



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ARAGÓN

**SISTEMAS BATIMÉTRICOS INSTALADOS
EN LOS BUQUES OCEANOGRÁFICOS DE LA
UNAM**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

PRESENTA

JORGE LUIS CORTÉS MORALES

DIRECTOR DE TESIS

DR. ÁLVARO NÚÑEZ FLORES

CIUDAD NEZAHUALCÓYOTL, ESTADO DE MÉXICO, 2022





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS.

A mis padres por estar a mi lado en los momentos más importante de mi vida. Gracias por darme un buen ejemplo de cómo ser una persona responsable, por todos los regaños y consejos que me han dado y me siguen dando para ser la persona que soy ahora. Gracias a mi madre por madrugar conmigo para hacerme de desayunar y darme su bendición antes de ir a la escuela. A mi padre porque a pesar de venir cansado del trabajo, siempre se ha tomado el tiempo de darme un consejo sobre cualquier tema.

A mis hermanos por ayudarme a distraerme de mis problemas con sus incoherencias. Gracias por tener el tiempo disponible cuando los necesite, ya sea para un pequeño consejo o para divertirnos.

A mi asesor de tesis por invitarme a formar parte de este pequeño proyecto. Gracias por darme la oportunidad de realizar el servicio social con COPO, y por ayudarme en todo el proceso de este trabajo.

A mi abuelito Abelino, que en paz descanse, por siempre brindarme un gran consejo en el momento adecuado.

Tabla de contenido

INTRODUCCIÓN.....	5
JUSTIFICACIÓN.....	6
OBJETIVO.....	6
Objetivos particulares.....	6
ANTECEDENTES.....	6
MARCO TEÓRICO.....	11
ECOSONDA MULTIHAZ.....	14
RUIDO ACÚSTICO.....	17
ECOSONDA PARAMETRICA (Perfilador de subsuelo).....	20
METODOLOGIA.....	22
Kongsberg EM 300.	22
Características técnicas.....	23
Componentes que forman el EM 300.	24
Kongsberg EM 302.....	26
Características del sistema.	27
Modos de operación.....	28
Kongsberg EM 304.	30
Detalles técnicos.....	31
Descripción del transductor.....	31
Diseño, manufactura y montaje de los conductos de acero.....	34
Orientación del transductor.	36
Principios de instalación del transductor.....	37
K-SYNC.....	44
TOPAS PS 18.....	45
RESULTADOS.....	46
Ventajas de los equipos de la marca Kongsberg respecto a otras empresas.....	54
Simulación de fluido de la góndola.....	59
Ubicación del SVP 70 en la góndola del buque el puma.....	62
CONCLUSIONES.....	63
TRABAJO A FUTURO.	64
Bibliografía	66
ANEXO.....	68

CTD SBE 9plus..... 68
MINOS X..... 69
SVP 70..... 70

INTRODUCCIÓN.

La coordinación de Plataformas Oceanográficas (COPO) se creó en el año 2000; es el organismo que se encarga de impulsar y promover la gestión, logística, ejecución y supervisión de las operaciones de los buques oceanográficos (B/O) El Puma y Justo Sierra, propiedad de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

El Puma y el Justo Sierra son embarcaciones diseñadas y construidas a principios de los años ochenta para realizar investigación oceanográfica, con el propósito de proporcionar plataformas equipadas y funcionales para el desarrollo de las ciencias marinas de México.

Los trabajos realizados a bordo han servido a la investigación científica en muy variados temas que incluyen biodiversidad, recursos marinos, contaminación, circulación oceánica y química marina, por citar solo algunos.

Utilizando las capacidades de los buques se ha podido, por ejemplo, identificar áreas de alta productividad, sitios de emisión de metano y otros recursos energéticos del mar profundo, buscar restos arqueológicos sumergidos, además de recolectar organismos de la columna de agua y del bento, recoger núcleos de sedimentos para comprender las variaciones climáticas a lo largo de la evolución de la Tierra, muestrear el agua de mar a diferentes profundidades para determinar las propiedades físicas y químicas de los océanos, adquirir datos y desplegar instrumentos para estudiar la batimetría. (COPO UNAM , 2022)

En este trabajo se enfocará principalmente a la descripción de los equipos de detección y de observación del fondo marino conocidos como equipos batimétricos o ecosondas. Los dispositivos de detección instalados en los buques son las denominadas “ecosondas” y existen varios tipos en el mercado, por ejemplo, ecosondas paramétricos, monohaz, haz dual, multihaz, etc. En esta investigación y documentación se explicará el principio de funcionamiento de un ecosonda en general y de cada modelo de ecosonda que posee la Universidad, además de sus distintos modos de operación; la historia de que hay detrás de estos equipos y como han evolucionado con el paso de los años, sus métodos de instalación serán abordados y se determinará cual es el más eficiente para cada uno de ellos; las distintas aplicaciones que tienen estos equipos tanto en los océanos como en agua dulce. Se hará una comparativa entre modelos nuevos, antiguos y obsoletos de cada barco para determinar cuál es la ganancia de resolución y calidad de los datos que pueda justificar una inversión considerable para cambiar los equipos actuales por los modelos más nuevos. Además, se explicará el funcionamiento de cada ecosonda, se estudiará la teoría de que hay detrás de cómo se propaga el sonido en el agua y como se ve afectado por diversos factores (temperatura, profundidad, etc).

JUSTIFICACIÓN.

Hasta la fecha de realización de este documento, no existe información detallada disponible de los equipos que generan información batimétrica instalados en los buques oceanográficos de la UNAM, en este sentido se considera relevante dar a conocer el principio de funcionamiento de los equipos, así como los avances tecnológicos en el área de ecosondas.

OBJETIVO.

Presentar el principio de funcionamiento de los equipos batimétricos (hidroacústicos) que están instalados en los buques oceanográficos de la UNAM.

Objetivos particulares.

- Revisar la información técnica de los equipos batimétricos que comercializa la empresa *Kongsberg*
- Describir las ventajas que tienen los equipos *Kongsberg* con relación a otras empresas
- Comparar el avance tecnológico de los equipos batimétricos de *Kongsberg* del 2006 con relación a los que se comercializan en la actualidad 2022
- Establecer el costo beneficio que tiene la UNAM si instala equipos de última generación

ANTECEDENTES.

Referencias a la acústica submarina se pueden encontrar en la época de la antigua Grecia cuando Aristóteles (384-322 a.C.) descubrió que el sonido puede ser escuchado en el agua de la misma forma que en el aire. En la época medieval, Leonardo da Vinci observó que los barcos pueden ser escuchados a largas distancias con la ayuda de un tubo largo, un extremo pegado a su oreja y el otro extremo sumergido en el agua. (Tacoronte, 2022)

La primera medición de la velocidad del sonido en el agua fue gracias a los científicos Jean-Daniel Colladon y Charles-Francois Sturn en el año 1827 en el lago de Geneva en Suiza (Figura 1). Para lograr este experimento, se transmitió simultáneamente un destello de luz y el sonido de una campana sumergida en el lago, y se dedujo la velocidad del sonido de los tiempos de retardo de las señales recibidas, obteniendo un valor de 1435m/s (muy cerca de los 1500m/s actuales). (John Simmonds, 2005)

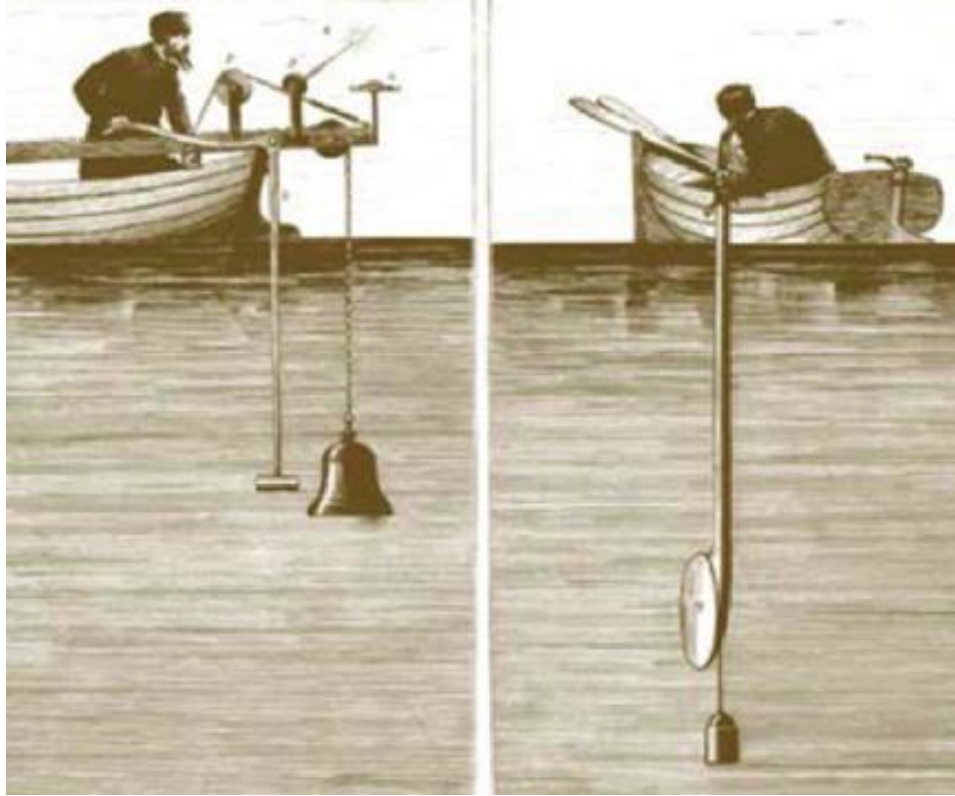


Figura 1 Primera medición de la velocidad del sonido en el agua. Obtenido de (ResearchGate, 2022)

Debido a los sucesos de la Primera Guerra Mundial, los desarrollos de tecnologías basadas en la acústica submarina crecieron de forma exponencial. Un ejemplo de estos avances fue que los submarinos pueden ser detectados escuchando el eco de una transmisión de sonido.

El término “*echosounding*” o “sondeo por eco” por su traducción al español apareció por primera vez en el año 1920, refiriéndose a la técnica de medir la profundidad del agua del tiempo que tarda una transmisión bidireccional entre la superficie y el fondo marino (Figura 2).

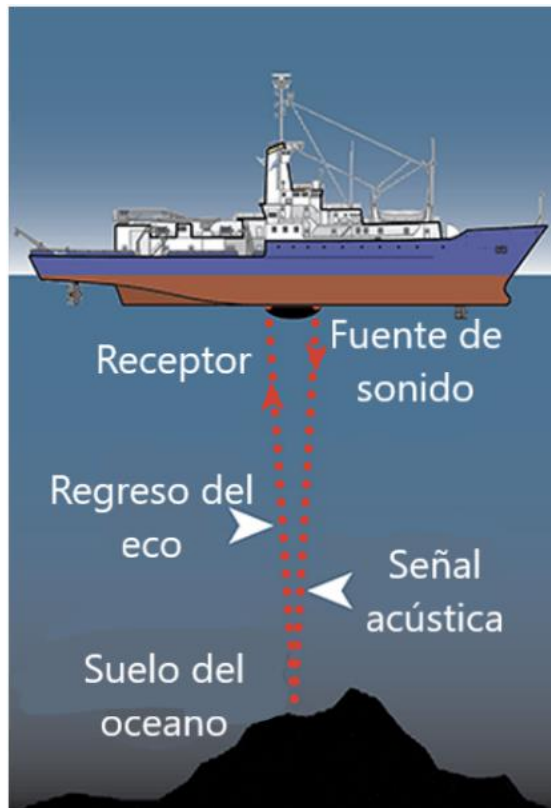


Figura 2 Principio de funcionamiento de una ecosonda (adaptado de (University of Rhode Island, 2022))

En el año 1927 el navegador francés *Rallier du Baty* describió señales sonoras inesperadas que se originaron a media profundidad del océano, él atribuyó esas señales sonoras a los ecos de los bancos de peces. En el año 1929 el científico *Kimura* consiguió realizar el primer experimento exitoso en la detección acústica de peces y se logró mediante la instalación de un transmisor y un receptor en un estanque de piscicultura. El sonido fue transmitido en un haz de 20° y detectado después de la reflexión desde el lado opuesto del estanque como se ilustra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

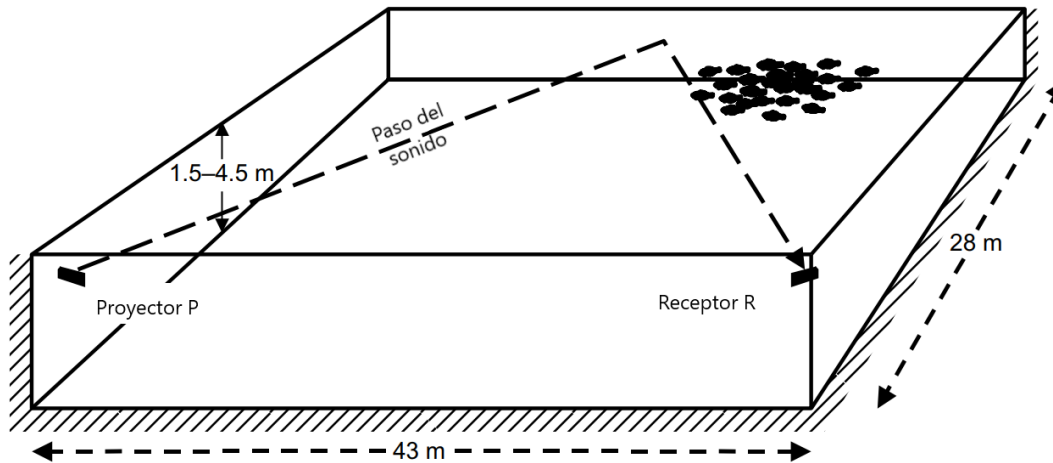


Figura 3 Aparato usado por Kimura en la detección acústica de peces. El sonido del proyector P es reflejado por el lado lejano del estanque y detectada por el receptor R. Los peces pasan a través del haz causando que la señal recibida oscile. Adaptado de (John Simmonds, 2005)

La transmisión fue continua a una frecuencia de 200kHz, con una amplitud modulada en 1kHz para que la señal rectificada fuera audible. El estanque contenía 25 peces de una longitud de 40 a 50cm. (John Simmonds, 2005)

Más avances vinieron con el desarrollo de las grabaciones de los ecosondas, el cual produce ecogramas impresos en papel. Cuando esta nueva tecnología se pudo comercializar a un precio no tan elevado, tuvo un potencial en la ayuda de la pesca. El capitán noruego *Reinert Rose* fue el primero en publicar un ecograma de un banco de peces en el año 1934 (Ver Figura 4). El pescado en las marcas cercanas a la superficie y mostro que eran cardúmenes de espadín. Otros investigadores noruegos hicieron notables contribuciones, especialmente *Sund* en el año 1935 quien publicó ecogramas del bacalao, usando un ecosonda de 16kHz con un transductor magnetostrictivo con ayuda del barco "*Johan Hjort*".

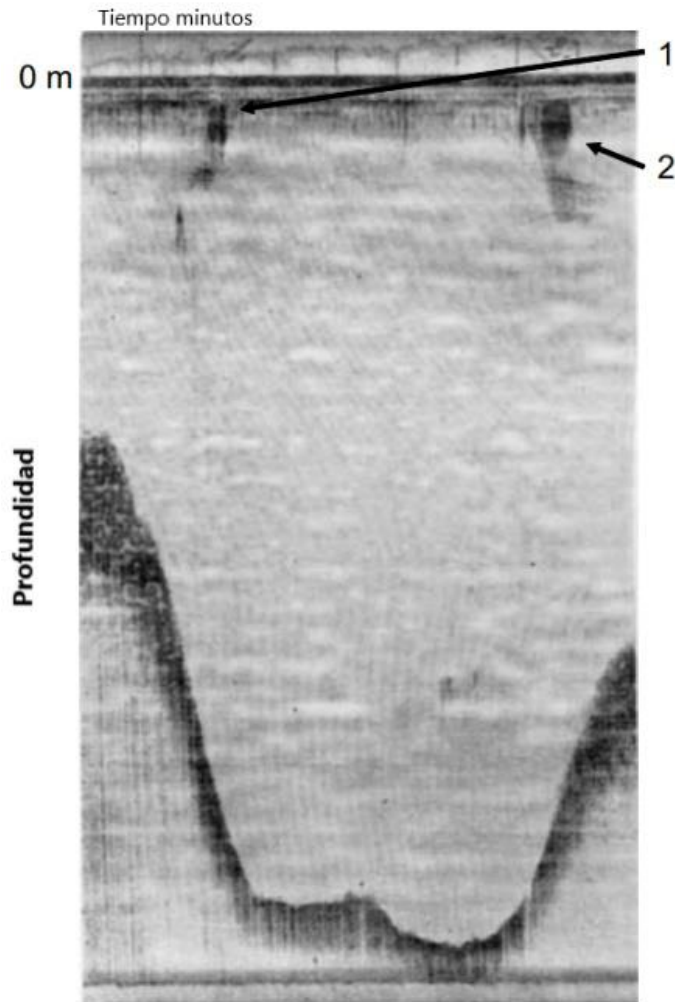


Figura 4 Ecograma publicado por Reinert Bokn. Un banco de peces cercano a la superficie es detectado en la posición (1). Luego el barco gira y vuelve a localizar el banco de peces en la posición (2). Adaptado de (John Simmonds, 2005)

Hay otro período de rápido desarrollo de esta tecnología durante la Segunda Guerra Mundial, después de lo cual las personas en el negocio de la pesca descubrieron el potencial para el aprovechamiento civil de las técnicas acústicas desarrolladas por los militares. La potencia y la resolución de los sonares continuaron mejorando a medida que se diseñaban nuevos instrumentos, específicamente para la detección de peces. Muchos tipos diferentes de sonares son actualmente empleados en la pesca, desde una simple ecosonda hasta sensores de exploración que proporcionan imágenes similares a las de un radar de los objetivos localizados, y transductores en redes de arrastre que ubican la red en relación con el lecho marino y los bancos de peces. Los ecogramas multicolor proporcionan una clara percepción de la fuerza de la señal, comparado con la original pantalla monocromática, mientras el uso concurrente de dos o más frecuencias da al usuario más información acerca de los objetivos detectados.

Métodos acústicos de estimación para la abundancia de peces fueron investigados por primera vez en el año 1950. Inicialmente estas investigaciones estaban basadas en ideas

simples del conteo individual de ecos, o la suma de las amplitudes de los ecos. Esta última es esencialmente la técnica de integración de ecos, atribuida al noruego *Ingvar Hoff*. Sin embargo, los científicos *Scherbino y Truskanov* en el año 1966 mostraron que el enfoque correcto es integrar la intensidad de los ecos, no su amplitud, y eso sigue siendo un principio fundamental de la estimación de abundancia de los peces. (John Simmonds, 2005)

Intensivas investigaciones teóricas y prácticas entre los años 1970 y 1980 dejaron un gran entendimiento de lo que las técnicas acústicas podrían y no podrían hacer. Ecosondas científicas de alto rendimiento fueron introducidas con un procesamiento de señal digital, dando un rango dinámico más grande, características de ganancia más estables y una mejor compensación en las pérdidas de propagación. Evolucionaron nuevas técnicas para la medición de la fuerza del objetivo de los peces en el lugar (por ejemplo, en su hábitat natural), notablemente los ecosondas de haz dual y de haz dividido, aunque la incertidumbre de la fuerza de los objetivos sigue siendo un factor de error significativo en la acústica de estimación de abundancia. Sin embargo, el desarrollo progresivo de instrumentación científica, la teoría de dispersión y las técnicas de análisis de datos da el estado presente del arte: métodos acústicos han avanzado mucho en nuestra comprensión de la vida marina. (John Simmonds, 2005)

MARCO TEÓRICO.

La palabra sonar es un término que usa para identificar cualquier dispositivo que usa el sonido para la detección remota o la observación de objetos en el agua. Para este trabajo solamente se hablará de un tipo particular de sonar que es la ecosonda, el cual su haz acústico es apuntado verticalmente hacia lo más profundo del océano.

