blanco 20' is positioned above the object.</p>	<p>Blanco 20 624478,75 (E) 5350397,26 (N) Altura del sonar: 2,3 m</p>	<p>Ancho: 3,4 m Altura: 0,2 m Longitud: 0,6 m</p>
 <p>A sonar image showing a dark, elongated object on a light, grainy seabed. A blue circle with the text 'Blanco 21' is positioned above the object.</p>	<p>Blanco 21 624006,96 (E) 5350144,43 (N) Altura del sonar: 2,3 m</p>	<p>Ancho: 1,7 m Altura: indefinida Longitud: 1,5 m</p>
 <p>A sonar image showing a small, dark, circular object on a light, grainy seabed. A blue circle with the text 'Blanco 22' is positioned above the object.</p>	<p>Blanco 22 624582,60 (E) 5350337,03 (N) Altura del sonar: 1,9 m</p>	<p>Ancho: 2,2 m Altura: 0,1 m Longitud: 2,3 m</p>
 <p>A sonar image showing a small, dark, vertical object on a light, grainy seabed. A blue circle with the text 'Blanco 23' is positioned above the object.</p>	<p>Blanco 23 624534,81 (E) 5350290,74 (N) Altura del sonar: 1,6 m</p>	<p>Ancho: 0,8 m Altura: <0,1 m Longitud: 5,4 m</p>

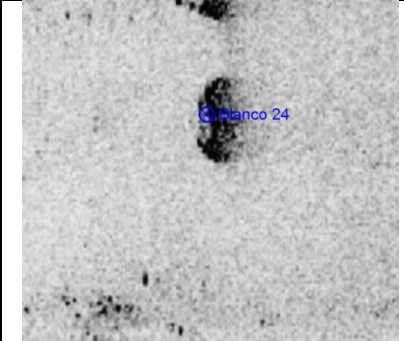
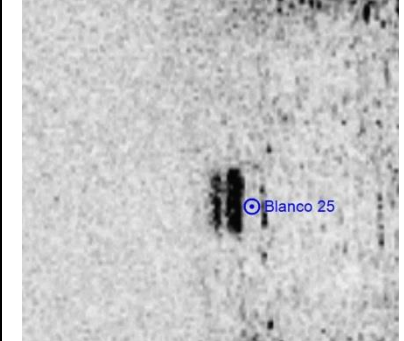
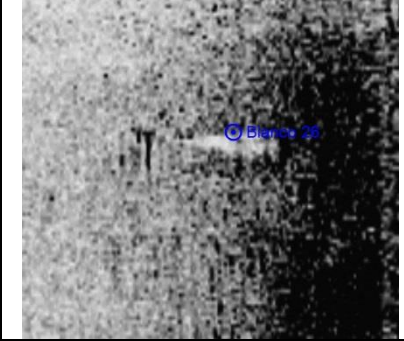
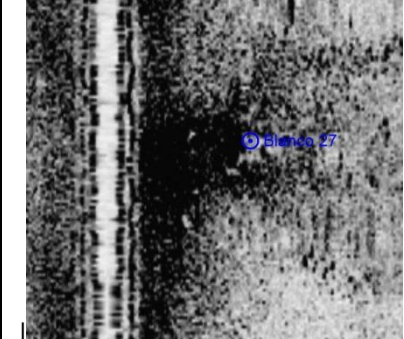
IMAGEN DEL BLANCO	COORDENADAS UTM (DATUM WGS84, ZONA 18S)	DIMENSIONES
	<p>Blanco 24 624430,90 (E) 5350323,02 (N) Altura del sonar: 1,4 m</p>	<p>Ancho: 1,8 m Altura: 0,1 m Longitud: 7,1 m</p>
	<p>Blanco 25 624255,10 (E) 5350496,12 (N) Altura del sonar: 2,8 m</p>	<p>Ancho: 1,3 m Altura: 0,1 m Longitud: 4,2 m</p>
	<p>Blanco 26 624164,60 (E) 5350465,60 (N) Altura del sonar: 2,2 m</p>	<p>Ancho: 7,0 m Altura: 0,2 m Longitud: 1,9 m</p>
	<p>Blanco 27 624187,14 (E) 5350506,12 (N) Altura del sonar: 2,2 m</p>	<p>Ancho: 2,0 m Altura: 0,3 m Longitud: 5,0 m</p>