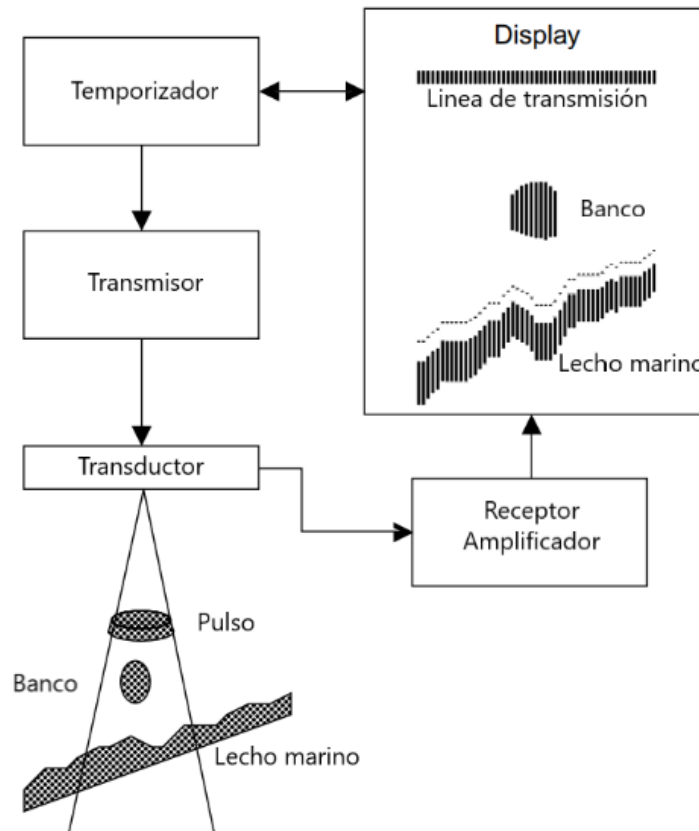


Figura 5 Concepto del funcionamiento de un ecosonda. El pulso transmitido genera ecos desde un banco de peces hasta el lecho marino que se encuentra debajo de los transductores y se muestran en un ecograma. Adaptado de (John Simmonds, 2005)

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestran los componentes básicos de un ecosonda. El transmisor produce una ráfaga de energía eléctrica a una particular frecuencia, éstas pueden ser las que se usan en aplicaciones pesqueras: 38, 120, 200 o 420kHz. La salida del transmisor está conectada a un transductor el cual convierte la energía eléctrica en energía acústica que se propaga a través del agua; el transductor proyecta el sonido en forma de un haz y este lleva dirección a una cierta parte del subsuelo. El ancho de banda es inversamente proporcional a la frecuencia del sonido que se está utilizando. El haz de un ecosonda utilizada para la pesca normalmente tiene un ancho de 5° a -15° , pero no tiene que ser necesariamente simétrico, los anchos de haz a lo largo y transversal del barco pueden ser diferentes.

El pulso de sonido transmitido se propaga a través del agua alejándose del transductor, este puede encontrar desde peces hasta el lecho marino. Estos objetivos reflejan o dispersan el sonido, y algo de energía regresa hacia el transductor. El sonido dispersado que regresa se le conoce como eco y es detectado por el transductor y lo convierte en energía eléctrica como la señal recibida. El tiempo que tarda el eco en ser recibido determina la distancia entre el objetivo en cuestión y el transductor, la señal recibida es amplificada por el receptor y lo muestra en el ecograma. En los monitores tradicionales de escalas grises, las señales detectadas aparecen como marcas negras sobre un fondo blanco; en la actualidad la mayoría de los ecogramas usan un rango de varios colores

para dar un mejor contraste visual al usuario, en este caso, las señales de mayor fuerza se muestran en tonalidades negras o rojas y las menos intensas en azul o gris. Sin importar el tipo de ecograma, este generara una fotografía de los objetivos, el cual muestra su profundidad o la distancia con los transductores.

Después de un tiempo, el transmisor vuelve a producir otro pulso y el proceso se repite. Esto resulta en una fotografía de dos dimensiones de objetivos como trazas de eco conectadas; las imágenes en esta fotografía son llamadas marcas. La extensión vertical de una marca indica la longitud del objetivo en cuestión, mientras que la posición horizontal muestra cambios en el tiempo si la ecosonda se encuentra inmóvil o si la ecosonda se encuentra montada en un barco en movimiento.

Los primeros tipos de ecogramas usaban un lápiz que operaba mecánicamente, el cual marcaba el papel para proveer la grabación. Dos tipos de papel fueron usados, el primero era un papel seco en el cual las marcas oscuras indicaban la fuerza de los objetivos como una escala de grises en un fondo blanco, pero este papel tiene un rango dinámico pobre lo que significa que había poca diferencia entre los rastros de peces difusas y densas; y el segundo, era un papel húmedo que tenía un mejor rango dinámico. En tiempos actuales, los sistemas de sonares han hecho un uso extensivo de computadoras para procesar sus señales, los ecogramas son mostrados en un monitor y si se requiere una impresión, una impresora periférica puede proveer una copia.

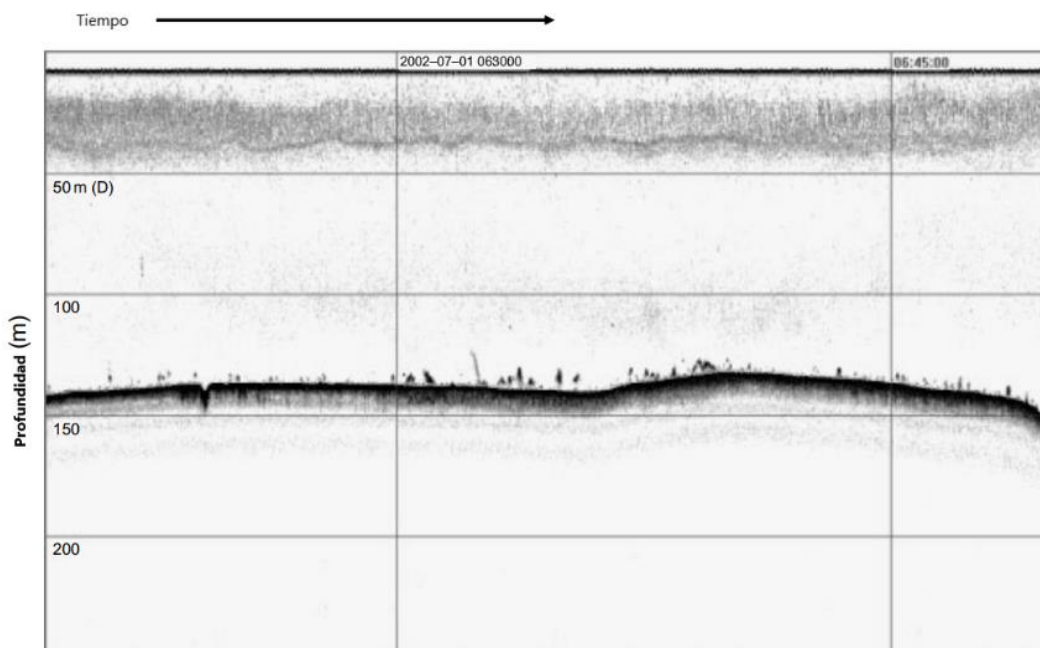


Figura 6 Ejemplo de un ecograma. Adaptado de (John Simmonds, 2005)

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** representa un ejemplo de un ecograma en escala de grises. Cerca de la cima de la imagen se puede observar la marca del transmisor el cual corresponde a la profundidad del transductor, cercana a la

superficie; las marcas difusas entre los 20 y 40 metros de profundidad son causadas por el plancton. El ligero aumento en la densidad visto a los 40 metros de profundidad está asociado con la termoclina. Un pequeño banco de peces es observado puede ser vista como rastros negros debajo de la capa del plancton, justo fuera de la amplia línea oscura a unos 140m, el cual indica el subsuelo marino.

Las ecosondas más simples son usadas principalmente para localizar agregaciones de peces y para determinar la profundidad del subsuelo. Estos proveen un poco de información acerca de la cantidad de objetos detectados como ecos, para este propósito se han desarrollado instrumentos mucho más sofisticados como por ejemplo las ecosondas científicas.

Hay algunas consideraciones generales en el diseño de los ecosondas para obtener el mejor rendimiento. La absorción del sonido en el agua incrementa rápidamente con la frecuencia, por lo que el rango máximo de una ecosonda está determinado por la frecuencia de operación. Ecosondas de alta frecuencias están limitadas a rangos cortos. Se puede mejorar la capacidad de detección del ecosonda reduciendo el ancho de banda, pero el tamaño físico del transductor es un problema si un haz muy estrecho es requerido a una baja frecuencia. Se puede mejorar el rango de resolución reduciendo el pulso de duración, esto se puede hacer a altas frecuencias porque la duración es más corta por el mismo número de ciclos dentro del pulso. Si el pulso es muy corto, el receptor debe tener un ancho de banda amplio para recibir los ecos y es más vulnerable al ruido. Para superar el ruido, es de gran ayuda generar más potencia en la transmisión, pero hay limitaciones tanto en la electrónica como en los niveles de sonido que se pueden transmitir en el agua. Trabajar en aguas profundas se requieren bajas frecuencias, debajo de los 10kHz, mientras que los ecosondas usados en lagos poco profundos o para observar el plancton cerca de la superficie normalmente opera a frecuencias entre 100 y 450kHz.

ECOSONDA MULTIHAZ.

Las ecosondas multihaz son una herramienta valiosa para la determinación de la profundidad cuando se necesita la cobertura total del fondo marino. Estos sistemas pueden permitir la zonificación completa del fondo marino con el consiguiente aumento de la resolución y la capacidad de detección. (Dirección de Hidrografía y Navegación, 2020)

El principio de operación de una ecosonda multihaz está basado en una transmisión de pulso en forma de ventilador dirigido hacia el fondo marino y después de la reflexión de la energía acústica por el fondo del mar; usando técnicas de procesamiento de señal, con los ángulos de haces conocidos. Los lugares del fondo están ubicados de tal forma que permite el levantamiento de una franja de puntos, normal a la dirección del avance del barco. Esta franja se le conoce como barrido y la superficie que abarca como ancho de barrido y sus dimensiones pueden darse en función del ángulo que abarca o de la longitud que barre. Esta longitud de barrido depende del ángulo de barrido, de la

profundidad y del alcance máximo. El principio de funcionamiento se puede observar en la Figura 7.

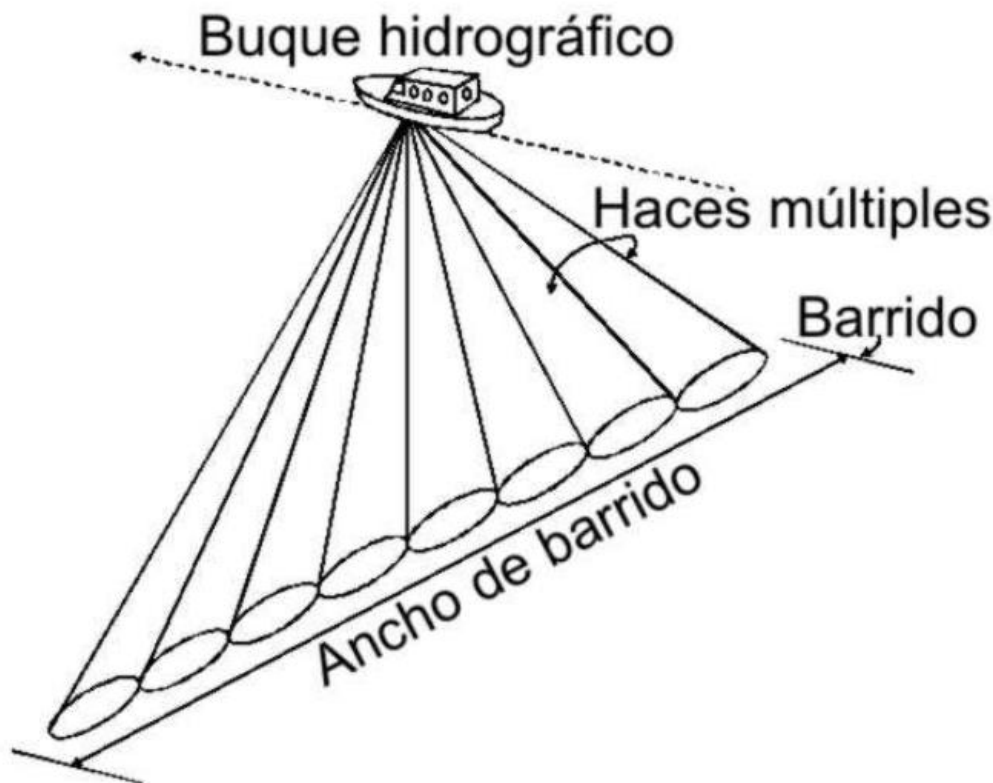


Figura 7 Funcionamiento de un ecosonda multihaz. Obtenido de (Universidad de Buenos Aires, 2022)

La gran diferencia de este equipo con una ecosonda de monohaz es el área de trabajo, ya que la extensión que cubre una ecosonda monohaz es insuficiente para conocer ampliamente el fondo del océano. La superficie representada del fondo marino por este sistema no es muy precisa y no se pueden explicar algunos fenómenos geológicos y geofísicos. Utilizar un ecosonda de multihaz minimiza los costos de operación ya que se cubren grandes extensiones de territorio y se gana rapidez. (Laura Ballester Mora, Junio 2010)

Una de las más grandes ventajas de este tipo de ecosondas es que pueden levantar cada franja del fondo en un tiempo que tarda en regresar el eco del punto más alejado de cada barrido. Para una ecosonda multihaz cuyo ángulo de barrido es de 120° , la frecuencia de repetición de pulso es la mitad de la correspondiente a un ecosonda de un solo haz a la misma profundidad, pero se pueden obtener 100 sondeos contra uno del ecosonda de un solo haz. (Universidad de Buenos Aires, 2022)

Todo el conjunto que conlleva un ecosonda multihaz hace que el poder adquirir uno de estos sistemas sea más difícil por su altísimo costo, incluso su costo puede llegar a ser varias veces el valor de una ecosonda de un solo haz. Sin embargo, el costo elevado es compensado por la reducción de tiempo de la operación. Los sistemas ecosonda

multihaz son los más utilizados en distintas operaciones, en particular las de alta mar en donde el costo operativo de toda la embarcación es elevado. (Dirección de Hidrografía y Navegación, 2020)

Los sistemas ecosondas multihaz incluyen:

- **MRU:** El sensor *Motion Reference Unit*, mejor conocido por sus siglas en inglés MRU es un dispositivo capaz de medir la guiñada, el cabeceo y el balanceo de una embarcación (Figura 8), esto con el fin de colocar la embarcación en la posición deseada. El sensor se ayuda de otro tipo de sensores como lo son: un acelerómetro, que mide y analiza la velocidad lineal y angular y un giroscopio, capaz de medir, mantener o cambiar la orientación en el espacio de algún aparato.

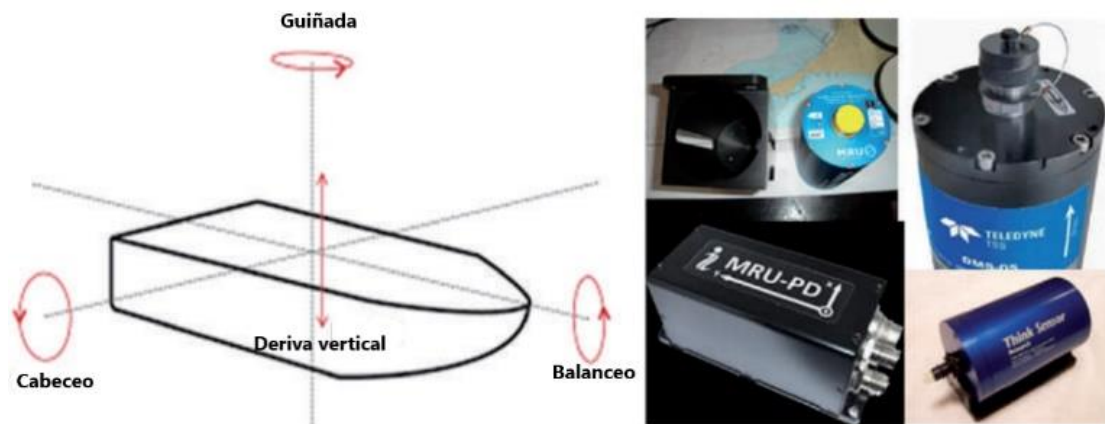


Figura 8 Tipos de MRU. Obtenido de (Dirección de Hidrografía y Navegación, 2020)

- **Perfilador de la velocidad del sonido:** Este mide la velocidad del sonido en una columna de agua (Figura 9, lado izquierdo) a cualquier profundidad que se requiera disparar el haz. El equipo que usan los buques de la UNAM es el sensor de la AML y este va montado en el *Minos X* (Figura 9 lado derecho junto con otros sensores).

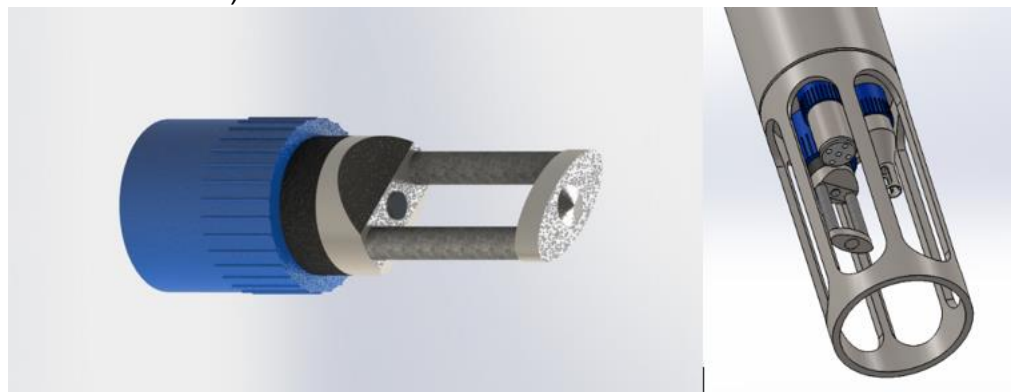


Figura 9 Lado izquierdo: sensor SVX de la marca AML. Lado derecho: Minos X con el SVX montado

- **Sonda de velocidad del sonido:** Este es indispensable porque va a medir la velocidad del sonido en la cara de los transductores de recepción y de transmisión (Figura 10). Este se monta en la góndola del barco.

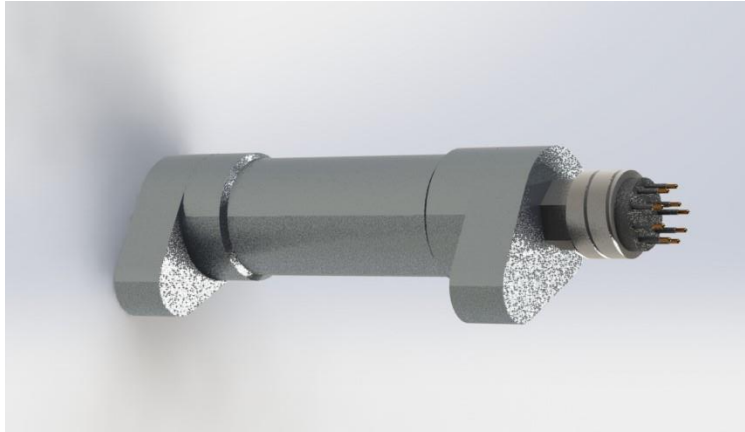


Figura 10 El SVP 70 es la sonda que está montada en el buque Justo Sierra.

RUIDO ACÚSTICO.

La calidad de los ecos que se transmiten y reciben los sistemas batimétricos son susceptibles a ruidos no deseados. Los ecos de cualquier objetivo, ya sea pequeño o grande, debe ser detectado dentro del ruido. (Kongsberg, 2022) Es importante mantener los niveles de ruido a un bajo nivel para obtener interpretaciones de ecos confiables y de largo alcance.

Muchos factores están contribuyendo al rendimiento del equipo batimétrico usado a bordo de la embarcación, estos son:

- La calidad y las propiedades de la señal transmitida.
- La calidad del sistema receptor.
- Los ajustes operativos hechos durante la operación.
- Las propiedades del objetivo.
- La relación señal-ruido.

La mayoría de estos factores no se pueden controlar o mejorar mediante los distintos métodos de instalación o por la localización de los transductores. Las diversas compañías encargadas del desarrollo de equipos batimétricos ayudan a los usuarios en sus manuales sugiriendo las mejores configuraciones a los equipos para obtener mejores resultados durante su operación. Sin embargo, para las propiedades de los objetivos a estudiar, no hay nada que se pueda hacer para poder controlar los ruidos indeseados que estos puedan emitir.

La relación señal-ruido, sin embargo, se puede mejorar tomando las decisiones correctas durante la instalación. Esta relación es una medida que compara el nivel de una señal deseada al nivel del ruido de fondo, es definida como la relación del poder de la señal y

el poder del ruido, en ocasiones expresada en decibeles. Una relación más alta que 1:1 indica que hay más señal que ruido.

La señal es el eco que se quiere saber cuál es su origen, mientras que el ruido es cualquier señal indeseada o una perturbación. El eco debe ser detectado en el ruido y por lo tanto es necesario mantener los niveles de ruido tan bajo como sea posible.

- **Ruido propio:** Cualquier embarcación equipada con un sistema batimétrico (por ejemplo, una ecosonda o un sonar) producirá su propio ruido.
- **Ruido de la maquinaria:** El principal contribuyente del ruido de la maquinaria es usualmente el motor principal a bordo de la embarcación. Sin embargo, la contribución de la maquinaria auxiliar puede ser tomada en cuenta especialmente si está en mal estado. El ruido de la maquinaria puede ser transmitido al transductor como:
 - Ruido propagado por la estructura a través de la estructura del barco y el montaje de los transductores.
 - Ruido transmitido por el agua a través del casco hacia el agua hasta el transductor.
- **Ruido eléctrico:** Embarcaciones modernas están equipadas normalmente con muchos instrumentos electrónicos, como lo son los sistemas batimétricos, radares, sistemas de navegación y equipo de comunicación. Cualquier instrumento eléctrico puede en algunos casos causar interferencia eléctrica y ruido.
- **Ruido de la hélice:** El ruido de la hélice es en ocasiones la principal fuente de ruido a altas velocidades del barco. Hélices de paso variable o de movimiento rápido usualmente hacen más ruido que las hélices fijas o de movimiento lento. El ruido de la hélice suele ser transmitido por el agua. En algunos casos, las vibraciones del eje o las vibraciones del casco cerca de la hélice pueden ser transportado por la estructura del transductor. Si una pala de la hélice esta dañada, esto puede considerar el ruido considerablemente.
- **Cavitación:** La cavitación es la formación de pequeñas burbujas de aire cercanas a la cara del transductor (Figura 11). Las burbujas aparecen debido a que la presión local adquiere un valor negativo durante partes de los ciclos de la presión acústica. El umbral de la cavitación incrementa con la presión hidrostática. El ruido es producido cuando las burbujas implosionan. El ruido de la cavitación puede aparecer cerca de objetos extruidos a altas velocidades, pero es más común que aparezcan debido a las hélices. La cavitación de las hélices es una severa fuente de ruido.



Figura 11 Ruido por cavitación. Obtenido de (Kongsberg, 2022)

- Ruido de flujo:** Las capas superiores de agua del mar contienen grandes cantidades de burbujas de aire creadas por el rompimiento de las olas. Cuando el casco se mueve a través del agua causara una perturbación, y esto generara una fricción (Figura 12). La zona de fricción es llamada la capa límite de flujo. El flujo en esta capa puede ser laminar o turbulento. Las burbujas de aire absorben y reflejan la energía del sonido, y en graves casos, pueden bloquear la transmisión del sonido.

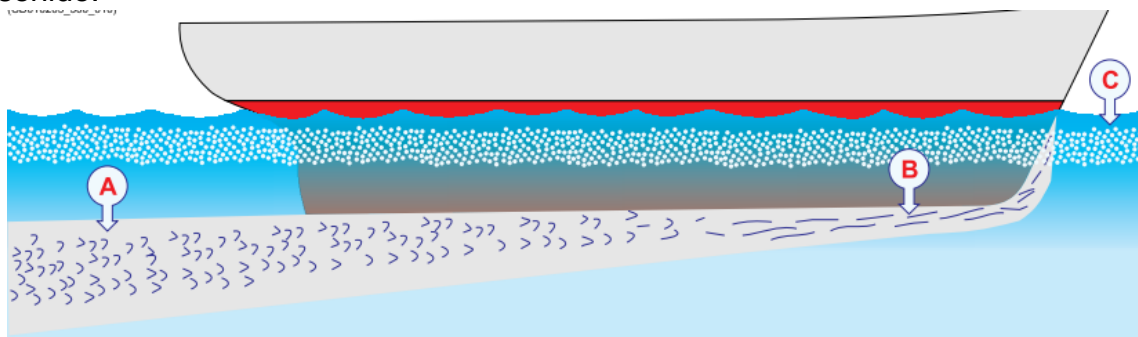


Figura 12 A: flujo turbulento. B: flujo laminar. C: burbujas de aire. Obtenida de (Kongsberg, 2022)

- Ruido del traqueteo:** Este tipo de ruido puede ser causado por objetos sueltos cercanos al transductor. También puede ser ocasionado por objetos sueltos dentro de la embarcación.
- Interferencia:** La interferencia de otro equipo hidro acústico a bordo en el mismo barco puede ser una molesta fuente de perturbación. A menos que la misma frecuencia es usada por más de un equipo solamente el pulso transmitido contribuirá a la interferencia.

Muchos factores pueden contribuir al rendimiento de los equipos batimétricos utilizados a bordo de la embarcación. Una cuidadosa planeación de la instalación puede reducir el ruido acústico.

Un factor importante para la reducción acústico es la localización física de los transductores. Esto depende del diseño y la construcción de la embarcación, la forma del casco y de cómo corre el agua a lo largo del casco. Otro ejemplo es la velocidad de la embarcación. A una velocidad moderada, el ruido de la maquinaria es el dominante, a velocidades medias, el ruido del flujo incrementa rápidamente y a altas velocidades, el ruido de la hélice se convierte en el principal perturbador. (Kongsberg, 2022)

ECOSONDA PARAMETRICA (Perfilador de subsuelo).

Un perfilador de subsuelo o como se les conoce en inglés “*sub-bottom profiler*”, están basados en el concepto de mediciones híbridas entre un sonar y los sistemas sísmicos. Es un equipo de adquisición de datos, con el que se pueden obtener representaciones del fondo marino. Esta ecosonda está fundamentada en el principio de la reflexión de las ondas acústicas en las superficies que separan medios con impedancia acústica diferente, es decir, cuando más grande sea el contraste entre los dos medios mayor será la reflexión que se producirá en dicha superficie. (Vergara, 2016)

La función principal de un ecosonda paramétrica es grabar ecos desde las interfaces entre las capas de rocas o sedimentos. Estas interfaces corresponden a discontinuidades en la impedancia acústica (densidad multiplicada por velocidad de las ondas sísmicas de la respectiva capa) entre ellas, generando reflexiones de la señal acústica.

Las ecosondas paramétricas exploran las primeras capas de rocas o sedimentos bajo el fondo marino, sobre un espesor que abarca comúnmente alrededor de decenas de metros. Tecnológicamente hablando, los ecosondas son de un solo haz, de baja frecuencia, en un rango de 1 a 10kHz.

El alcance y la calidad de la imagen obtenida dependen de la frecuencia acústica utilizada. Las ondas de baja frecuencia penetran más profundamente en los sedimentos, pero la resolución de la imagen es más baja. Por el contrario, a más altas frecuencias la penetración es menos profunda y la calidad de la imagen es mayor.

En cuanto a la estructura física de una ecosonda paramétrica se puede acoplar tanto en el casco del barco como también puede ser remolcado, como una ecosonda *Towfish* (ecosonda de barrido remolcado, ver Figura 13) a cierta profundidad para independizarlo de los movimientos del barco causados por las olas en la superficie del océano.



Figura 13 Ejemplo de una ecosonda towfish de la marca Imagenex. Tomado de (Nautilus Oceanica, 2022)

La información que se puede obtener del subsuelo marino, son básicamente perfiles batimétricos en profundidad, los cuales muestran la estratigrafía (rama de la geología que trata del estudio e interpretación de las rocas sedimentarias, metamórficas y volcánicas) y los diferentes tipos de sedimentos presentes del subsuelo marino, estos pueden ser arena, grava, lodo, etc. (Figura 14)

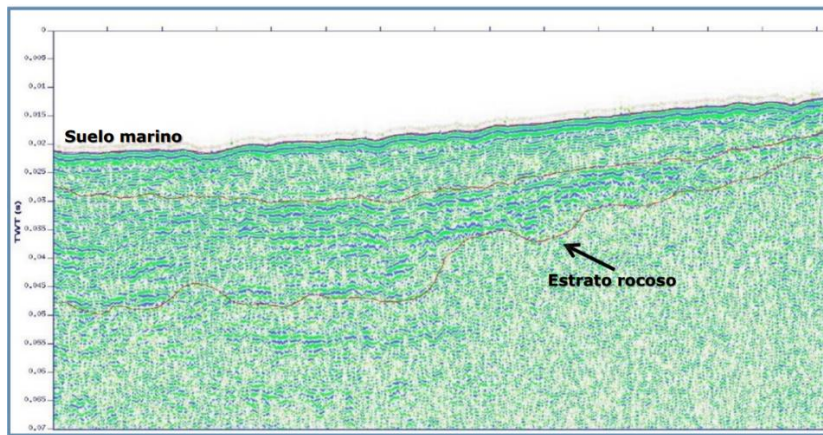


Figura 14 Ejemplo de la delineación del estrato rocoso, usando un sistema SBP. Obtenido de (BENTOS, 2022)

Los estudios de ambientes de aguas someras tienden a ser más detalladas en cuanto más variaciones en el tipo de sedimento y su distribución. En ambientes de aguas profundas se encuentran generalmente cambios más interesantes en estructuras, estratos y cambios de características acústicas más gruesas, es decir, de mayor escala.

Particularmente, la técnica empleada a través del ecosonda paramétrica tiene la ventaja de facilitar la obtención y manejo del importante volumen de datos en que inevitablemente se incurre cuando se investiga las áreas del fondo marino, que usualmente se presentan en la práctica para la cimentación de estructuras y obras asociadas.

Aplicaciones de un perfilador de subsuelo.

- Exploraciones geofísicas.
- Búsqueda de recursos minerales.
- Detección de depósitos de gas natural.
- Obtención de imágenes de la columna de agua o monitoreo de filtraciones de gas.
- Apoyo en exploraciones geotécnicas con la determinación del espesor de unidades sedimentarias no consolidadas.
- Perfiles de ruta para tuberías y proyectos de tendido de cables submarinos.
- Detección de objetos enterrados para arqueología submarina, como búsqueda de objetos (naufrgios, edificaciones históricas o asentamientos).

METODOLOGIA.

Luego de conocer parte de la historia y el funcionamiento de las ecosondas, en este apartado, se analizarán los equipos hidroacústicos multihaz y paramétrica (Topas ps18) que posee COPO de la marca *Kongsberg* para conocer si los equipos que actualmente posee la coordinación siguen cumpliendo con las nuevas necesidades que requieren las expediciones.

Kongsberg EM 300.

La ecosonda multihaz EM 300 (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) es un equipo que está montado en el buque “El Puma” y se ha usado en múltiples campañas en el Océano Pacífico. Este equipo está diseñado para hacer mapeo desde 10 metros de profundidad hasta los levantamientos continentales, incluyendo cuencas oceánicas menos profundas. Opera hasta 5000 m de profundidad con un ancho de apertura de hasta 5000 m. Pequeños transductores y electrónicos compactos hacen que la instalación sea fácil, y la precisión del sistema es generalmente buena dentro de los estándares de la Organización Hidrográfica Internacional (IHO por sus siglas en inglés *International Hydrographic Organization*). (Kongsberg, 2022)

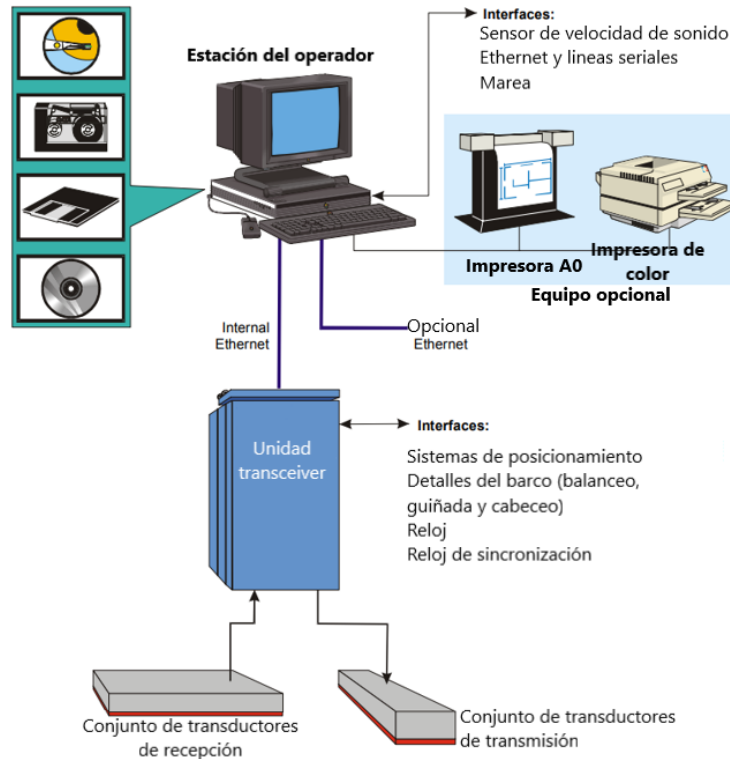


Figura 15 Componentes del EM 300. Adaptado de (Kongsberg, 2022)

La ecosonda EM 300 es un sistema completo. Todas las interfaces necesarias de los sensores, información en pantalla para el control de calidad y la calibración del sensor, la visualización del fondo marino, y el registro de información son una parte estándar del sistema, al igual que la capacidad integrada de la generación de imágenes acústicas del fondo marino.

Características técnicas.

Frecuencia de operación y el sector de cobertura.

La frecuencia nominal del sonar es de 30 kHz con un sector de cobertura angular de hasta 150 grados por *ping* tan estrecho como 1 grado. El sector de cobertura angular y los ángulos de orientación del haz pueden ser establecido para variar automáticamente con la profundidad de acuerdo con la cobertura alcanzable, esto maximiza el número de haces usables. La distancia entre haces es normalmente equidistante con el equiángulo disponible.

Transmisión.

El ventilador de transmisión está dividido en muchos sectores individuales con una dirección activa independiente de acuerdo con el balanceo, cabeceo y la guiñada del barco. Esto coloca a todos los sondeos en un mejor ajuste a una línea perpendicular a la línea de medición, esto asegura un muestreo uniforme del fondo y un 100% de cobertura.

Los sectores son frecuencias codificadas (30 a 34 kHz), y estos son transmitidos secuencialmente a cada *ping*. La dirección es totalmente tomada en cuenta cuando la posición y la profundidad de cada sondeo es calculada, así como la refracción debido al perfil de la velocidad del sonido, los detalles de la embarcación y los ángulos de instalación. La longitud del pulso y la tasa de rango del muestreo son variables con la profundidad para una mejor resolución y en aguas poco profundas se presta la debida atención a los efectos de campo cercano.

Frecuencia de operación y sector de cobertura.

La frecuencia nominal de la ecosonda es de 30 kHz con un sector de cobertura angular de hasta 140° y 135 sondeos por *ping*.

Conjuntos de transductores.

Los transductores del EM 300 con conjuntos lineales en una configuración *Mill Cross* (Figura 16) con unidades separadas para la transmisión y la recepción. Los conjuntos son divididos en módulos. El número de módulos usados puede ser ajustada de acuerdo con los requerimientos particulares de instalación. Para ambos conjuntos, los anchos de banda de 1 o 2 grados son las opciones estándar, y un ancho de banda de 4 grados está disponible para el conjunto receptor. La distancia resultante entre conjuntos es de aproximadamente 0.8 y 3.3 m.

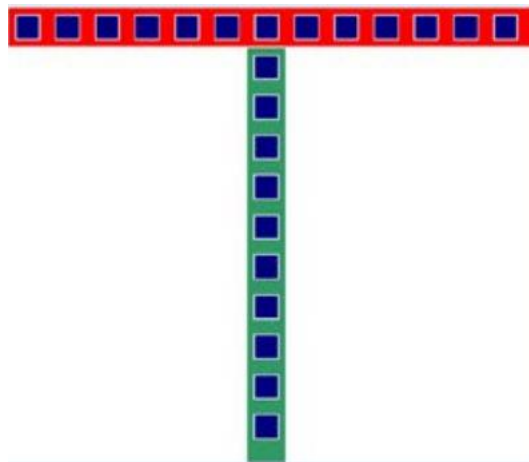


Figura 16 Configuración Mills cross para montar los transductores de recepción y de transmisión. Obtenido de (NOAA, 2022)

Componentes que forman el EM 300.

La ecosonda multihaz EM 300 (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) consiste en las siguientes partes:

- Conjunto de transductores de transmisión.
- Conjunto de transductores de recepción.
- Unidad *transceiver*.
- Estación del operador.

Un sistema de mapeo completo incluirá las siguientes unidades adicionales:

- Sensor de movimiento de la embarcación.
- Sistema de posicionamiento.
- Sensor de velocidad del sonido.
- Sistema de post procesamiento.

Conjunto de transductores.

El conjunto de transductores de transmisión contiene hasta 8 módulos de acuerdo con el ancho de haz elegido. Cada módulo de haz contiene 108 elementos organizados en filas de 6 elementos. Cada elemento está individualmente conectado a su transmisor correspondiente en la unidad de transmisión. Por lo tanto, se puede controlar por un nivel de amplitud y fase únicos para permitir la formación de sectores de transmisión requeridos con dirección individual.

El conjunto de transductores de recepción contiene hasta 8 módulos de acuerdo con el ancho de banda elegido. Cada módulo contiene 16 hidrófonos, y estos tienen conexiones eléctricas individuales a sus preamplificadores correspondientes a la unidad del transceptor. Por lo tanto, a cada hidrófono se le puede dar una amplitud única y ponderación de fase para la formación de haces de recepción requeridos.

Unidad transceiver.

La unidad transceiver del EM 300 contiene los electrónicos de transmisión y de recepción y los procesadores para la formación de haces, detección del fondo, y control de todos los parámetros con respecto al aumento, tasa de *ping* y los ángulos de transmisión. Tiene interfaces seriales para todos los sensores externos de tiempo crítico como lo es los detalles del barco (balanceo, cabeceo), posición del barco, y un reloj externo.

Estación de operación.

La estación del operador es una estación de trabajo de alto rendimiento que ejecuta el sistema operativo Unix. Contiene la interfaz del operador, visualización de los datos obtenidos.

La siguiente información puede ser registrada:

- Profundidad.
- Imágenes del fondo marino.
- Posición y detalles de la embarcación.
- Información de la velocidad del sonido.
- Instalación del sistema y la configuración de parámetros.

Método de instalación.

El arreglo de transductores del EM 300 se encuentra montado en la parte delantera de la embarcación formando un "T". El método de instalación que se usa para este modelo

es el método de góndola que es el más común y práctico de los demás (Figura 17). Además, es el mismo método que se usa en su sucesor, el EM 302.



Figura 17 Góndola para el EM 300. Obtenida de (OceanInstruments, s.f.)

Kongsberg EM 302.

El equipo multihaz EM302 es un ecosonda que está equipada en el buque “Justo Sierra” y es el sucesor del modelo EM 300. La ecosonda multihaz está diseñada para mapear casi todos los suelos oceánicos (con excepción de trincheras profundas) con una precisión y resolución excelentes (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). El sistema es rentable, confiable, y fácil de operar. Este es un mejor sistema en comparación con las ecosondas multihaz para profundidades oceánicas como lo es el EM 122 cuando la mayoría de su mapeo se realiza a profundidades inferiores de 2-3000m, y sobre pequeñas embarcaciones donde no sería factible instalar los transductores de un sistema completo para profundidades oceánicas. (Kongsberg, 2022)

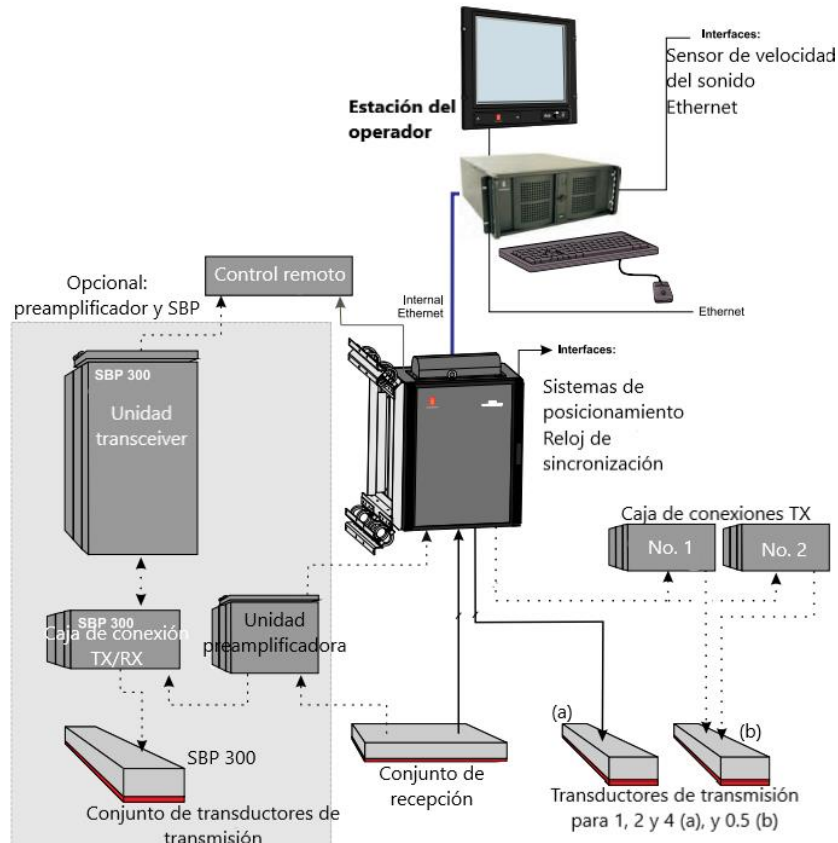


Figura 18 Componentes del EM 302. Adaptado de (Kongsberg, 2022)

Comparado con el EM 300, el EM 302 tiene seis veces la resolución en términos de la densidad del sonido mediante la inclusión de la capacidad de multiplicación y más de tres veces el número de detecciones por franja. El ancho de franja alcanzable del EM 302 es de 8000m, o cerca de un 50% más de lo posible con el EM 300, usando una frecuencia modulada el cual gana cerca de 15dB en relación señal a ruido en comparación con las ondas continuas. En profundidades oceánicas típicas, se puede lograr un espaciamiento del sonido de 25 metros a través y a lo largo.

Conjuntos de transductores.

Los transductores del EM 302 son conjuntos lineales en una configuración *Mill Cross* con unidades separadas para la transmisión y la recepción. Los conjuntos están divididos en módulos.

Para el conjunto de transmisión, el ancho de banda de 0.5, 1, 2 y 4° son opciones estándares, y para el conjunto de recepción 1, 2 y 4°. Las longitudes resultantes de los conjuntos son de 0.8 y 6m.

Características del sistema.

Unidades principales.