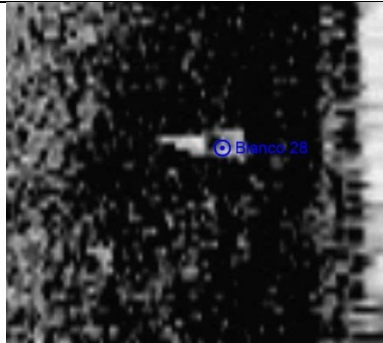
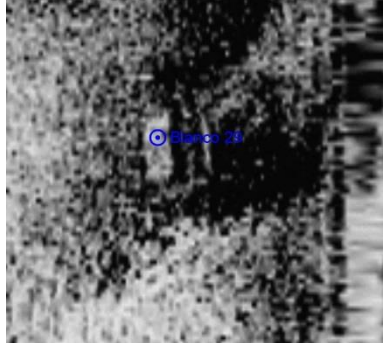
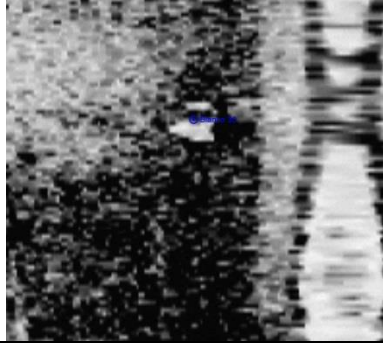
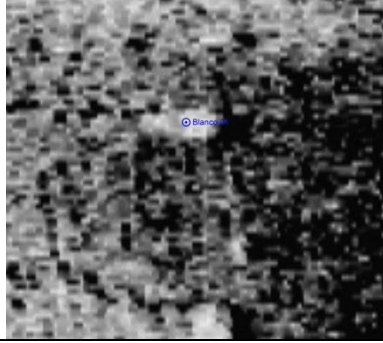
IMAGEN DEL BLANCO	COORDENADAS UTM (DATUM WGS84, ZONA 18S)	DIMENSIONES
 <p>A sonar image showing a dark, textured seabed with a small, bright white object labeled 'Blanco 28' in the center.</p>	<p>Blanco 28 624144,71 (E) 5350462,75 (N) Altura del sonar: 2,4 m</p>	<p>Ancho: 3,7 m Altura: indefinida Longitud: 1,2 m</p>
 <p>A sonar image showing a dark seabed with a small, bright white object labeled 'Blanco 29' in the center.</p>	<p>Blanco 29 624128,13 (E) 5350448,40 (N) Altura del sonar: 2,6 m</p>	<p>Ancho: 1,5 m Altura: 0,2 m Longitud: 3,9 m</p>
 <p>A sonar image showing a dark seabed with a small, bright white object labeled 'Blanco 30' in the center.</p>	<p>Blanco 30 623967,09 (E) 5350295,07 (N) Altura del sonar: 2,3 m</p>	<p>Ancho: 1,6 m Altura: indefinida Longitud: 1,4 m</p>
 <p>A sonar image showing a dark seabed with a small, bright white object labeled 'Blanco 31' in the center.</p>	<p>Blanco 31 623966,51 (E) 5350303,36 (N) Altura del sonar: 2,0 m</p>	<p>Ancho: 2,4 m Altura: 0,1 m Longitud: 1,0 m</p>

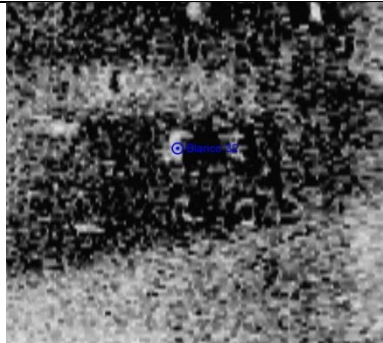
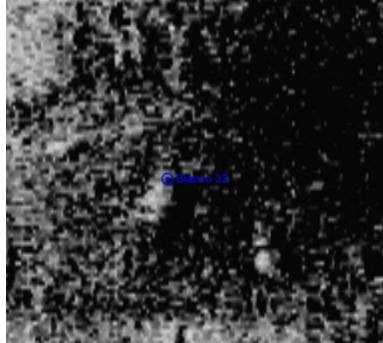
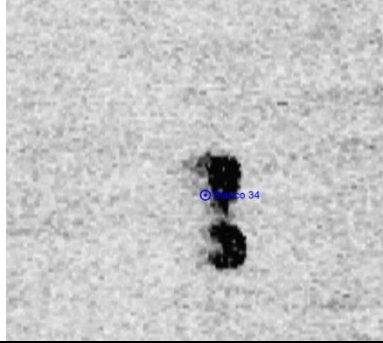