La ecosonda multihaz EM 302 consiste en las siguientes unidades:

- Conjunto transductor de transmisión (con una caja de conexiones TX para el conjunto 0.5° TX)
- Conjunto transductor de recepción.
- Unidad *transceiver*.
- Unidad preamplificadora (solo si el perfilador de subsuelo está conectado).
- Estación del operador.

Un sistema completo de muestreo también incluye las siguientes unidades adicionales:

- Un sensor de movimiento de la embarcación.
- Sensor de dirección.
- Sistema de posicionamiento.
- Sensor de velocidad del sonido.
- Sistema de post-procesamiento.

Unidad transceiver.

La unidad *transceiver* del EM 302 contiene los electrónicos de transmisión y de recepción y los procesadores para la formación de haces, detección del fondo, y control de todos los parámetros con respecto a la ganancia, tasa de *ping* y ángulos de transmisión. Tiene interfaces seriales para todos los sensores de externos de tiempo crítico como lo es los detalles de la embarcación (balanceo, cabeceo, etc.), posición de la embarcación y un reloj externo.

Unidad preamplificadora.

La unidad preamplificadora del EM 302 contiene los preamplificadores para la recepción de señal. La unidad también provee el circuito divisor de frecuencia para alimentar las señales de frecuencia baja al perfilador de subsuelo SPB 300.

Perfilador de subsuelo SPB (*Sub Bottom Profiler*) 300 (opcional).

La capacidad del sistema SPB 300 incluye las siguientes características.

- Un conjunto de transductores de transmisión adicional de baja frecuencia, con el conjunto de hidrófonos del EM 302 que se utilizan para la recepción.
- Una unidad preamplificadora para separar los perfiladores de eco de multihaz y de subsuelo.
- Una unidad transceptora perfiladora del subsuelo.
- Estación del operador.

Modos de operación.

La ventaja de este modelo con respecto a su antecesor, el EM 300, es que ofrece distintos modos de operación y llegando a sustituir equipos especializados como aguas someras o aguas profundas, como la ecosonda EM 2040, que es un equipo para aguas someras.

Aguas profundas.

En aguas profundas el ventilador de transmisión se divide en ocho diferentes sectores, los cuales son transmitidos secuencialmente dentro del mismo *ping*. Este método incrementa el nivel de la fuente del sistema, y por lo tanto el rango máximo y la capacidad de cobertura significativamente. Es también muy importante en el mantenimiento de una alta precisión de los haces exteriores ya que reduce en gran medida la interferencia perjudicial de acústicos múltiples o de reflexiones.

Mediante el uso de dirección de haz electrónico durante la transmisión, los sectores son inclinados a lo largo de la vía para tener en cuenta el balanceo, cabeceo y guiñada del barco con respecto al encabezado de la línea de levantamiento. Se requieren direcciones de cabeceo y especialmente de guiñada en sectores individuales para garantizar una cobertura del fondo del 100% en aguas profundas.

Mientras que la longitud normal del pulso es de 5ms, para aguas más profundas cerca de 1000m, cuando la relación señal-ruido reducirá la cobertura, una frecuencia modulada será usada en los sectores exteriores. Su ancho de banda corresponde a la resolución del pulso CW de 5ms, pero su duración permitirá la compresión del pulso en la recepción y por eso una ganancia en la relación ruido-senal de 15dB.

Aguas poco profundas.

Para aguas poco profundas una longitud del pulso de 0.7ms es usada y el ventilador de transmisión se divide en cuatro sectores los cuales son estabilizados de acuerdo con el balanceo, cabeceo y guiñada de la embarcación. Nótese que la dirección de la guiñada puede ser necesaria incluso a unos cientos de metros de profundidad a pesar de la mayor tasa de *ping* que permite la menor profundidad. El enfoque de campo cercano se aplica a la transmisión y la recepción. Estas técnicas garantizaran en la práctica que el tamaño de la huella este de acuerdo con el ancho de haz también dentro del campo cercano, mejorando la resolución en aguas poco profundas. Para aguas intermedias una longitud del pulso de 2ms es también valido para tener una óptima resolución en el rango es estas profundidades.

Instalación de los conjuntos de transductores.

Los conjuntos de transductores deben ser instalados en la parte delantera de la embarcación, tomando en cuenta la forma del barco, problemas potenciales de aireación y la facilidad de la instalación de los cables.

Los conjuntos de transductores están fijados a un marco con pernos del frente. Los marcos serán montados ya sea directamente o empotrado en el casco, o dentro de los cofres marinos. La última solución será más cara, pero asegurará que los transductores sean montados apropiadamente dentro de las tolerancias requeridas. Un carenado (revestimiento externo realizado por diferentes tipos de materiales que se adapta a un chasis con fines aerodinámicos y por mantenimiento) es usualmente añadido alrededor

de los transductores para asegurar un flujo laminar de agua sin ningún problema de aireación.

Una instalación de góndola o blíster serán de ayuda para evitar un bloqueo de burbujas de aire de los transductores y pueden contener transductores adicionales para otros sistemas (Figura 19).

El conjunto de transmisión contiene 2, 4, 8 o 16 módulos de transductores dependiendo del ancho de banda elegido con cada módulo siendo conectado a través de 3 cables submarinos. El conjunto receptor contiene 2, 4 u 8 módulos de transductores dependiendo del ancho de banda elegido con cada módulo siendo conectado a través de un solo cable submarino.

Los cables tienen una longitud estándar de 15m, y están terminadas con conectores los cuales están conectados directamente en la unidad transeptora.



Figura 19 Instalación por el método de góndola.

Kongsberg EM 304.

Este modelo es el más nuevo de la marca Kongsberg y no ha sido adquirido por la UNAM por lo que se busca una comparación con sus modelos predecesores (EM 300, EM 302) para saber si es necesario adquirir este nuevo equipo y remplazar los anteriores.

Descripción del sistema.

La sonda acústica de multi haz EM 304 consiste en las siguientes partes:

- Conjunto de transductores.

- Unidades transmisoras.
- Unidades receptoras.
- Unidad de procesamiento.
- Estación de trabajo hidrográfico.

Para formar un sistema completo se requiere tener sensores que provean la latitud de la embarcación, velocidad, posición, el perfil de la velocidad del sonido en la columna de agua, y la del sonido en la profundidad del transductor. (Kongsberg, 2022)

Detalles técnicos.

El EM 304 opera a frecuencias del sonar en el rango de 26-34 kHz.

La transmisión está dividida en 4 sectores en el modo de agua poco profunda o superficial (8 sectores en los modos de aguas profundas) para maximizar el rango de capacidad, pero también para reprimir de múltiples de fuertes ecos del fondo. Los sectores se transmiten de forma secuencial dentro de cada *ping*, y usa distintas frecuencias o formas de onda.

La frecuencia nominal del sonar es de 30 kHz con un sector de cobertura angular de 150 grados y de 1600 haces por *ping*. El ancho de la franja alcanzable en un fondo plano será de hasta de 5.5 veces (140 grados) la profundidad del agua. El sector de cobertura angular es controlable por el operador o puede ser establecida en un rango fijo. También puede establecerse que varíe automáticamente con la profundidad de acuerdo con la cobertura alcanzable, esto aumenta el número de haces que se pueden usar.

La transmisión está dividida en varios sectores individuales con dirección activa independiente de acuerdo con el balanceo, cabeceo y guiñada del barco. Esto ayudara a los haces que se disparan a tener un mejor ajuste y se forme una línea perpendicular con la línea de levantamiento esto asegura un muestreo uniforme del fondo marino y un 100% de cobertura.

Los sectores están codificados por una frecuencia o tienen una señal FM que varía con el tiempo, y son con transmitidos secuencialmente en cada *ping*. La dirección del sector es completamente tomada en cuenta cuando la posición y la profundidad de cada haz es calculada, así como la refracción debido al perfil de la velocidad del sonido. La longitud del pulso y la tasa de muestreo del rango son variables con la profundidad para mejor resolución.

Descripción del transductor.

Un transductor es un dispositivo que convierte una forma de energía a otra. En una ecosonda, el transductor convierte energía eléctrica a sonido. El EM 304 usa conjuntos de transductores separados para transmitir y recibir los pulsos del sonido (Figura 20).

Los dos conjuntos de transductores están montados como las configuraciones de “L” o “T” debajo del casco de la embarcación. El conjunto de transductores transmisores debe estar alineados de forma paralela a la quilla del barco. El conjunto de transductores receptores debe estar alineado a 90 grados de la quilla.

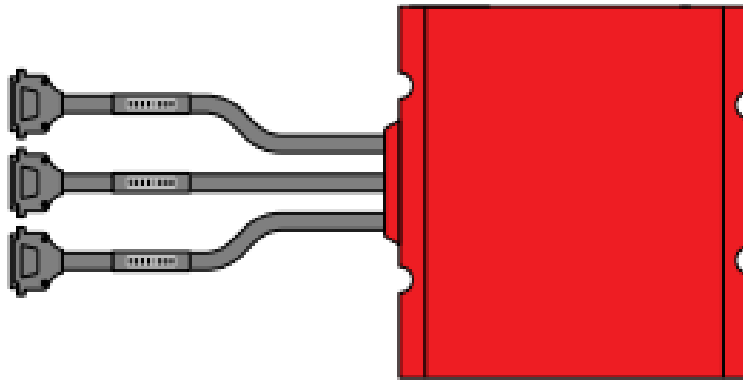


Figura 20 Dibujo que representa un transductor. Obtenido de (Kongsberg, 2022)

Unidad transmisora.

La unidad transmisora del EM 304 tiene los electrónicos de transmisión, como son los procesadores de control, amplificador de poder, una fuente de alimentación, una batería de condensador y una interfaz de Ethernet (Figura 21). La unidad es una cabina de acero montada en una pared con amortiguadores integrados y absorción de la vibración. El Ethernet de par trenzado es utilizado para la comunicación de datos con la unidad de procesamiento.



Figura 21 Unidad transmisora del EM 304. Sus medidas son 89.9cm x 61.2cm x 78.2cm. Obtenido de (Kongsberg, 2022).

Unidad receptora.

La unidad receptora del EM 304 tiene todos los electrónicos receptores, como son el procesador de control, amplificadores, convertidores de señal analógica a digital, una fuente de alimentación y una interfaz de Ethernet (Figura 22).



Figura 22 Unidad receptora. Obtenido de (Kongsberg, 2022)

Unidad de procesamiento.

La unidad de procesamiento del EM 304 provee el procesamiento de las señales hacia y desde las unidades transmisora y receptora (Figura 23).

La unidad de procesamiento realiza la formación de haces del receptor, la detección del fondo y las correcciones del movimiento y de la velocidad del sonido. Contiene todas las interfaces para los sensores externos de tiempo crítico como lo son los detalles de la embarcación, la posición y el tiempo. Más de un sensor de cada tipo puede estar conectado de forma simultánea, con uno de ellos en uso y los otros en espera.

La unidad de procesamiento controla las unidades de receptora y transmisora vía Ethernet, y también está conectado a la estación del operador vía Ethernet.



Figura 23 Unidad de procesamiento. Obtenido de (Kongsberg, 2022).

La unidad transceiver es la encargada de traer todos los electrónicos para la transmisión y recepción, además de los procesadores para la detección del subsuelo. En esta nueva versión, ya no existe la unidad *transceiver* porque todas las funciones que cumplía en versiones anteriores son realizadas por las unidades de procesamiento, recepción y de transmisión.

Diseño, manufactura y montaje de los conductos de acero.

Para este equipo en especial es necesario explicar cómo se instala de forma correcta todos sus componentes, ya que al ser un equipo que todavía no cuenta la universidad conviene explorar este proceso para que COPO se familiarice con el proceso de instalación.

La explicación de la instalación de los equipos EM 300 y el EM 302 no es necesaria ya que ambos se encuentran instalados en los buques de la universidad.

Los conductos de acero son usados para proteger los cables del transductor. Estos deben ser llenados con agua hasta la línea del agua.

Los cables del transductor están conectados a través del casco del barco usando los conductos de acero. Los conductos de acero están soldados al casco, la parte superior de cada conducto debe estar cerrada y sellada para prevenir la estanqueidad.

Los conductos de acero deben estar diseñado para adaptarse a cada barco de forma individual. La calidad de los materiales usados en la manufactura de los conductos, así como también la calidad de la mano de obra debe ser definida por el dueño de la embarcación (Figura 24).

Los conductos deben tener un diámetro de 168 mm o 219 mm. El número de conductos dependerá de la configuración del sistema elegido y del diámetro interno de los conductos.

- 0.5 x 0.5 grados
 - 3 conductos TX, 219 mm.
 - 1 conducto RX, 219 mm.

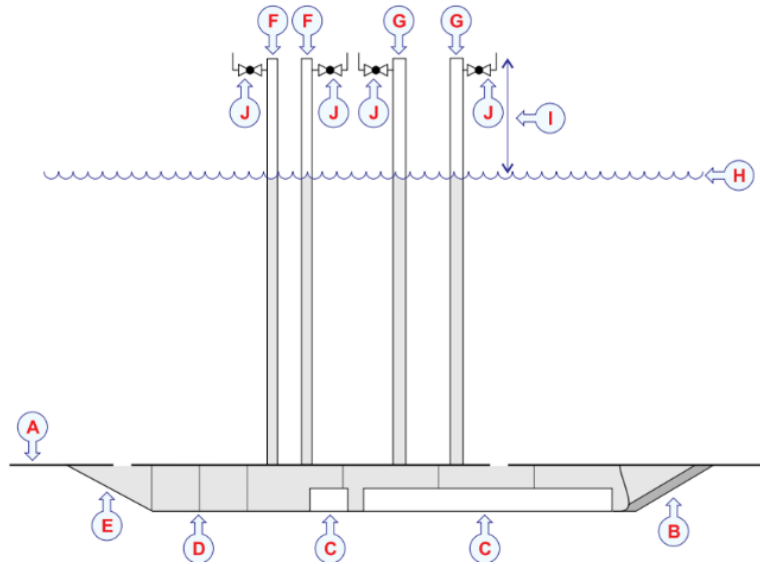


Figura 24 Ubicación de los conductos de acero. Obtenido de (Kongsberg, 2022).

- A: Casco de la embarcación.
- B: Cuchillo para hielo y escombros.
- C: Carcassas para los marcos de los conjuntos de transductores y módulos.
- D: Soportes de apoyo dentro de la carcassa, no deben bloquear los cables del transductor.
- E: Blíster lleno de agua. Con salida de aire hacia el casco.
- F: Uno o más conductos de acero llenados con agua para los conjuntos de transductores RX.
- G: Uno o más conductos de acero llenados con agua para los conjuntos de transductores TX.
- H: Línea de agua.
- I: Mínimo 2 metros sobre la línea de agua.
- J: Tubos de aire separados con válvula de bola, a la cubierta superior.

Reglas para el manejo del transductor.

Para asegurar una larga vida y resultados precisos, el transductor debe ser manejado de forma correcta.

1. No activar el transductor fuera del agua.
2. No manipular el transductor de forma ruda y evitar impactos.
3. No exponer al transductor a la luz directa o al calor excesivo.
4. No usar chorros de agua a alta presión, *sandblasting*, herramientas de metal o solventes fuertes para limpiar la cara del transductor.
5. No dañar la piel protectora externa de la cara del transductor.
6. No jalar el transductor por el cable.
7. No pararse sobre el cable del transductor.
8. No dañar el cable del transductor, y evitar exponerlo a objetos punzo cortantes.

El crecimiento marino (incrustaciones biológicas) en la cara del transductor reduce el rendimiento del EM 304. Se recomienda pintar la cara del transductor después de la instalación.

Orientación del transductor.

Los dos conjuntos de transductores están normalmente montados con la forma de “T” o “L” debajo del casco del barco (la configuración llamada “Mills Cross”. El conjunto de transductores transmisores debe estar alineados en paralelo con la quilla de la embarcación. El conjunto de transductores receptores debe estar alineados a 90 grados sobre la quilla. Ambos conjuntos de transductores deben estar sobre un plano horizontal en la quilla (Figura 25).

Los módulos transductores son ensamblados en los bastidores de montaje hechos especialmente para este propósito. Los módulos son asegurados con abrazaderas de acero, mientras que los cables se tiran por el otro lado del bastidor.

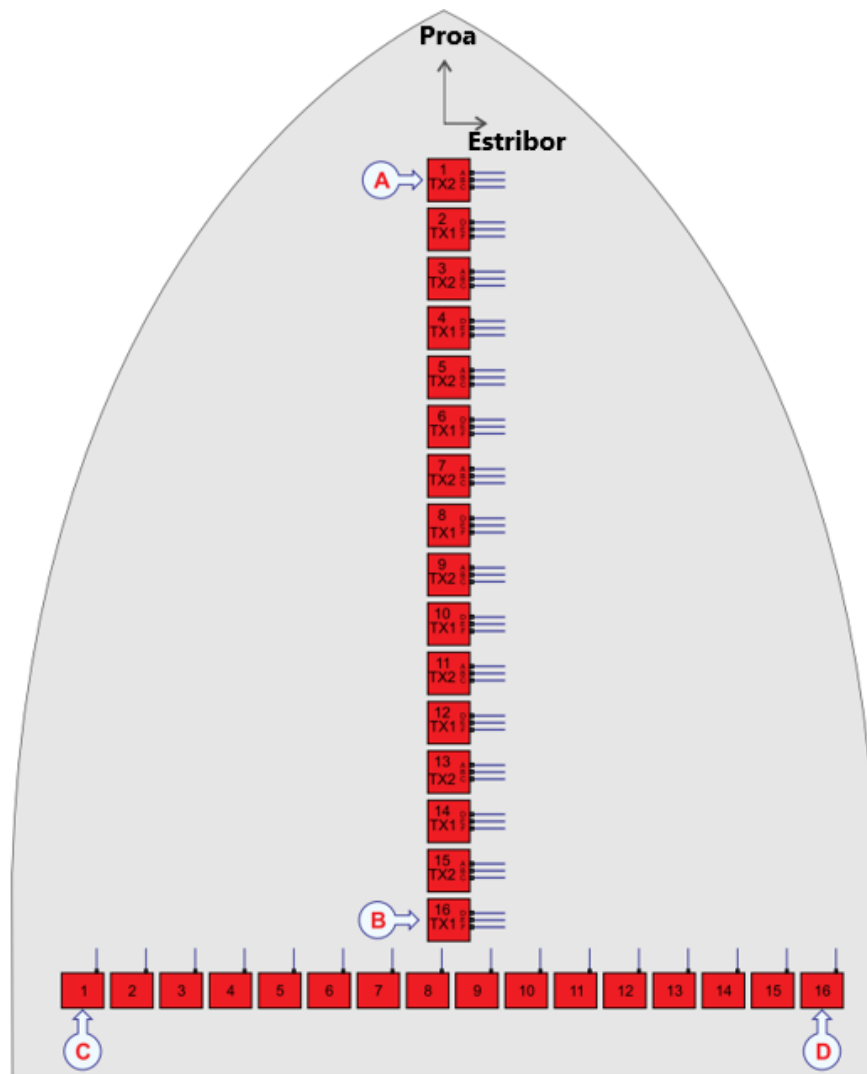


Figura 25 Orientación de los módulos transductores, vista superior, sistema 0.5 x 0.5 grados. Obtenido de (Kongsberg, 2022)

- A: Módulo transductor de transmisión 1.
- B: Módulo transductor de transmisión 16.
- C: Módulo transductor de recepción 1.
- D: Módulo transductor de recepción 16.

Los módulos transductores deben ser instalados con la orientación correcta.

Los cables RX deben apuntar hacia la proa del barco. Los cables TX deben apuntar hacia el lado del estribor.

Principios de instalación del transductor.

A diferencia de sus predecesores, los transductores de este modelo en particular pueden ser instalados de varias formas, facilitando el trabajo de las personas encargadas de la instalación.

El sistema multi haz EM es provisto con transductores y unidades electrónicas. Mientras que las unidades electrónicas son instaladas usando herramientas tradicionales, los transductores deben ser localizados e instalados dependiendo del diseño de la embarcación. Un número de diferentes factores relacionados al diseño de la embarcación deben ser tomados en consideración durante la planeación de la instalación.

Los conjuntos de transductores del multi haz EM 304 pueden ser instalados usando uno de los siguientes principios.

- Góndola.
- Blister.
- Montado al ras.
- Montado externamente con carenados.

Normalmente en una instalación permanente, los cables entran al casco a través de tubos los cuales están equipados con pasamuros de cable de tipo barco para proveer la estanqueidad del agua. Si los tubos terminan debajo de la línea de agua de la embarcación, los requisitos de clasificación pueden requerir un conjunto doble de pasamuros apropiados.

Una vez el método de instalación es definido, el astillero de instalación debe proveer los planos necesarios.

Góndola.

Una góndola es una capsula aerodinámica montada debajo del casco del barco. Puede ser soldada o atornillada debajo de las placas del casco. Es un método muy adecuado para reacondicionar la embarcación con el sistema EM 304 (Figura 26).



Figura 26 Góndola montada en el casco de un barco. Obtenido de (Kongsberg, 2022).

Hay un espacio entre la góndola y el casco. Agua gasificada pasará a través de este espacio y, por lo tanto, no será empujada debajo del transductor. La góndola debe ser llenada con agua. Para dejar que el aire escape, se deben hacer barrenos adecuados en la parte trasera cerca del casco del barco.

Este es a menudo el método de instalación preferido por *Kongsberg* y es el método que da la óptima ventana meteorológica (*Weather window* como se conoce en inglés, esta se produce cuando los pronósticos del tiempo indican que un conjunto determinado de operaciones marinas o actividades de construcción en alta mar se pueden realizar dentro de sus límites máximos para la altura de las olas, la velocidad del viento, etc.) y rendimiento del sistema.

Blister.

El *blister* (burbuja) es una construcción totalmente soldada montada debajo del casco de la embarcación. El *blister* contiene carcasas, los cuales forman la principal parte de la unidad, alojando los marcos de los transductores y los módulos (Figura 27). El diseño del blíster está dirigido a guiar el agua gasificada y las burbujas de aire alrededor de ambos lados de la instalación y crear un ambiente alrededor del transductor libre de burbujas de aire.

Blísteres de diferentes tamaños y formas han sido usados desde las primeras instalaciones de las ecosondas, y este método de instalación es un principio bien conocido. Es un método adecuado para reacondicionar la embarcación con el sistema EM 304.

El blíster puede ser usado para otros sonares y ecosondas.

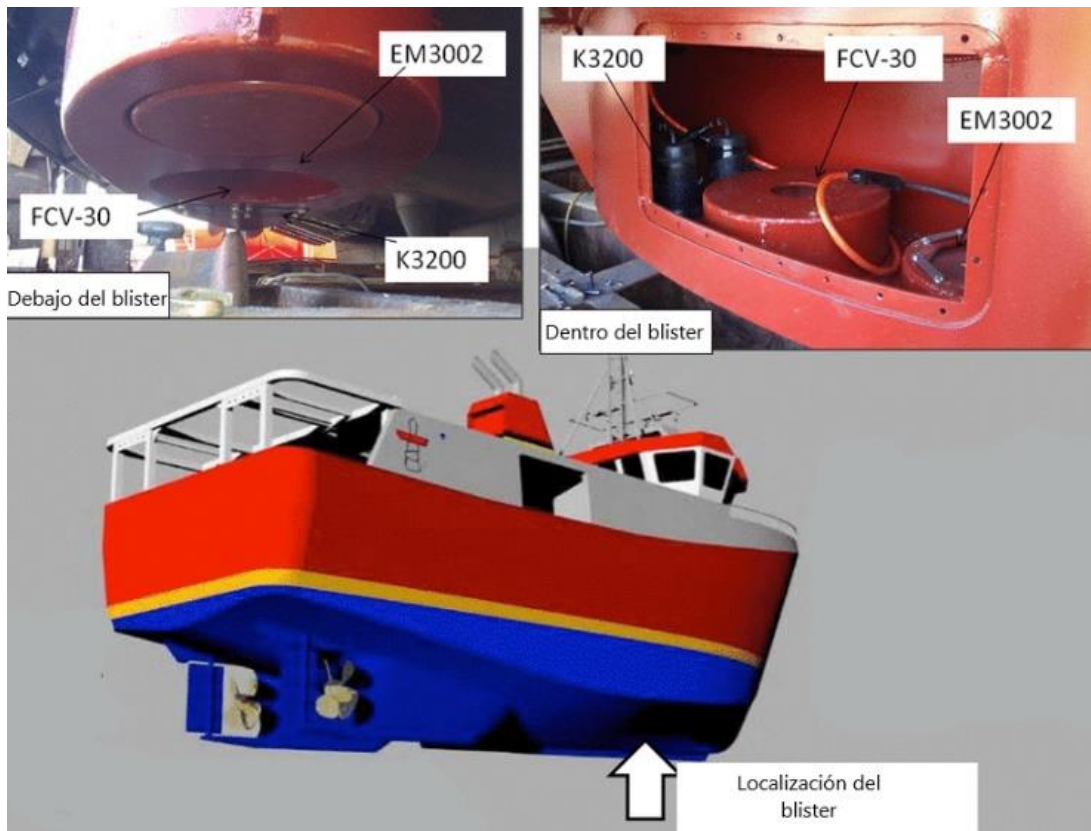


Figura 27 Instalación por el método de blister Adaptado de (Renoud, 2022)

Montado al ras.

Con este método, los transductores son instalados dentro del casco del barco.

Con este método se expone los transductores al paso de las burbujas de aire lo cual afecta el rendimiento del sistema. El beneficio de este método de instalación es que nada sobresale de la quilla. Esta solución es principalmente usada para buques clasificados con protección adicional para el hielo.

Los conjuntos de transductores pueden ser montados al ras del casco de la embarcación. El astillero debe diseñar una estructura dentro del casco para el apoyo correcto de las carcasas.

Montado externamente con carenados.

Los conjuntos de transductores pueden ser montados directamente debajo del casco del buque.

Un carenado será añadido alrededor de los transductores para asegurar un flujo laminar del agua sin ningún problema de aireación.

Instalación del marco de montaje para los transductores RX.

Los marcos de montaje han sido diseñados para ofrecer un método de instalación de confianza y un mantenimiento amigable para los transductores del sistema del EM 304 (Figura 28).

Los marcos de montaje están diseñados para alojar los módulos transductores individuales. Mientras que los módulos son montados en los marcos, los marcos requieren de carcasas.

Procedimiento.

1. Montar el marco en la carcasa. El marco de montaje debe ser atornillado sobre las barras planas dentro de la carcasa. El número de barras planas depende de la longitud del conjunto de transductores. Hay 3 barrenos por cada barra plana. Use un torquímetro de 187 Nm.
2. Checar que cada marco este montado completamente plano. Esto puede ser checado midiendo la posición vertical relativa de las barras de montaje del módulo. Si la desviación es muy grande, tiene que ser corregido aplicando calzas.
Cuando el marco está montado completamente plano:
3. Remover un tornillo.
4. Aplicar Loctite 242 al tornillo.
5. Instalar el tornillo usando un torquímetro de 187 Nm.
6. Repetir los pasos 3-5 para todos los tornillos.

Instalación de los marcos de montaje para los transductores TX

Observe la orientación del marco de montaje (Figura 28).

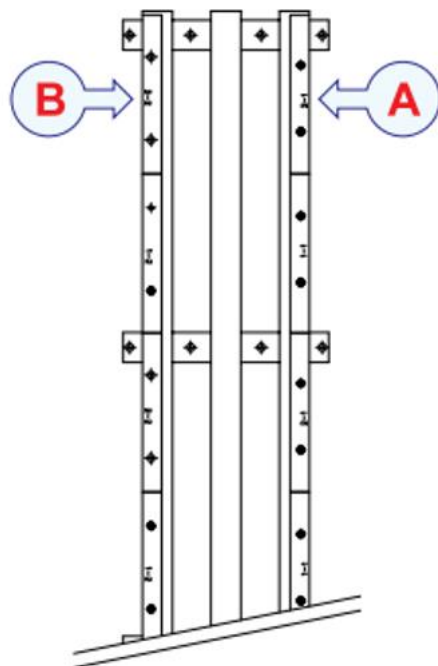


Figura 28 Marco de montaje. A (2-1), B (2-2). Obtenido de (Kongsberg, 2022)

El marco de montaje debe estar alineado de forma paralela a la quilla del barco. Monte el marco de manera que el módulo transductor más adelantado sea un TX2.

Los soportes están marcados con 2-1 y 2-2. Esto indica que un módulo transductor TX2 encaja en esta posición, y esta es la parte delantera del marco de montaje.

Procedimiento de instalación.

1. Montar el marco en la carcasa. El marco de montaje debe ser atornillado sobre las barras planas dentro de la carcasa. El número de barras planas depende de la longitud del conjunto de transductores. Hay 3 barrenos por cada barra plana. Los marcos están sostenidos por tornillos M16. Use un torquímetro de 187 Nm.
2. Checar que cada marco este montado completamente plano. Esto puede ser checado midiendo la posición vertical relativa de las barras de montaje del módulo. Si la desviación es muy grande, tiene que ser corregido aplicando calzas.
Cuando el marco está montado completamente plano:
3. Remover un tornillo.
4. Aplicar Loctite 242 al tornillo.
5. Instalar el tornillo usando un torquímetro de 187 Nm.
6. Repetir los pasos 3-5 para todos los tornillos.

Acerca de la topografía dimensional.

La ecosonda multihaz es un instrumento de precisión para mediciones científicas.

En orden para obtener información precisa que este detallada y correcta, es necesario alinear el transductor, medir la ubicación y la compensación de cada sensor en relación

con la posición de la embarcación y calibrar por completo el EM 304 antes de su uso. Se aplican requisitos de precisión modestos cuando el sistema EM 304 solamente es usado para investigar objetos en la columna de agua.

Topografía dimensional.

Determinar las posiciones relativas y orientaciones de los sensores y el transductor con alta precisión es importante. Las tareas de la topografía dimensional para el EM 304 son:

1. Establecer un sistema de coordenadas de la embarcación.
2. Definir la ubicación del origen del sistema de coordenadas.
3. Establecer la línea del agua con referencia al origen del sistema de coordenadas.
4. Establecer los puntos de referencia de las coordenadas a lo largo de la embarcación.
5. Definir la línea del centro del barco, y si es necesario, identificarla con una marca.
6. Medir la posición necesaria y ángulos para los sensores relevantes en el sistema de coordenadas.
7. Medir la ubicación y orientación del transductor EM 304 en el sistema de coordenadas.

Calibración.

Durante los viajes en el mar, los chequeos de la calibración son requeridos como lo solicita el manual. En orden para checar y verificar el rendimiento del EM 304, se recomienda que las encuestas de calibración sean hechas en intervalos regulares, o antes de cualquier gran estudio.

Sistema de coordenadas de la embarcación.

El sistema de coordenadas es establecido para definir la ubicación relativa física de los sistemas y sensores.

Cuando se tiene varios tipos de sensores y transductores en la embarcación, y se desea que cada uno de ellos provea información precisa, se necesita conocer sus posiciones físicas relativas.

La antena de un sensor de posición es montada en lo alto sobre la super estructura, mientras que el sensor de movimiento es a menudo localizado cerca del centro de gravedad del barco. Estos se colocan lejos del transductor en un sensor de profundidad, que puede estar ubicado más cerca de la proa.

Los puntos de referencia deben estar establecidos en el barco en posiciones seleccionadas. Estos son necesarios durante las mediciones de las posiciones de los sensores. Marcas visuales en estas posiciones deben estar preparadas y anotadas en los planos de la embarcación con las coordenadas X, Y, Z en el sistema de coordenadas del barco (Figura 29).

En orden para establecer un sistema para medir la distancia relativa entre los sensores, un sistema virtual de coordenadas es establecido. Este sistema de coordenadas usa tres vectores; X, Y y Z.

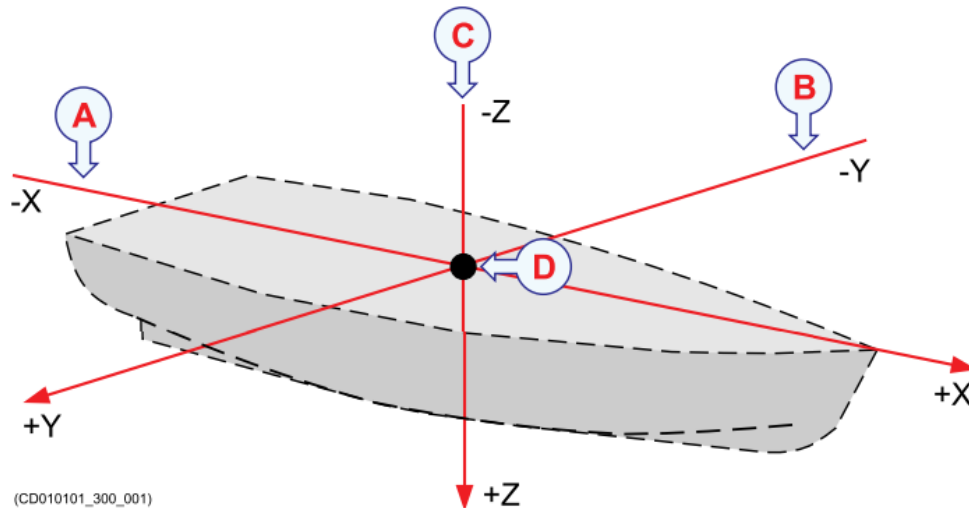


Figura 29 Sistema de coordenadas de una embarcación. Obtenido de (Kongsberg, 2022)

1. El eje de las X es la dirección longitudinal del barco, y está en paralelo con la plataforma. Un valor positivo para X significa que un sensor o un punto de referencia está localizado adelante del origen.
2. El eje de las Y es la dirección transversal del barco y es paralelo con la plataforma. Un valor positivo para Y significa que un sensor o un punto de referencia está localizado en el lado del estribor del origen.
3. El eje de las Z es vertical y es paralelo con el mástil. Un valor positivo para Z significa que un sensor o un nuevo punto de referencia está localizado debajo del origen.
4. Punto de referencia (origen del barco).

Especificaciones de rendimiento.

Estas especificaciones de rendimiento resumen las principales características funcionales y operacionales del sistema EM 304.

- Máxima tasa de *ping*: Más de 5 Hz.
- Número de franjas por *ping*: 2
- Ancho de haz estándar: 0.5 x 0.5, 0.5 x 1, 1 x 1, 1 x 2, 2 x 2, 2 x 4 o 4 x 4 grados.
- Distancia entre haces: equidistante, equiángulo.
- Sector de cobertura: De hasta 150 grados.
- Dirección de haz transmitido: Establecido para balanceo, cabeceo y guiñada.
- Recepción del haz transmitido: Establecido para balanceo.
- Rango de profundidad de los transductores: 10 a más de 8000 metros.

K-SYNC.

La unidad de sincronización K-Sync es un equipo que está instalado en el buque Justo Sierra.

Este equipo proporciona una sincronización altamente configurable de ping cuando múltiples ecosondas son empleadas en un mismo barco. (Kongsberg, 2022) La unidad de sincronización optimiza el tiempo de cada transmisión. Una sincronización óptima asegura que las ecosondas que puedan interferir con otras no transmitan al mismo tiempo, lo cual puede resultar en interferencia acústica y la degradación de la información. La unidad de sincronización proporciona un control simple pero flexible de programación. El cronograma de activación se puede adaptar al particular tipo de estudio y la densidad de información deseada recogida por cada sistema (Figura 30).

Principales componentes.

La unidad de sincronización consiste en dos principales componentes:

- Una computadora de la estación de trabajo ejecutando la aplicación de la unidad de sincronización.
- La Unidad de Sincronización que interactúa con las ecosondas y con el perfilador de subsuelo.

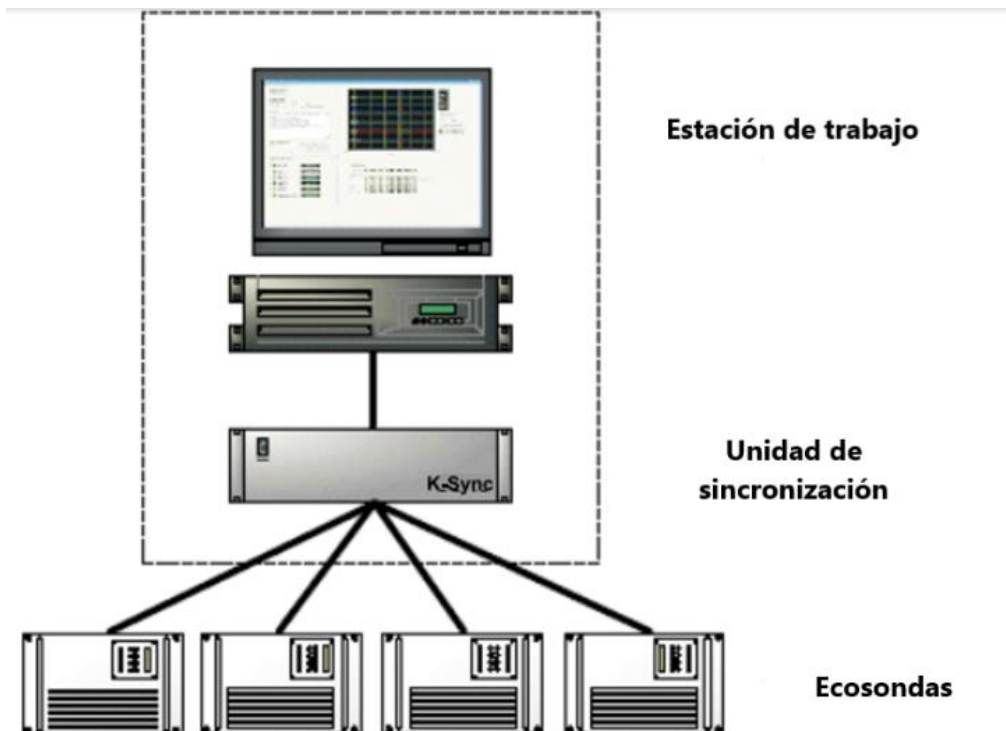


Figura 30 Sistema de sincronización completa. Adaptado de (Kongsberg, 2022)

La interfaz de la señal.

La unidad de sincronización controla el número de disparos de haces y recibe información de los ecosondas vía interfaz de señal. Una salida de activación es proporcionada por cada sonda acústica, así como también entradas para recibir señales de retroalimentación.

La unidad de sincronización provee una salida y dos entradas por cada ecosonda:

- La señal de activación (salida): Le dice a la sonda acústica cuando va a transmitir.
- Listo para transmitir la señal (entrada): Comunica cuando la sonda acústica esta lista para la siguiente activación.
- Señal de transmisión (entrada): Le dice a la unidad de sincronización cuando la sonda acústica ha empezado a transmitir.

Concepto de operación.

La unidad de sincronización programa a las ecosondas a transmitir de acuerdo con los grupos de activación. Hay un total de 16 grupos y cualquier número de sondas acústicas pueden asignados a un grupo. Cada grupo es activado de forma consecutiva, mientras las ecosondas asignadas a ese grupo son activadas juntas. Una vez que se determinada (leyendo las señales de retroalimentación) o se estima (basado en los ajustes del usuario) que todas las sondas acústicas en el grupo actual han completado su ciclo del *ping*, entonces el siguiente grupo es activado. Todos los grupos son activados por turnos. La duración de cada grupo no está fijada y depende sobre cuál es el periodo máximo activo para las sondas acústicas de cada grupo.

Los ecosondas pueden ser sacados del programa sin cambiar el programa del grupo, simplemente se deshabilitan. Si un grupo no contiene ninguna sonda acústica, entonces el grupo es omitido.

TOPAS PS 18

El sistema está diseñado para el perfilado del subsuelo a una alta resolución en profundidades del agua desde los 20 metros hasta la profundidad total del océano (Figura 31). El 80% de ancho de banda relativo, una señal de baja frecuencia es generada en la columna de agua como señal de diferencia de frecuencia por una interacción no lineal entre dos señales de frecuencias altas. De manera similar, una señal de frecuencia de suma es generada. Sin embargo, solo las frecuencias bajas son utilizadas para el perfilador del subsuelo. (Kongsberg, 2022)

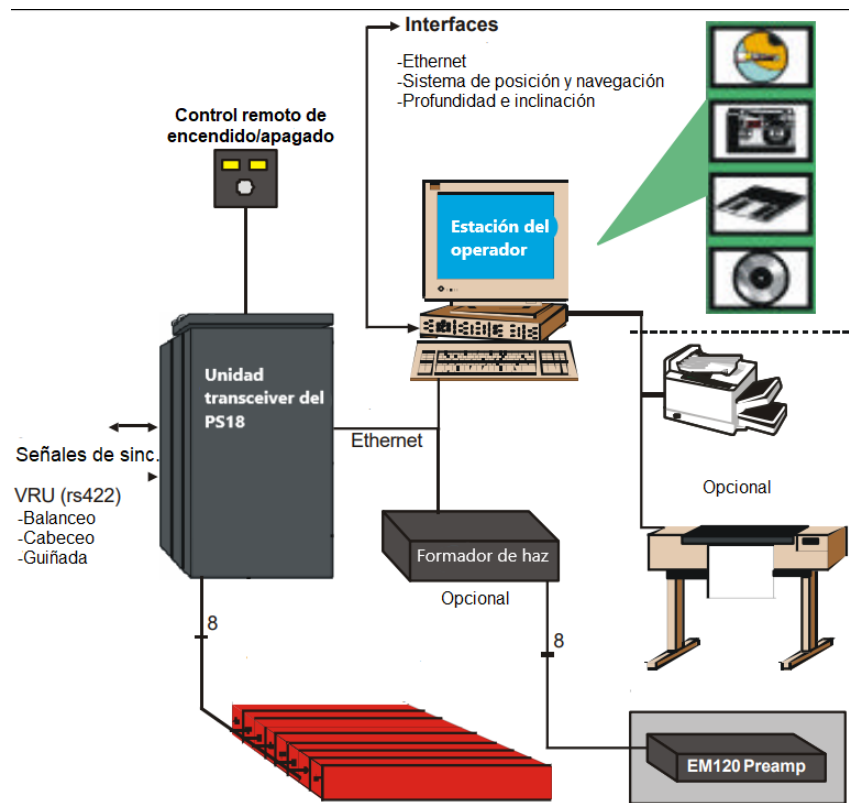


Figura 31 Componentes del TOPAS PS18. Adaptado de (Kongsberg, 2022)

El transductor es montado en el casco. Este tiene la ventaja de no desplegar o recuperar ningún sonar del tipo *towfish* durante cualquier investigación, lo cual resulta en un tiempo de investigación más eficiente y se mejora la precisión en el posicionamiento del perfil.