IMAGEN DEL BLANCO	COORDENADAS UTM (DATUM WGS84, ZONA 18S)	DIMENSIONES
	<p>Blanco 32 624145,52 (E) 5350401,51 (N) Altura del sonar: 4,1 m</p>	<p>Ancho: 1,4 m Altura: indefinida Longitud: 1,7 m</p>
	<p>Blanco 33 624133,44 (E) 5350399,05 (N) Altura del sonar: 4,3 m</p>	<p>Ancho: 1,4 m Altura: 0,3 m Longitud: 2,4 m</p>
	<p>Blanco 34 624087,61 (E) 5350081,48 (N) Altura del sonar: 1,8 m</p>	<p>Ancho: 1,6 m Altura: 0,1 m Longitud: 4,8 m</p>
	<p>Blanco 35 624497,97 (E) 5350304,38 (N) Altura del sonar: 1,4 m</p>	<p>Ancho: 2,1 m Altura: 0,2 m Longitud: 1,6 m</p>

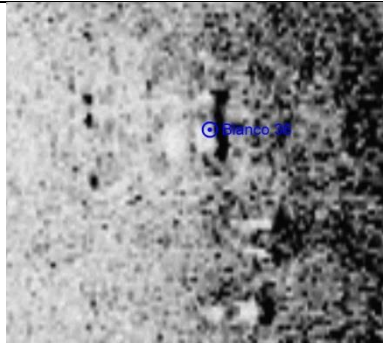
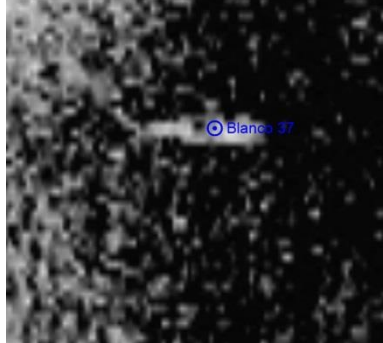
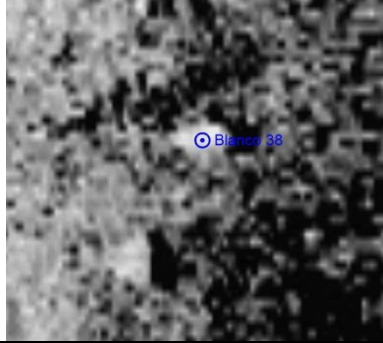
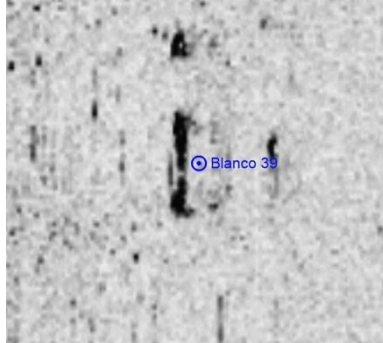
IMAGEN DEL BLANCO	COORDENADAS UTM (DATUM WGS84, ZONA 18S)	DIMENSIONES
 <p>A sonar image showing a dark, vertical marker labeled 'Blanco 36' in the center. The background is a grainy, light-colored seabed.</p>	<p>Blanco 36 624516,69 (E) 5350477,86 (N) Altura del sonar: 3,5 m</p>	<p>Ancho: 1,3 m Altura: 0,2 m Longitud: 3,2 m</p>
 <p>A sonar image showing a dark, horizontal marker labeled 'Blanco 37' in the center. The background is a grainy, dark seabed.</p>	<p>Blanco 37 624470,38 (E) 5350458,77 (N) Altura del sonar: 2,7 m</p>	<p>Ancho: 4,1 m Altura: indefinida Longitud: 1,5 m</p>
 <p>A sonar image showing a dark, vertical marker labeled 'Blanco 38' in the center. The background is a grainy, light-colored seabed.</p>	<p>Blanco 38 624483,45 (E) 5350466,24 (N) Altura del sonar: 3,1 m</p>	<p>Ancho: 1,9 m Altura: 0,3 m Longitud: 0,9 m</p>
 <p>A sonar image showing a dark, vertical marker labeled 'Blanco 39' in the center. The background is a grainy, light-colored seabed.</p>	<p>Blanco 39 624429,57 (E) 5350476,65 (N) Altura del sonar: 2,5 m</p>	<p>Ancho: 2,5 m Altura: 0,1 m Longitud: 5,5 m</p>

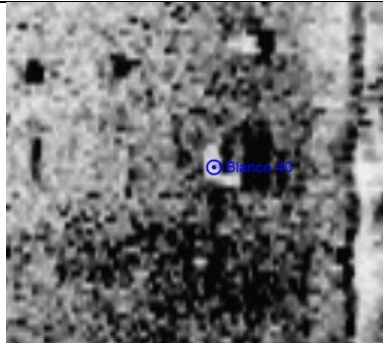
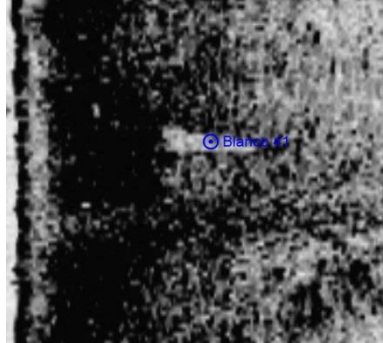
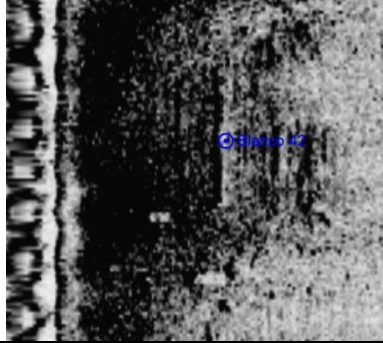
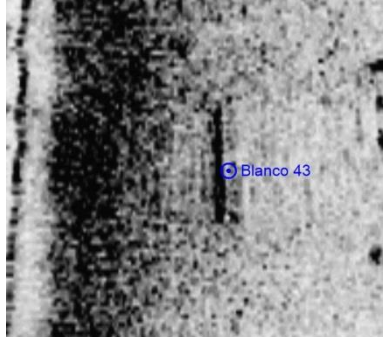
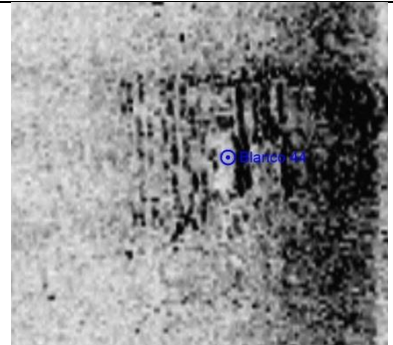
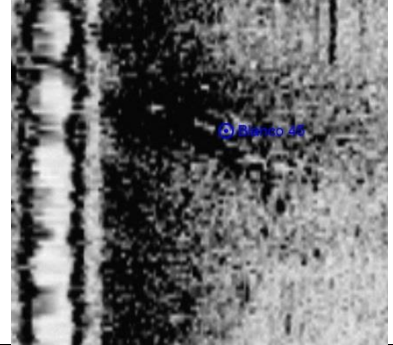

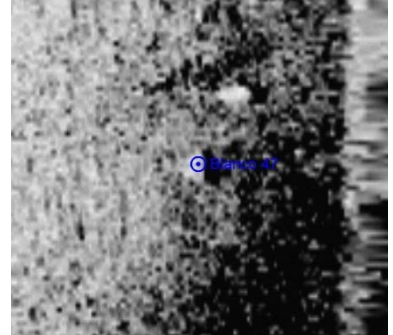
IMAGEN DEL BLANCO	COORDENADAS UTM (DATUM WGS84, ZONA 18S)	DIMENSIONES
	<p>Blanco 40 624383,31 (E) 5350414,03 (N) Altura del sonar: 2,6 m</p>	<p>Ancho: 1,4 m Altura: 0,3 m Longitud: 1,5 m</p>
	<p>Blanco 41 624364,63 (E) 5350429,70 (N) Altura del sonar: 2,5 m</p>	<p>Ancho: 5,3 m Altura: indefinido Longitud: 1,6 m</p>
	<p>Blanco 42 624348,73 (E) 5350424,14 (N) Altura del sonar: 2,4 m</p>	<p>Ancho: 0,8 m Altura: 0,2 m Longitud: 11,0 m</p>
	<p>Blanco 43 624310,46 (E) 5350403,16 (N) Altura del sonar: 2,7 m</p>	<p>Ancho: 0,4 m Altura: 0,1 m Longitud: 7,7 m</p>

IMAGEN DEL BLANCO	COORDENADAS UTM (DATUM WGS84, ZONA 18S)	DIMENSIONES
	<p>Blanco 44 624175,61 (E) 5350300,63 (N) Altura del sonar: 2,2 m</p>	<p>Ancho: 1,1 m Altura: 0,1 m Longitud: 4,2 m</p>
	<p>Blanco 45 624165,34 (E) 5350320,87 (N) Altura del sonar: 2,2 m</p>	<p>Ancho: indefinido Altura: indefinido Longitud: indefinido</p>
	<p>Blanco 46 624515,06 (E) 5350469,73 (N) Altura del sonar: 3,1 m</p>	<p>Ancho: 1,6 m Altura: <0,1 m Longitud: 2,5 m</p>
	<p>Blanco 47 624480,77 (E) 5350462,53 (N) Altura del sonar: 3,0 m</p>	<p>Ancho: 1,4 m Altura: 0,2 m Longitud: 2,0 m</p>