El sistema puede operar con varias formas de onda de señal para un rendimiento óptimo: para una alta resolución en el trabajo se utilizan los pulsos *Ricker*, los pulsos de frecuencia modulada son utilizados para aguas profundas y los pulsos de ondas continuas son usados para bandas estrechas, trabajo sensible a la frecuencia.

El haz transmitido es establecido electrónicamente tanto en balanceo, cabeceo y guiñada asegurando que el área insonificada sobre el fondo del mar está posicionada de forma precisa. El transmisor se puede utilizar en un modo de dirección de haz secuencial que cubre un sector más grande. Esto es de particular importancia en la detección de objetos.

El rendimiento de la penetración depende de las características del subsuelo, profundidad del agua, firma transmitida, etc. La penetración de más de 150m ha sido lograda en profundidades de agua de 1000m con un rango de resolución de 30cm.

RESULTADOS.

El presente apartado muestra los detalles relevantes que interesan a la Coordinación de Plataformas con relación a los equipos revisados, por ejemplo, un comparativa de las funcionalidades entre los equipos que se encuentran actualmente instalados contra las

nuevas generaciones de sistemas hidroacústicos. En este sentido se revisará la información desde el enfoque de la preservación progresiva.

Después de un largo funcionamiento, los equipos deben ser revisados y reparados en una forma más a fondo, por lo que es necesario hacerlo fuera del lugar de operación del equipo, esta es la definición de la “Preservación progresiva”. Esta rama de la preservación se enfoca a determinar si vale la pena rescatar un equipo viejo para que siga cumpliendo con sus funciones o si existe la posibilidad, adquirir uno nuevo.

Existen varios niveles dentro de la “Preservación progresiva”, pero el último nivel toma relevancia para este caso. Dependiendo del equipo, puede llegar el momento en que el tiempo tan grande de funcionamiento que ha tenido y a pesar de haber sido sujeto a trabajos adecuados en los otros niveles de preservación, es necesario intervenir en la mayor cantidad de sus partes, hacerle una rehabilitación total. Para los equipos ecosondas de la marca *Kongsberg* cada cierto tiempo es vital mandar el equipo a hacerles un mantenimiento o calibrar el equipo para que entregue los datos de forma correcta.

Antes de hacer una comparativa técnica los sistemas ecosondas de multihaz, es necesario poder visualizarlos en que parte de los buques se encuentran instalados, con la finalidad de conocer toda la logística de ubicación e instalación que se tiene que considerar para proponer una actualización tecnológica. Otro punto para tomar en cuenta es ver si las versiones del EM de Kongsberg han tenido con el tiempo, es decir, si la versión más moderna posee los mismos componentes que la versión más antigua.

EM 300.

El EM 300 está instalado en el buque el puma y se mostrará en los siguientes planos sus principales componentes.

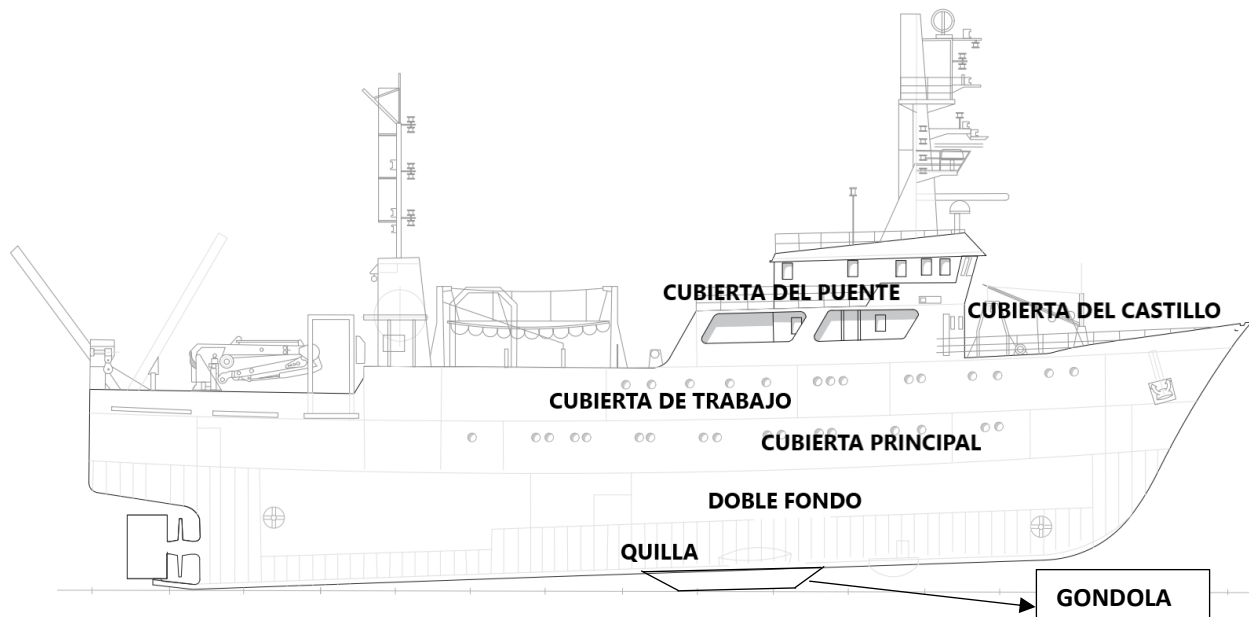


Figura 32 Perfil del buque el puma

En la Figura 32 se muestra como está identificado el buque por cubierta y servirá para identificar en donde se encuentran instalados los diferentes componentes del equipo multihaz. La quilla es la pieza más importante de la estructura porque sobre ella se construye todo el barco, es en donde se encuentra montado la góndola. En ella los transductores de recepción y de transmisión del EM 300 están instalados.

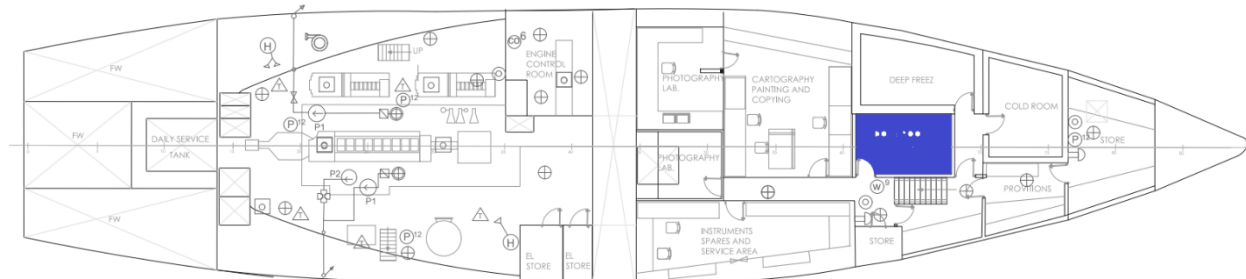


Figura 33 Vista del doble fondo del buque el Puma

El doble fondo (Figura 33) de un buque es una estructura que se coloca interiormente en algunas embarcaciones y tiene como función el servir como una barrera extra en caso de una colisión. En este piso se ubica el cuarto del domo sónico (señalado en la imagen) en donde se encuentra instalado la unidad transceiver del equipo multihaz.

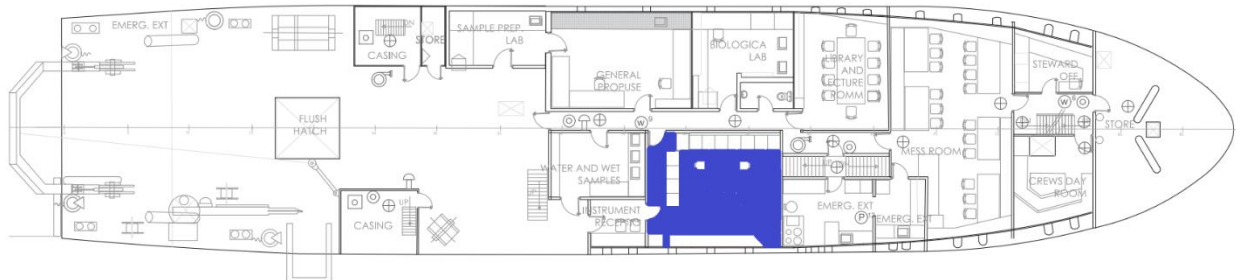


Figura 34 Vista de la cubierta de trabajo del buque el Puma

En la cubierta de trabajo se encuentra el cuarto de observación (Figura 34), es en donde está instalado la estación de trabajo el equipo multihaz.

Otros elementos que no se encuentran instalados en las partes mencionadas son el sensor de movimiento de la embarcación, este está instalado en el domo sónico.

EM 302.

Este ecosonda multihaz se encuentra instalado en el buque Justo Sierra y se mostrará sus principales componentes en los siguientes planos.

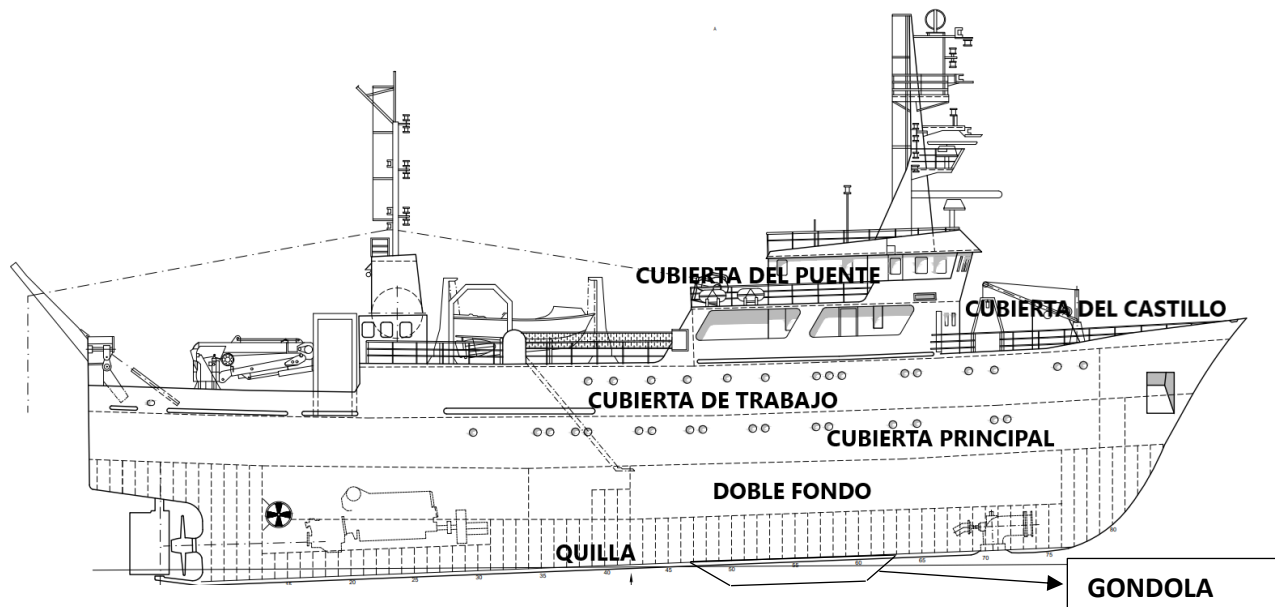


Figura 35 Perfil del buque Justo Sierra

En el perfil del buque Justo Sierra (Figura 35) se puede observar cómo se encuentra dividido mostrando las partes que lo componen al igual que el buque el Puma. Así como se explicó con el buque el Puma, el EM 302 está ubicado de la misma forma que el EM 300, la diferencia que puede haber es que el EM 302 posee más componentes como una unidad preamplificadora que se utiliza como un perfilador de subsuelo.

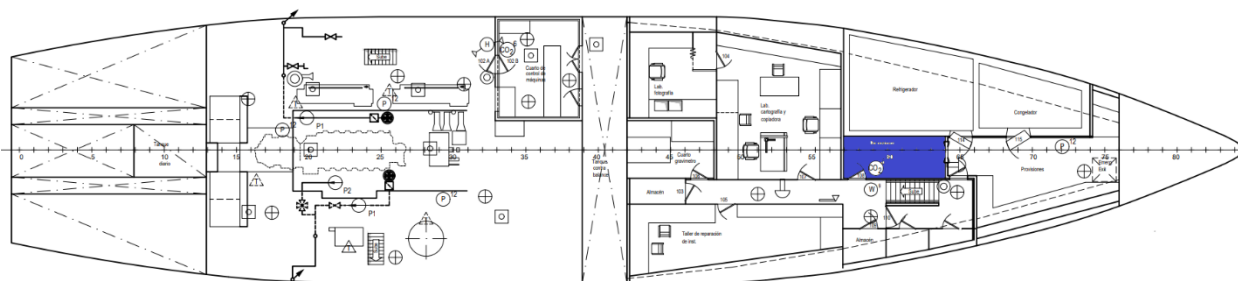


Figura 36 Vista del doble fondo del Justo Sierra

En el doble fondo se encuentra el cuarto del domo sónico (Figura 36) y en este lugar está instalada la unidad transceptora del EM 302.

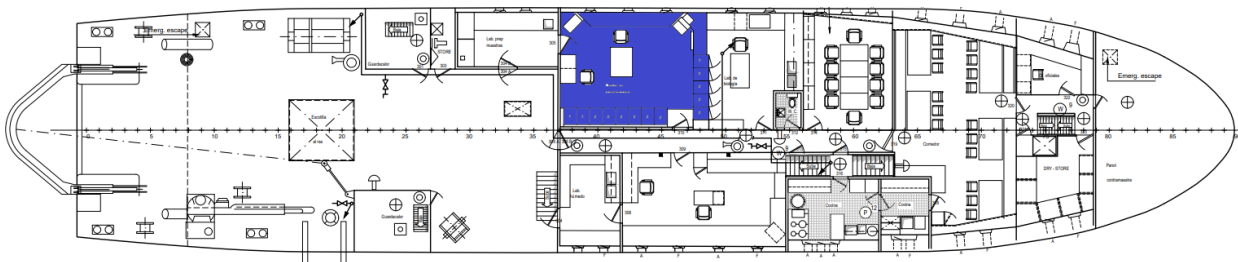


Figura 37 Vista de la cubierta de trabajo del Justo Sierra

En la cubierta de trabajo del Justo Sierra (Figura 37), en el cuarto de observaciones se encuentra instalada la estación de trabajo.

EM 304.

El modelo más nuevo de este tipo de ecosonda se planea instalar en el buque el Puma para reemplazar el EM 300 que se encuentra descontinuado (obsoleto).

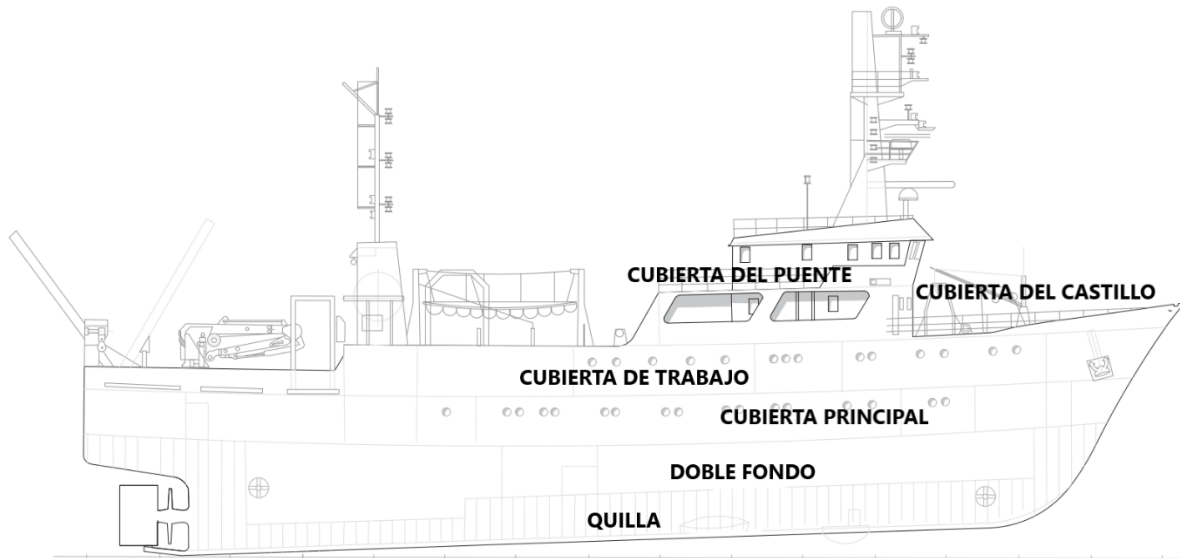


Figura 38 Perfil del buque el Puma.

Al igual que sus predecesores, sus transductores se montan en la góndola junto con el sensor de velocidad de superficie del agua, la única diferencia de este equipo es que no incluye la unidad *transceiver*, por lo que quedará libre el cuarto del domo sónico. En la cubierta de trabajo se instalará la estación de trabajo.

Para entender mejor la importancia de hacer un cambio en los sistemas batimétricos, se mostrará lo que ve el operador del equipo en su pantalla.

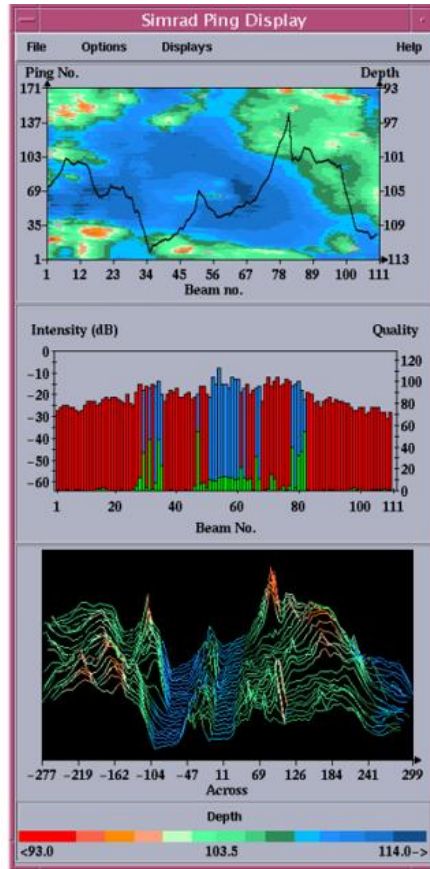


Figura 39 Información mostrada en monitor del EM 300. Obtenido de (Kongsberg, 2022)

En la Figura 39 se muestra la información que proporciona el EM 300 al operador en su pantalla y en la Figura 40 se muestra lo que el EM 304 enseña en el monitor.

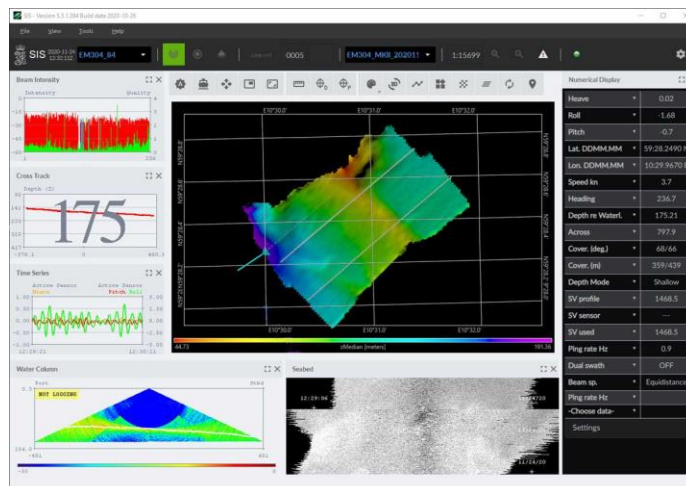


Figura 40 Información mostrada en el monitor del EM 304. Obtenido de (Kongsberg, 2022)

Lo que queda demostrado es que el EM 304 muestra mucha más información al operador que el EM 300, también el software que ocupa el EM 304 es mucho más amigable que su predecesor.

En la siguiente tabla se comparan las características técnicas de los equipos que cuenta la universidad con el ecosonda más reciente de la marca.

	EM 300	EM 302	EM 304
Frecuencia	30 kHz	30 kHz	26-34 kHz
Taza de ping máxima	10 kHz	10 kHz	Más de 5 Hz
Número de haces por ping	135	288	1024
Apertura de los haces	1x1, 1x2, 2x2 o 2x4	0.5x1, 1x1, 1x2, 2x2, 2x4, 4x4	0.5x0.5, 0.5x1, 1x1, 1x2, 2x2, 2x4 o 4x4
Distancia entre haces	Equidistante, equiángulo	Entre equiángulo y de alta densidad	Equidistante, equiángulo, alta densidad (solo con 1 grado en el conjunto RX)
Sector de cobertura	Hasta 150°	Hasta 140°	Hasta 150°
Dirección del haz de transmisión	Estabilizado para balanceo, cabeceo y guiñada	Estabilizado para balanceo, cabeceo y guiñada	Estabilizado para balanceo, cabeceo y guiñada
Dirección del haz de recepción	Estabilizado para balanceo	Estabilizado para balanceo	Estabilizado para balanceo
Rango de distancia de los transductores	10 a 5000m	10 a 7000m	10 a 11000m
Taza de muestreo de rango	4.5 kHz (17cm)	3.25 kHz (23cm)	3.9 kHz (19cm)
Longitud de pulso nominal	--	0.7, 2 y 5ms en CW y 40 a 200 ms en FM	0.7 ms CW a 200 ms FM
Método de instalación	Góndola	Góndola, blíster	Góndola, blíster, montado externamente con carenados

Tabla 1 Comparación entre los modelos 300, 302 y 304 de la línea EM de Kongsberg

Lo que más resalta de los datos mostrados de la Tabla 1 es el aumento en la profundidad del EM 304 con respecto a sus predecesores, la practicidad que tiene el EM 304 con métodos de instalación de que solamente tiene este equipo. La frecuencia es la misma para los equipos EM 300 y EM 302, y en el 304 tiene un rango de frecuencias para que el operador pueda escoger la que mejor se adapte al tamaño de la embarcación en la que se va a montar los transductores, dependiendo del tipo de configuración de la apertura de los haces, será el tamaño de estos.