14. ANEXO 6 - OTRAS APLICACIONES DEL MULTHAZ

14.1 ACCIDENTE DEL C-212 AVIOCAR DE LA FACH

La empresa BENTOS, el año 2011 participó en la búsqueda de un avión de transporte (pasajeros y tripulantes) C-212 (Figura 14.1-1), Aviocar 300DF de la Fuerza Área de Chile (FACH), accidentado el 2 de septiembre de 2011, en el archipiélago Juan Fernández. Aquel vuelo se realizaba por causas humanitarias a raíz del tsunami que afectó al archipiélago el 27 de febrero de 2010.



**Figura 14.1-1: Avión FACH C-212 accidentado.
Fuente: Información Oficial BENTOS.**

Para localizar la aeronave siniestrada, BENTOS utilizó un sistema de ecosonda multihaz, ya que se necesitaba efectuar una búsqueda precisa para detectar anomalías sobre el fondo marino que pudiesen ser del avión de la FACH. Posteriormente, en post proceso, se determinaron ciertas singularidades cercanas al sitio de interés (Figura 14.1-2), las cuales fueron corroboradas con filmaciones submarinas y buzos profesionales (Figura 14.1-3).

El equipo multihaz de marca R2Sonic y modelo 2024 utilizado en la búsqueda del avión, opera a una frecuencia de 200 KHz-400 KHz, emite 256 número de haces, posee un rango máximo de 500 m y un ancho de muestra entre 10° a 160°.

Los elementos recuperados, no recuperados y desaparecidos del avión se muestran como esquema en la Figura 14.1-4. Por su parte, los restos del avión (recuperados) se visualizan de manera fotográfica en un mosaico en la Figura 14.1-5.

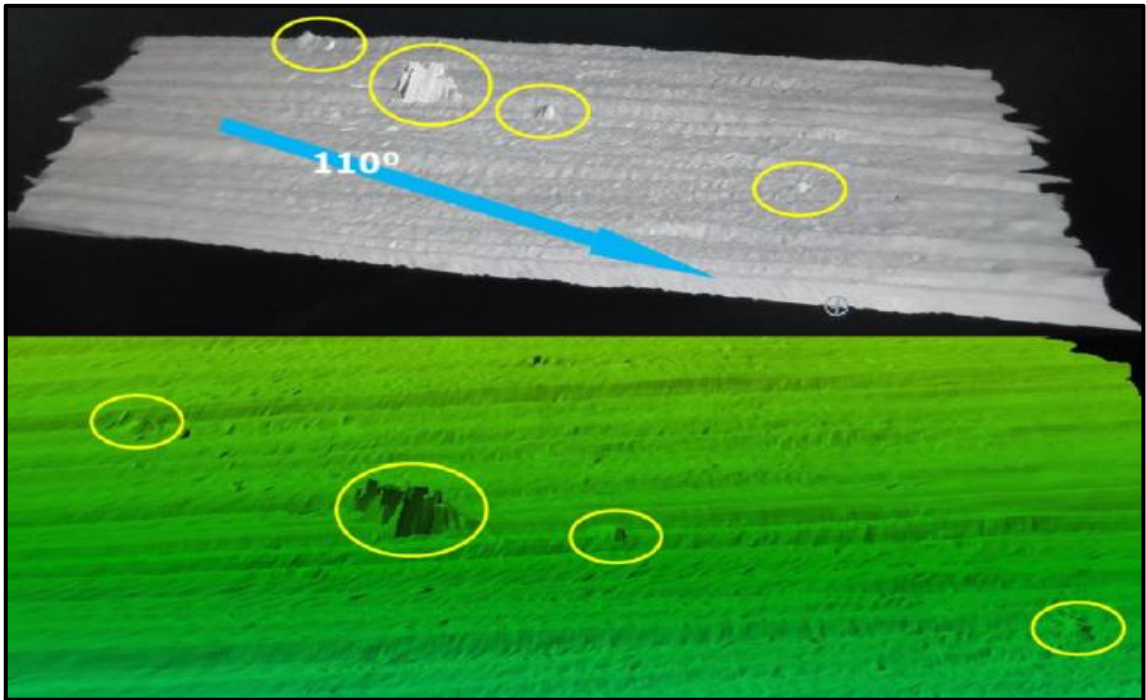


Figura 14.1-2: Plano batimétrico multihaz con anomalías en el lecho marino.
Fuente: Información Oficial BENTOS.