La apertura de los haces y el sector de cobertura son otros puntos para tener en cuenta, porque en función con la profundidad de un ecosonda se podrá determinar cuál será la huella acústica (el campo de vista de la ecosonda) de cada dispositivo.

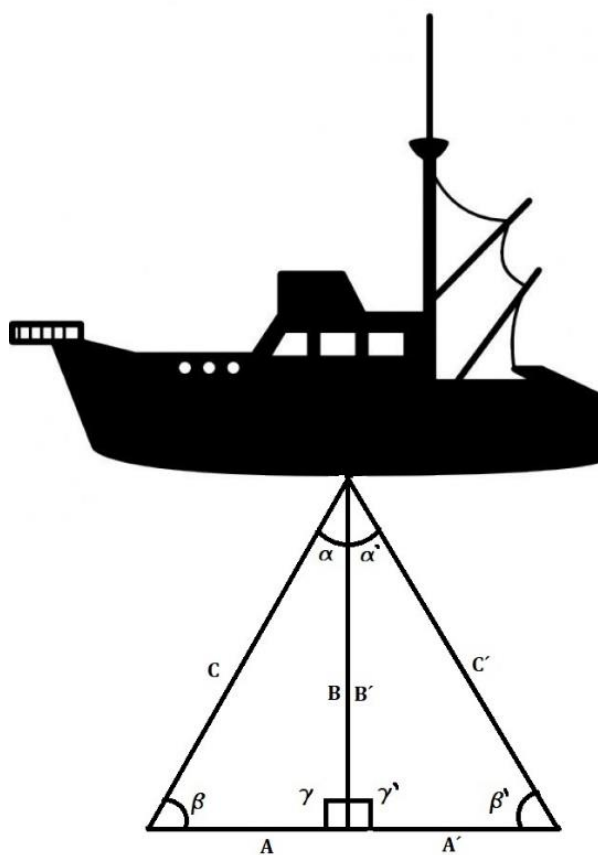


Figura 41 Apertura de los haces de una ecosonda multihaz.

Para poder entender mejor esto, en la Figura 41 se representa el disparo de los haces de una ecosonda multihaz. El ángulo α y α' indica la apertura de los haces a disparar, B y B' es la profundidad a la que se disparan los haces. Con los datos que nos ofrece la Tabla 1 se puede hacer una estimación de cuánto vale A y A', que para estos ejemplos solamente se tomarán en cuenta las configuraciones de 4x4, y así obtener el valor de la huella acústica. Para realizar este ejercicio se tomarán valores del EM 302 y del EM 304

El EM 302 tiene una apertura máxima de haces de 4x4 y una profundidad de 7000m, mientras que el EM 304 tiene la misma apertura, pero con una profundidad de 8000m. Con los valores que se tienen se puede calcular **A** usando la ley de senos.

$$\frac{A}{\text{sen}\alpha} = \frac{B}{\text{sen}\beta}$$

Sustituyendo los valores del EM 302 en la ecuación y despejando **A** se tiene:

$$A = \frac{B \text{sen}\alpha}{\text{sen}\beta} = \frac{7000\text{m}[\text{sen}(4)]}{\text{sen}(86)} = 489.488\text{m}$$

Ya con el valor de **A**, se multiplica por dos para obtener la huella acústica:

$$A_{\text{Huella acustica}} = 978.976m$$

Repitiendo los mismos pasos, pero con valores del EM 304 se obtiene:

$$A = \frac{11000m[\text{sen}(4)]}{\text{sen}(86)} = 769.194m$$

$$A_{\text{Huella acústica}} = 1538.39m$$

Con los datos obtenidos, queda claro la mejora que hizo *Kongsberg* con el EM 304 porque, aunque tiene la misma apertura de sus haces que el EM 302, la profundidad máxima cambia, haciendo que el EM 304 tenga una huella acústica mucho más grande. Estos valores son solamente teóricos, no están tomando en cuenta la dispersión que sufren los haces a grandes profundidades por el coeficiente de absorción del agua ni el tipo de suelo a estudiar, ya este también puede modificar los valores de la huella acústica

Al conocer las características importantes de casa equipo, solo queda realizar un estudio económico para determinar si es mejor adquirir el EM 304 o conservar el EM 300 y el EM 302.

Si los equipos que ya cuenta la universidad tienen un costo muy elevado de reparación, es mejor adquirir el equipo nuevo a seguir costeadando los equipos antiguos que incluso están descontinuados del mercado (EM 300).

Ventajas de los equipos de la marca Kongsberg respecto a otras empresas.

En el mercado existen varias empresas dedicadas al desarrollo de equipo ecosondas, con diferentes características técnicas ya sea su tamaño o si están diseñados para trabajar en aguas profundas o en aguas someras.

La empresa *Kongsberg* diseña dos tipos de ecosonda multihaz: para aguas someras o poco profundas y para aguas profundas; mientras que las demás empresas solo diseñan estos equipos para trabajar en aguas someras. Esta empresa tiene una gran ventaja porque además de ayudar a pequeñas embarcaciones para su investigación en aguas someras o barcos pesqueros para la localización de bancos de peces, también presta sus servicios a embarcaciones dedicadas a la investigación en aguas profundas. (Nautilus Oceanica, 2022)

La Tabla 2 muestra una comparativa de la tecnología desarrollada por *Kongsberg* para aguas someras que es donde la empresa tiene competencia, ya que para aguas profundas es la marca líder alrededor del mundo sin competencia aparente.

Comparar las ecosondas multihaz de diferentes marcas con los modelos que se presentan en este documento no tiene ningún sentido, porque todas son para la investigación de aguas profundas. Para equiparar de manera más justa, se usara el modelos EM 2040c que es una ecosonda multihaz para aguas someras.

Tabla 2 Comparación de ecosondas multihaz de diferentes marcas.

	R2 Sonic	IMAGENEX	WASSP Multibeam	Kongsberg
Equipo	Sonic 2024	DT100	WASSP S3r	EM 2040c
Frecuencia	170-450 kHz	240 kHz	160 kHz	200 kHz
No de haces por ping	256	480	240	400, 800, 1600
Ancho de banda	0.3°X0.6°, 0.45°X0.9° y 1°X2°	120° de apertura	120° de apertura	130° hasta 200°
Profundidad	400m	100m	350m	520m

Después de hacer esta confrontación entre ecosondas de diferentes marcas con el modelo para aguas someras de *Kongsberg* se puede observar que incluso en el campo de la investigación de aguas someras donde si tiene competencia, la ecosonda de la empresa noruega tiene mejores características técnicas que las demás que existen en el mercado e incluso el modelo que uso para hacer la comparativa es el modelo más compacto del EM 2040.

Góndola del buque el puma.

Para que los transductores de la ecosonda EM 302 y del Topas ps18 lleven a cabo sus tareas de forma correcta, tienen que estar protegidos de los diferentes tipos de riesgo que corren al estar sumergidos en todo momento. La compañía *Kongsberg* recomienda a sus usuarios diferentes métodos de protección para los transductores, en este caso se optó por el método de la góndola que ya se explicó anteriormente en este documento.

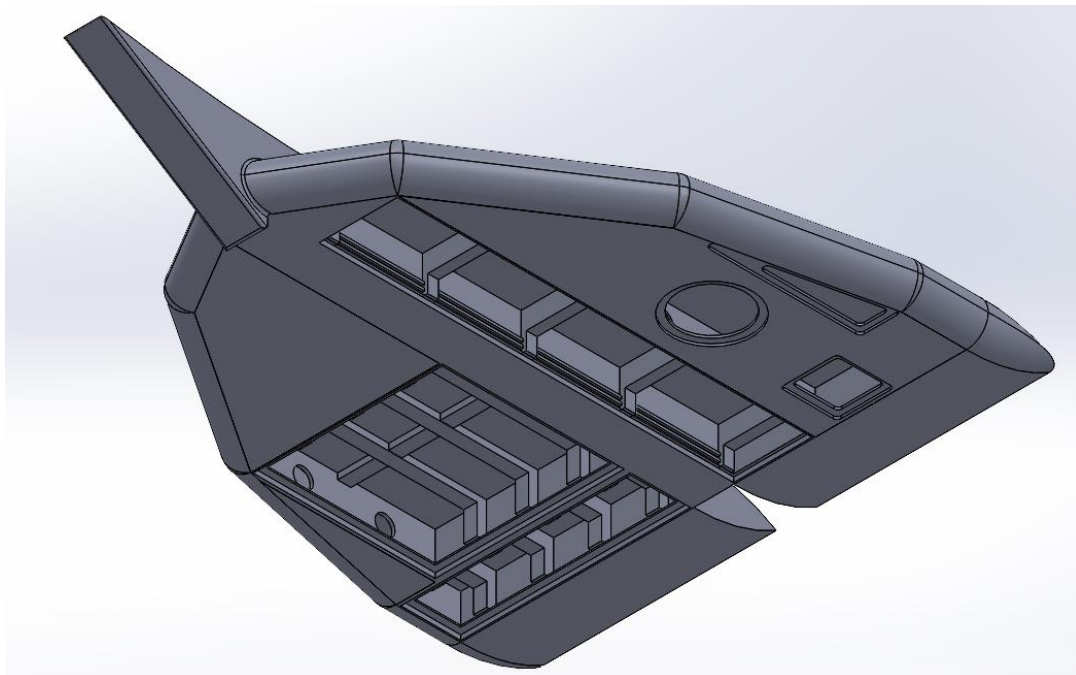


Figura 42 Góndola del buque el Puma

En la Figura 42 se muestra la góndola con sus respectivos espacios para alojar de forma correcta los transductores. El propósito de este diseño es ser hidrodinámico para evitar los siguientes problemas:

1. Cavitación: Es un cambio repentino de la fase líquida a la fase de vapor provocado por una disminución de la presión. La góndola puede llegar a sufrir de cavitación viajera que es cuando las burbujas que se forman en la superficie son arrastradas corriente abajo y colapsan.
2. La formación de vórtices: Los vórtices o remolinos son regiones de fluido circulante. El problema que causan es que cuando estos son emitidos aplican una pequeña fuerza a las paredes de la góndola como una frecuencia de emisión, si la frecuencia se aproxima a la frecuencia natural del material que está formado, ocurre un fenómeno de resonancia provocando que la estructura pueda llegar a colapsar.

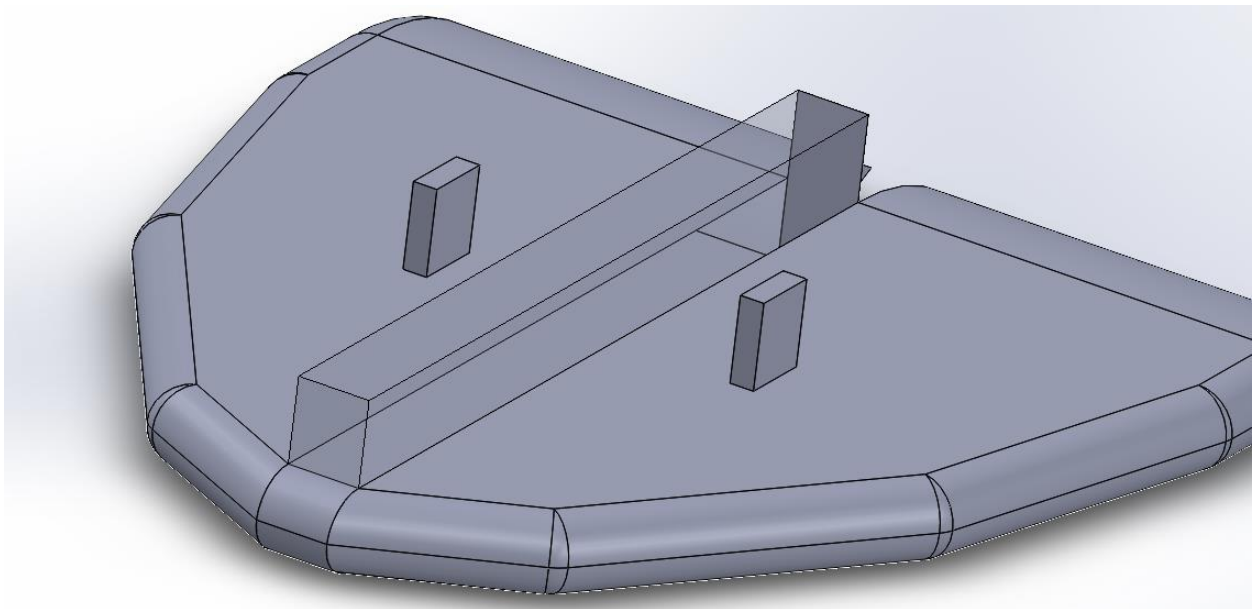


Figura 43 Góndola sin el soporte de fijación.

Para poder determinar si el diseño de la góndola sufre alguno de estos problemas es necesario realizar cálculos sin la pieza que ayuda a mantener fija la góndola con la quilla ya que esa parte no forma parte del diseño original (ver Figura 43).

La formación de vórtices ocurre en el rango de número de Reynolds $40 < Re < 1000$ (Merle C. Potter, 2004), mientras el resultado que se obtenga no esté dentro del rango, el diseño estará libre de vórtices. Para calcular el número de Reynolds se ocupará la siguiente fórmula:

$$Re = \frac{VD}{\nu}$$

Donde:

- V: La velocidad a la que mueve el buque. Se utilizará la velocidad de 8 nudos, a metros por segundo equivale a 4.11 m/s, esta es la velocidad a la que normalmente se mueve el buque para obtener buenos resultados de las ecosondas.
- D: El diámetro de los tubos que rodean a la estructura porque se encuentran normales al flujo. De acuerdo con los planos de fabricación el diámetro es de 0.324m
- ν : La viscosidad cinemática del fluido. Para calcular este valor es necesario conocer la temperatura del fluido. El buque el puma navega en las playas de Mazatlán, la temperatura promedio de sus aguas es de 27.5°C

La viscosidad cinemática se obtiene mediante tablas, el problema es que al tener un valor poco común de ver en las diferentes tablas que hay, se determinara por el método de la interpolación.

Unidades SI

Temperatura (°C)	Densidad ρ (kg/m ³)	Viscosidad μ (N - s/m ²)	Viscosidad cinemática ν (m ² /s)	Tensión superficial σ (N/m)	Presión de vapor (kPa)	Módulo de volumen B (Pa)
0	999.9	1.792 x 10-3	1.792 x 10-6	0.0762	0.610	204 x 107
5	1000.0	1.519	1.519	0.0754	0.872	206
10	999.7	1.308	1.308	0.0748	1.13	211
15	999.1	1.140	1.141	0.0741	1.60	214
20	998.2	1.005	1.007	0.0736	2.34	220
30	995.7	0.801	0.804	0.0718	4.24	223
40	992.2	0.656	0.661	0.0701	3.38	227
50	988.1	0.549	0.556	0.0682	12.3	230
60	983.2	0.469	0.477	0.0668	19.9	228
70	977.8	0.406	0.415	0.0650	31.2	225
80	971.8	0.357	0.367	0.0630	47.3	221
90	965.3	0.317	0.328	0.0612	70.1	216

Tabla 3 Propiedades del agua.

Con ayuda de la Tabla 3, se obtienen los valores necesarios para resolver este problema.

$$y = y_0 + \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0}(x - x_0)$$

$$y = 1.007 \text{ m}^2/\text{s} + \frac{0.804 \text{ m}^2/\text{s} - 1.007 \text{ m}^2/\text{s}}{30^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}}(27.5^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C})$$

$$y = 0.8548 \text{ m}^2/\text{s}$$

Teniendo todos los datos, se procede a obtener el número de Reynolds:

$$Re = \frac{VD}{\nu} = \frac{(4.11 \text{ m}^2/\text{s})(0.324\text{m})}{0.8548 \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$Re = 1.558$$

El número de Reynolds que se obtiene es demasiado pequeño y no entra en el rango mencionado anteriormente, por lo que este diseño no fomenta la formación de vórtices.

La cavitación está definida por la siguiente ecuación:

$$\sigma = \frac{P_{abs} - P_v}{\frac{1}{2} \rho V^2}$$

En donde:

- P_{abs} : La presión absoluta.
- P_v : La presión de vapor del fluido.
- V : La velocidad de la góndola.
- ρ : La densidad del agua.

Y siempre habrá si el valor obtenido sea menor que la cavitación crítica (σ_{crit}), este valor se relaciona con el ángulo de ataque, que es el ángulo en el que el fluido impactará la superficie de la góndola.

La presión absoluta es igual a la suma de la presión manométrica y la presión atmosférica. La presión manométrica se calcula de la siguiente forma:

$$P_{man} = \rho gh$$

En donde:

- ρ : Es la densidad del agua a la temperatura de 27.5°C. Calcularla se usará el mismo método que con la viscosidad cinemática.

$$y = 998.2 \text{ kg}/\text{m}^3 + \frac{995.7 \text{ kg}/\text{m}^3 - 998.2 \text{ kg}/\text{m}^3}{30^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}} (27.5^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C})$$

$$y = 996.325 \text{ kg}/\text{m}^3$$

- g : Es la gravedad de la tierra, el valor que se ocupa es de $9.81 \text{ m}^2/\text{s}$
- h : Sera la profundidad a la que la góndola se encuentra sumergida, la profundidad es de 4.7m

Con los datos reunidos se proceder a resolver la ecuación:

$$P_{man} = (996.325 \text{ kg}/\text{m}^3) (9.81 \text{ m}/\text{s}^2) (4.7\text{m})$$

$$P_{man} = 45937.557 \text{ Pa}$$

Con la presión manométrica obtenida, se calcula la presión absoluta:

$$P_{abs} = P_{man} + P_{atm}$$
$$P_{abs} = 45937.557Pa + 101325Pa$$
$$P_{abs} = 147262.5568Pa$$

La presión del vapor sigue el mismo procedimiento que la densidad:

$$y = 2340Pa + \frac{4240Pa - 2340Pa}{30^{\circ}C - 20^{\circ}C} (27.5^{\circ}C - 20^{\circ}C)$$
$$y = 3765Pa$$

Con los datos obtenidos ya se puede calcular el número de cavitación:

$$\sigma = \frac{147262.556Pa - 3765Pa}{\frac{1}{2} (996.325 \text{ kg}/\text{m}^3) (4.1156 \text{ m}/\text{s})^2}$$
$$\sigma = 17.0062$$

Este número de cavitación indica que con un ángulo de ataque de 0° sucederá la cavitación, porque el número crítico para ese ángulo es de 0.6 (Merle C. Potter, 2004). La góndola puede llegar a presentar daños por la erosión generada por la cavitación.

Simulación de fluido de la góndola.

Determinar si existe la formación de vórtices o si hay cavitación con el soporte de fijación de la góndola por medio de los cálculos que se realizaron anteriormente resulta ser más complicado. Hoy en día existen muchas herramientas que te facilitan realizar estos tipos de cálculos complejos, uno de ellos es el *software Solidworks*.

Solidworks Flow Simulation es una herramienta dentro del mismo *Solidworks* que se encarga de hacer un análisis dinámico de fluidos computacional. Este *software* se basa en las ecuaciones de Navier-Stokes, que son las leyes de conservación de masa, la cantidad de movimiento y de la energía. (Dr. A. Sobachkin, 2014)

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i)}{\partial x_i} = 0$$

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) + \frac{\partial P}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j}(\tau_{ij} + \tau_{ij}^R) + S_i$$

$$\frac{\partial \rho H}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_i H}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} (u_j (\tau_{ij} + \tau_{ij}^R) + q_i) + \frac{\partial p}{\partial t} - \tau_{ij}^R \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \rho \varepsilon + S_i u_i + Q_H$$

$$H = h + \frac{u^2}{2}$$

Figura 44 Ecuaciones de la ley de la

conservación de masa, cantidad de movimiento y de energía. Obtenido de (Dr. A. Sobachkin, 2014)

Estas ecuaciones de Navier-Stokes se complementan con ecuaciones que describen el comportamiento y la naturaleza del fluido que se necesite para la simulación que se vaya a hacer, desde su temperatura, número de Reynolds, etc. Además de estas ecuaciones y sus complementos, el *software* lo resuelve usando un análisis de elementos finitos.

En la simulación se buscó determinar si existe formación de vórtices y cavitación tomando en cuenta dicho soporte o si los resultados son los mismos que se obtuvieron con anterioridad. También hay que decir que solamente se tomará en cuenta lo que suceda en la parte donde se alojan los transductores.