Figura 14.1-3: Imágenes adquiridas con filmaciones submarinas, equipo ROV SeaBotix.
Fuente: Información Oficial BENTOS.

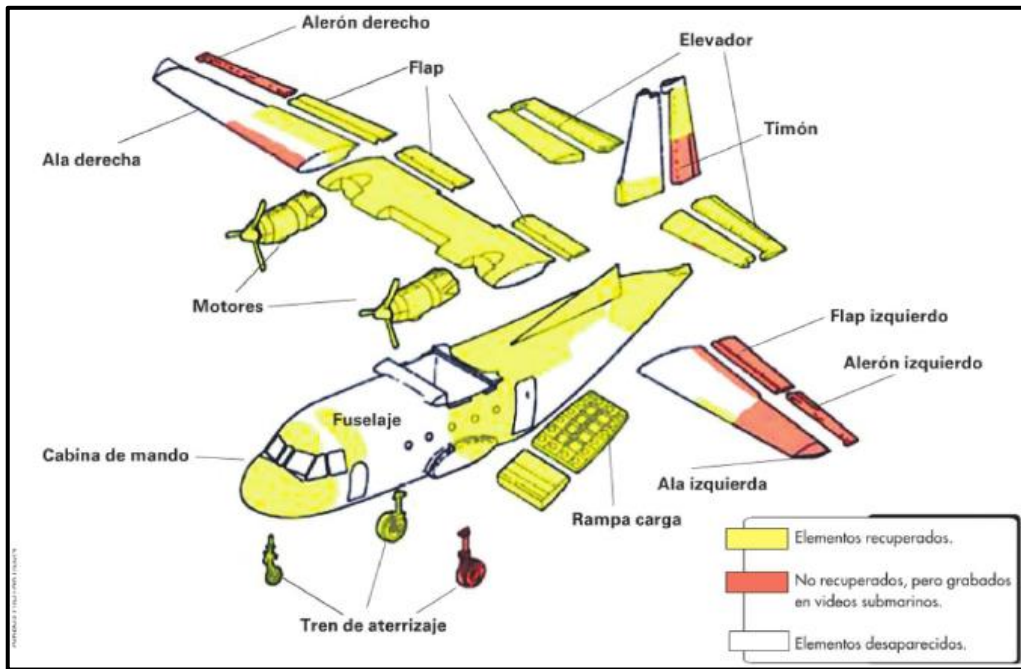


Figura 14.1-4: Esquema de elementos recuperados, no recuperados y elementos desaparecidos.
Fuente: Información Oficial BENTOS.



Figura 14.1-5: Restos del avión FACH C-212.
Fuente: Información Oficial BENTOS.

15. ANEXO 7 - HISTORIA DE LOS CABLES SUBMARINOS

15.1 ERA TELEFÓNICA

En la era de la telefonía de Alexander Graham Bell en 1875, era solo cuestión de tiempo para que las líneas telefónicas se decidieran a realizar uniones de continentes con islas a través de cables submarinos. Los intentos iniciales de Estados Unidos y el Reino Unido se reunieron con un éxito limitado (ICPC, UNEP, & UNEP-WCMC, 2009), radicando el problema en el límite de distancia de las señales antes de que se distorsionara la información transmitida.

El descubrimiento de polietileno en 1933 hizo posible la telefonía transoceánica, por lo que en el año 1938 un cable de este material fue desarrollado con un núcleo de cobre coaxial capaz de llevar numerosos canales de voz. Esta metodología innovadora significó que un cable transoceánico con múltiples canales de voz fuera totalmente alcanzable. En 1955-1956, se instalaron dos cables entre Escocia y Terranova (provincia atlántica de Canadá). El sistema llamado TAT-1 entró en servicio el 25 de septiembre de 1956, y en el primer día la operación llevaba 707 llamadas entre Londres y América del Norte. La era de las comunicaciones telefónicas coaxiales submarinas había comenzado y con él una serie de desarrollos tecnológicos relacionados con el diseño de los repetidores de señal, los nuevos métodos de tendido de cables y la mejora de los métodos de refuerzo para cables, especialmente en aguas profundas.

En la década de 1970 y principios de 1980, estos cables de poco ancho de banda eran sólo rentables en las rutas de comunicación de alta densidad, ya que la mayor parte del tráfico mundial transoceánico era realizado por los satélites. El último sistema coaxial a través del Océano Atlántico fue el cable TAT-7 (tenía una capacidad de 4.000 canales telefónicos), instalándose en intervalos de 9 km, provocando que los costos fuesen muy elevados. Se necesitaba una solución más rentable para satisfacer la creciente demanda de una mayor capacidad a un costo razonable. La carrera para desarrollar la tecnología de fibra óptica para su aplicación en los cables submarinos comenzó a mediados de la década de 1970, anunciando así el amanecer de una nueva revolución tecnológica en las comunicaciones submarinas.

15.2 FIBRA ÓPTICA

La aparición de los cables de fibra óptica en el mundo dejó prácticamente obsoletos a los cables coaxiales con aislamiento de polietileno, incluidos los de mayor diámetro (Decusatis, 2008). Las fibras de vidrio lograban transmitir hasta 12.000 canales, en comparación con 5.500 del cable coaxial más avanzado, concluyó que la calidad de la comunicación de la fibra óptica fuera superior. Durante la década siguiente, los científicos continuaron mejorando y perfeccionando la tecnología de fibra óptica. El primer ensayo del mundo de un cable submarino de fibra óptica se realizó en Loch Fyne (Lago de Mar en Escocia) en el año 1979 (Ash, Morgan, & Clark, 2000).

Los ensayos demostraron que el cable soportaba las tensiones mecánicas que intervienen en la instalación, así como la estabilidad requerida de características de transmisión. En 1986, el primer sistema internacional fue instalado para vincular el Reino Unido y Bélgica. En 1988, se instaló el primer cable de fibra óptica transoceánica, denominado TAT-8 (Figura 15.2-1), el cual marcó la transición de los cables submarinos, comenzando a superar a los satélites en términos de volumen, velocidad, economía de datos y comunicaciones de voz (ICPC, UNEP, & UNEP-WCMC, 2009).

El cable TAT-8 vincula Estados Unidos, Reino Unido y Francia, permitiendo la transmisión de una gran capacidad de datos. En ese mismo tiempo, el internet comenzó a tomar forma a medida que los sistemas de cable fueron evolucionando. Estos cables poseían gran ancho de banda a un costo bajo para permitir el crecimiento de internet. En esencia, las dos tecnologías se complementaron perfectamente, ya que los cables llevan grandes volúmenes de tráfico de voz y datos con rapidez y seguridad, y por su parte el internet hace que los datos y la información accesible se utilice en varios propósitos, como por ejemplo las comunicaciones, los negocios, el comercio, la educación y el entretenimiento.

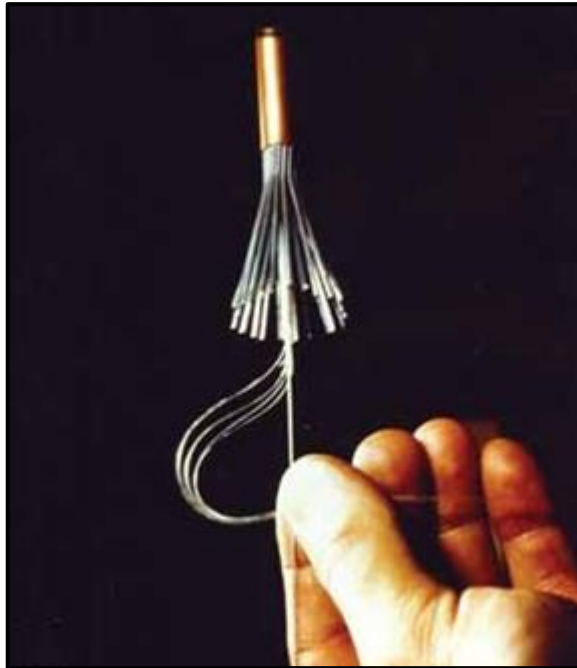


Figura 15.2-1: Sección del cable submarino TAT-8, primer cable óptico de fibra.
Fuente: (Seo, 2003).

La costa de Reino Unido cuenta con una docena de cables por donde pasa la mayor información que viaja entre Estados Unidos y Europa. Una de las zonas donde más existen los cables submarinos es en el área que va desde Singapur hasta Japón, pasando por Taiwán, Indonesia, Corea, Filipinas y China. Esta es la zona más transitada del mundo por los buques de carga que transportan mercancía de las fábricas del sur de Asia al resto del

planeta. Este flujo de mercancía se ve reflejado también en la cantidad de fibra óptica que se encuentra en la zona (Seco Peña, 2012 - 2013). La Figura 15.2-2 presenta un mapa de cables submarinos de fibra óptica en el mundo.

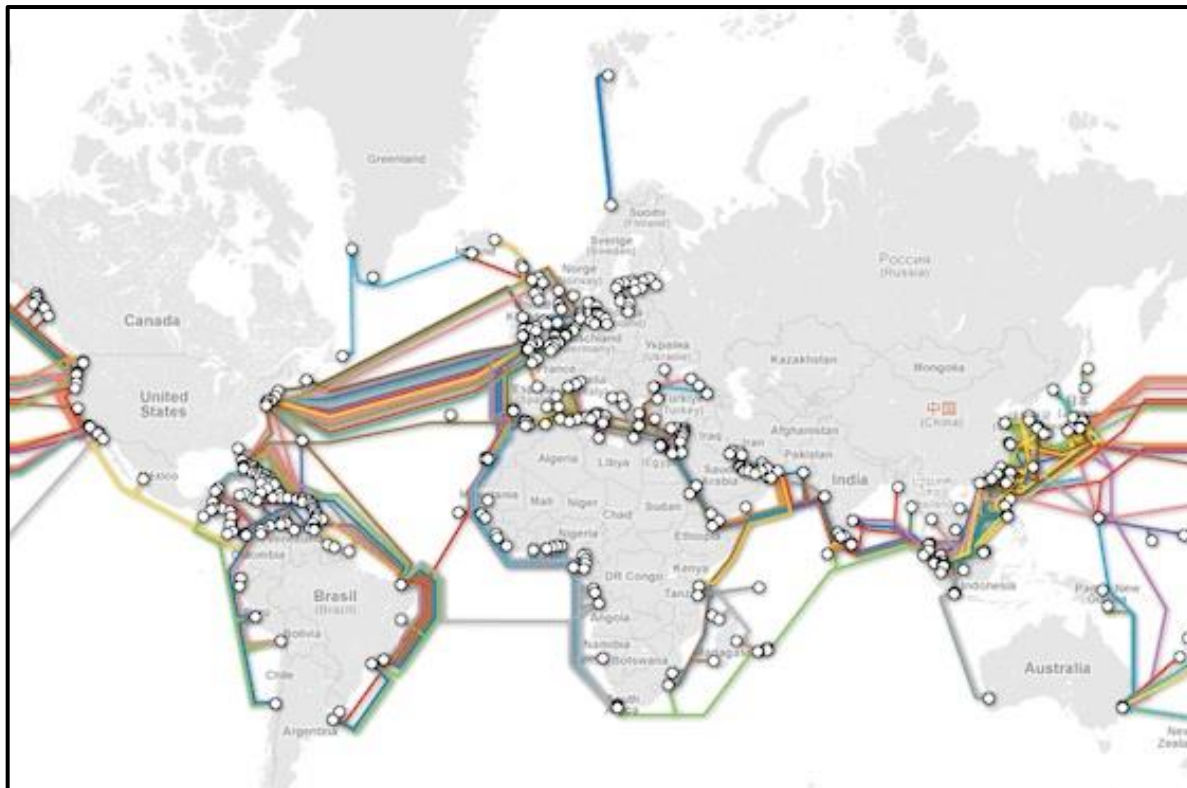


Figura 15.2-2: Mapa de cables submarinos de fibra óptica de comunicaciones en el mundo.
Fuente: Sitio Web <http://www.submarinecablemap.com>.

15.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA FIBRA ÓPTICA

En la Tabla 15.3-1 se presentan las ventajas y desventajas generales que poseen los cables de fibra óptica.

Tabla 15.3-1: Ventajas y desventajas generales de los cables de fibras ópticas.
Fuente: Camas et al., 2003.

CABLE DE FIBRA ÓPTICA	
VENTAJAS	DESVENTAJAS
Gran ancho de banda.	Alta fragilidad de las fibras.
Baja atenuación.	Necesidad de usar receptores y transmisores más caros.
No conduce corriente.	La fibra óptica convencional no puede transmitir potencias elevadas.
Inmunidad electromagnética.	No existen memorias ópticas.
Resistencia al calor, frío y corrosión.	Dificultad para realizar los empalmes entre fibras en caso de una reparación.
Es inofensivo.	No transmite energía eléctrica; debe proveerse por conductores separados.
Seguridad de la información.	El agua corroe la superficie del vidrio y envejece la fibra óptica.
Localiza rápidamente los cortes a través de un proceso basado en la telemetría.	El terminal de recepción debe ser energizado desde una línea eléctrica.
No produce interferencias.	No puede transmitir electricidad para alimentar receptores intermedios.