Los datos que se ocuparon para la simulación fueron: la velocidad a la que se desplaza la góndola, que son unos 4.11 m/s, se le indico al programa al tipo de fluido en el que la góndola se encuentra sumergida que es el agua, no se pudo especificar que se trata de agua salada porque la densidad de agua dulce y salada es diferente, pero el programa solamente reconoce el valor de 997 Kg/m³.

Para poder hacer la simulación, el *software* creo una malla alrededor de la góndola. El mallado es el proceso de dividir el modelo, o en este caso la góndola, en pequeñas partes. Dependiendo de la calidad del mallado los datos que se obtengan serán más precisos.

En este caso se ocupó un mallado nivel 3, que es el estándar que ofrece el *software*. Este mallado no es el más exigente que ofrece el programa, el máximo nivel que permite *Solidworks* es el nivel 7. El motivo por el que no se ocupó el nivel máximo de mallado es por la falta de un equipo más potente para realizar los cálculos de una malla muy fina y delgada, mientras que una de nivel 3 la computadora no tuvo problemas en poder realizar los cálculos.

Los valores que se buscan conocer es la presión relativa para saber si el diseño favorece o no el fenómeno de la cavitación.

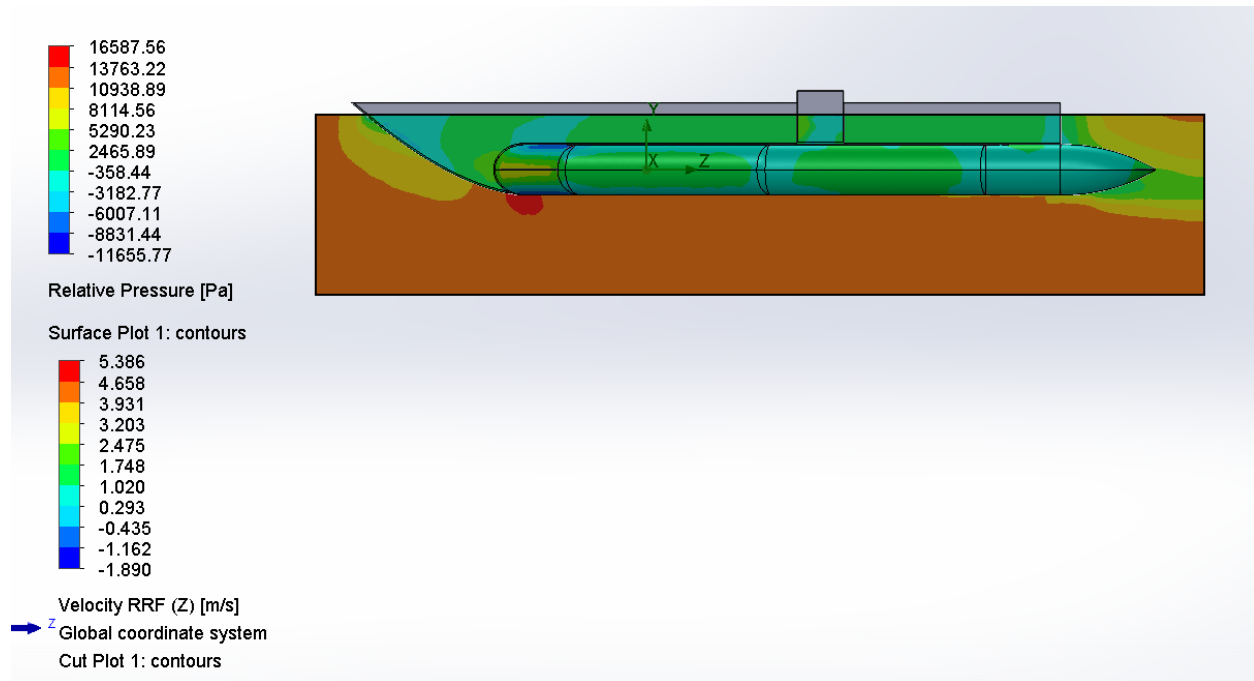


Figura 45 Datos de la simulación de la góndola

En la Figura 45 se ven los resultados que dio el programa, donde se obtuvo que el soporte no influye de manera negativa la hidrodinámica de la góndola y sobre todo no afecta las paredes donde se encuentran instalados las caras de los transductores.

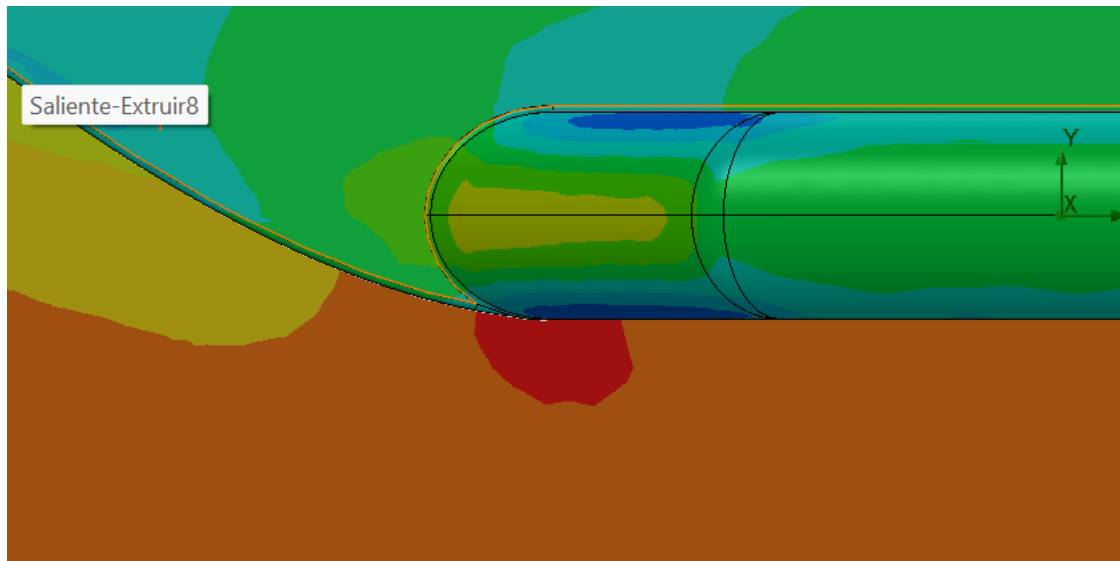


Figura 46 Acercamiento al soporte de la góndola

En la Figura 46 se aprecia mejor lo que sucede en el área que es de interés. El color azul denota una presión negativa, es decir, una presión menor a la presión de vapor de líquido generando burbujas en la superficie. Estas burbujas representan un peligro a la estructura porque al formarse estas burbujas, al explotar están erosionado la estructura.

Este problema se ve reflejado únicamente en las media luna que rodean a la góndola y que se encuentran cerca del soporte.

Ubicación del SVP 70 en la góndola del buque el puma.

El SVP 70 es un sensor que se ocupa para conocer la velocidad en la superficie del mar, y se instala comúnmente junto con los transductores que posee la embarcación en la góndola. El buque Justo Sierra tiene este equipo instalado en su góndola junto con el EM 302 y el TOPAS 18, mientras que el buque el puma no cuenta con él.

Para dar un ejemplo de cómo se ve a más detalle una góndola antes de su instalación a uno de los buques oceanográficos que posee la universidad, se hizo un modelado de este en el programa *Solidworks*. (Figura 47)

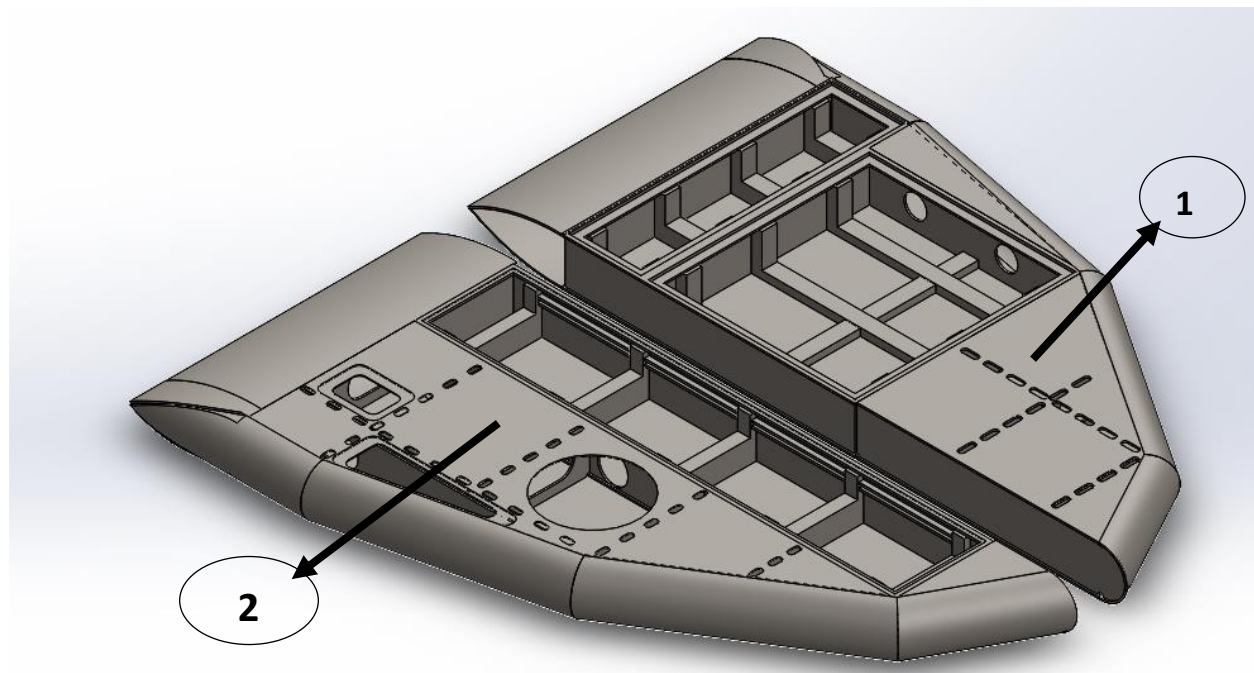


Figura 47 góndola instalada en el buque "El Puma". En el lado 1 se encuentran los transductores del TOPAS PS 18 y los de recepción del EM 300. En el lado 2 los transductores de transmisión del EM 300

Las dimensiones de esta góndola son:

- Volumen: 0.533 metros cúbicos.
- Masa: 4189 kilogramos.
- Todas las piezas en su totalidad están hechas de acero A36.

La góndola del buque el puma no está diseñada para instalar el sensor por lo que se busca, sin comprometer la estructura, un espacio en el que se pueda instalar el SVP.

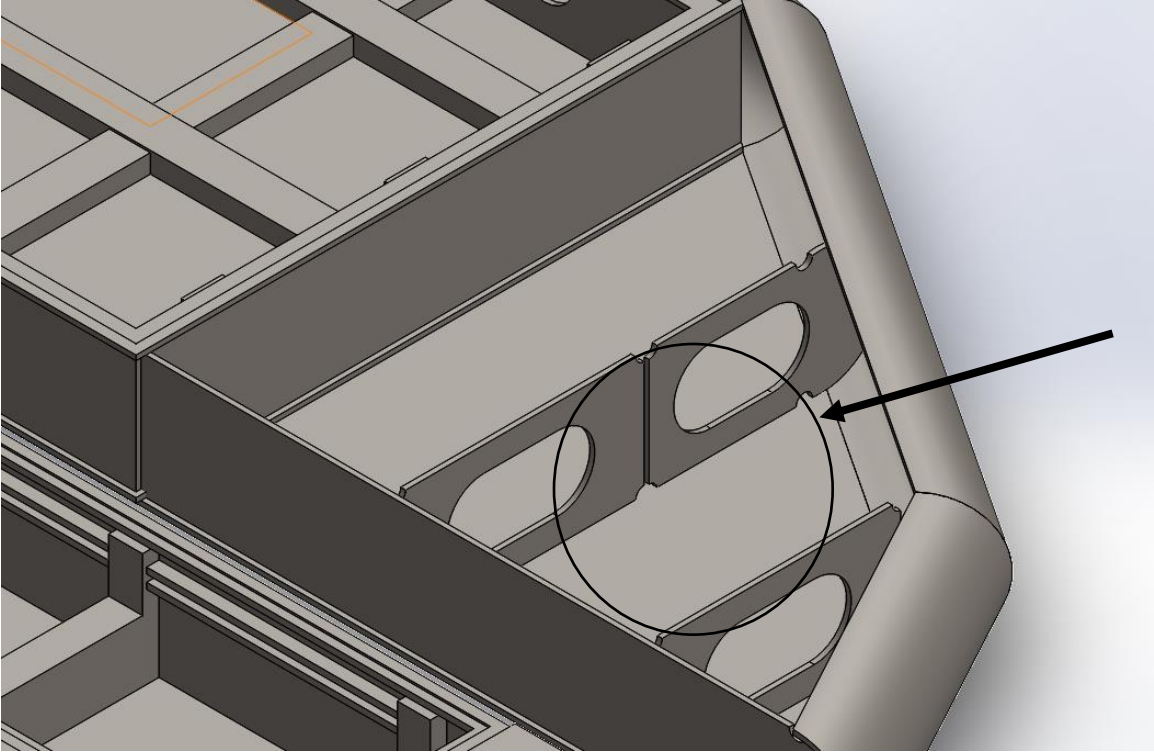


Figura 48 Propuesta de sitio para la instalación del SVP 70

En la sección que se muestra en la Figura 48, en el lado donde se encuentra los transductores del TOPAS PS18 y los transductores de recepción del EM 300 se observa que hay espacio disponible para poder instalar de manera correcta y sin dañar la estructura de la góndola el SVP 70.

CONCLUSIONES.

La velocidad del sonido del agua es cinco veces mayor que la velocidad del sonido en el aire, lo que implicó el desarrollo de tecnología para medir profundidades en ríos, lagos y canales.

El presente trabajo muestra el principio de funcionamiento de los equipos batimétricos desde que iniciaron las primeras investigaciones, hasta las características de los sistemas y los modelos más modernos a la fecha comercializados.

Se muestra la posición en las diferentes cubiertas del buque que son necesarias utilizar para la instalación de los sistemas batimétricos, lo que permite visualizar que se requiere de espacio e instalaciones especiales, además de recursos humanos especializados para la operación de las ecosondas.

La investigación permitió visualizar que la empresa *Kongsberg* es una empresa líder para sistemas batimétricos de aguas profundas donde su competencia es marginal o nula, pero para equipos de aguas someras existen a la fecha muchas compañías que tienen en su catálogo de productos sistemas económicos con muy buenas prestaciones. Una

tabla comparando diferentes ecosondas multihaz no fue posible por la nula información disponible en la red, por lo que se optó comparando equipos multihaz de aguas someras.

Se desglosan todos los equipos y sistemas que se encuentran actualmente instalados y en funcionamiento en los buques de la UNAM, pero además se presenta una tabla comparativa de las características de los nuevos modelos que la empresa *Kongsberg* comercializa y donde deja ver que cada vez se obtiene mayor resolución con equipos más compactos.

La Coordinación de Plataformas Oceanográficas busca actualizar sus equipos por los más nuevos que se ofrecen en el mercado. En este caso el EM 300 sería el ideal para cambiar por tiempo que lleva en el mercado, además *Kongsberg* lo discontinuó para ofrecer equipos con mejores especificaciones y que se adapten a las necesidades actuales. Se hizo la comparación entre el EM 300, el EM 302 con el equipo más reciente, el EM 304, en donde lo que más resalta es la profundidad a la que llega el haz que dispara.

Se reprodujo a partir de planos de fabricación la góndola que tiene el buque oceanográfico “El puma” instalado para fijar los transductores, lo que permitió asignar un espacio a un sensor que requieren los sistemas batimétricos, que es la medición de la velocidad del sonido en la superficie del agua de mar.

Se realizaron los cálculos necesarios para determinar si la góndola no sufre cavitación y formación de vórtices. Los resultados obtenidos realizando los cálculos a base de las ecuaciones para calcularlos, se hizo una comparativa con una simulación de fluido con el programa *Solidworks* en donde se dio a conocer que los resultados coincidían con los obtenidos anteriormente. Cabe señalar que a pesar de encontrar cavitación en la estructura esta se presenta sobre la parte inicial de la góndola donde tiene material de acero y esta cavitación se encuentra alejada de la ubicación de los transductores quienes están seguros de una cavitación.

La inversión en la actualización de tecnología es necesaria debido a que los equipos que tiene el buque oceanográfico “El Puma”, se han quedado sin piezas de repuesto y servicios de hecho, se han declarado como obsoletos, lo que implica ejercer mayores recursos para su mantenimiento, se recomienda realizar una inversión para la adquisición del sistema de última generación, donde se ganara mayor resolución y mejores prestaciones de desempeño para la adquisición de perfiles batimétricos.

TRABAJO A FUTURO.

En este trabajo se hizo una comparación teórica de las ecosondas multihaz que tiene COPO con el EM 304, por lo que solo queda hacer dicha comparación pero ya con el EM 304 a la mano, para poder determinar con más exactitud el costo beneficio que se tendrá con el cambio del EM 300 al EM 304.

Se requiere realizar un estudio comparativo de los datos batimétricos obtenidos con el uso del equipo K-sync, este equipo como se mencionó permite que las ecosondas

trabajen casi en forma simultánea reduciendo el probable ruido que pueda generar una ecosonda multihaz a otro monohaz y perfilador de subsuelo, no se cuenta con un estudio de la limpieza de los datos con y sin K-sync, por lo tanto es una tarea pendiente de realizar. El objetivo de esta tarea será conocer que tan “sucios” o “limpios” de ruido se presentan los datos de las diferentes ecosondas sin el uso y con el uso del K-sync y esto permitirá conocer si la inversión en adquirir este dispositivo fue o no correcta. Cabe aclarar que esta tarea es posible debido a que se cuenta con un equipo K-sync instalado en el “Justo Sierra”, lo cual facilita la prueba recomendada.

Si se quiere obtener mejores resultados en la simulación de la góndola, es necesario contar con un equipo de cómputo más potente que con el que se realizaron los cálculos. Ya que con un mallado mucho más refinado, los resultados serán mucho más confiables de los que se hicieron con un nivel 3 de mallado. Además, un estudio de independencia de malla será muy favorable para corroborar los resultados mostrados en el presente documento.

Con la finalidad de evaluar el costo beneficio de los sistemas batimétricos instalados en los buques oceanográficos de la UNAM, se recomienda que se realice una investigación de cuantos documentos publicados en revistas de alto impacto se tienen registrados con investigaciones donde se usan los sistemas batimétricos, además de la cantidad de recursos humanos de doctorado, maestría y licenciatura que han realizado sus tesis e investigaciones con información de los sistemas batimétricos, además de los levantamientos para la iniciativa privada y gubernamental, con ellos se lograra contar un parámetro accesible para reconocer la importancia de la inversión en este tipo de sistemas.

Bibliografía

- BENTOS. (11 de 10 de 2022). *Perfiladores sísmicos de subfondo*. Obtenido de <http://www.bentos.cl/archivos/SBP.pdf>
- Bird, S. (28 de 09 de 2021). *Sea Bird*. Obtenido de <http://www.seabird.com>
- COPO UNAM . (07 de 04 de 2022). *Buques UNAM* . Obtenido de <http://www.buques.unam.mx/acerca-de/#mision-vision-objetivos>
- Dirección de Hidrografía y Navegación. (2020). *Normas Técnicas Hidrográficas, Procedimientos para la Determinación de Profundidades*. Perú: Ministerio de Defensa Marina de Guerra del Perú.
- Dr. A. Sobachkin, D. G. (2014). *Base numérica de CFD integrada en CAD*. Rusia: DASSAULT SYSTEMES.
- itsasnet. (08 de 08 de 2022). *Campañas oceanográficas: el CTD o cómo medir la Temperatura , Salinidad, Profundidad*. Obtenido de <https://itsasnet.com/campanas-oceanograficas-el-ctd-o-como-medir-la-temperatura-salinidad-y-profundidad/>
- John Simmonds, D. M. (2005). *Fisheries Acoustics Theory and Practice*. Oxford: Blackwell Science.
- Kongsberg. (07 de 04 de 2022). *EM 302 Multibeam echo sounder* . Obtenido de <https://cdn1.shipserv.com/ShipServ/pages/profiles/54162/documents/EM-302-Product-Description.pdf>
- Kongsberg. (05 de 04 de 2022). *Kongsberg EM 304 MKII*. Obtenido de https://www.kongsberg.com/contentassets/37b2b502e3d549d6ab66dcd5d551e750/467936aa_em304mk2_installation_manual_en.pdf
- Kongsberg. (11 de 10 de 2022). *KONGSBERG'S NEW EM 304 MKII MULTIBEAM ECHO SOUNDER OFFERS MAJOR RANGE AND SWATH IMPROVEMENTS*. Obtenido de <https://www.kongsberg.com/maritime/about-us/news-and-media/news-archive/2020/em-304-mkii-released/>
- Kongsberg. (07 de 04 de 2022). *Operator manual EM 300 Multibeam echo sounder* . Obtenido de <https://www.kongsberg.com/globalassets/maritime/km-products/product-documents/160719-em-300-operator-manual.pdf>
- Kongsberg. (07 de 04 de 2022). *Operator manual K-sync Synchronization Unit*. Obtenido de https://www.kongsberg.com/contentassets/1e171f0a51264694b7bd957d8d9da705/342435ab_k-sync_operator-manual.pdf
- Kongsberg. (12 de 10 de 2022). *TOPAS PS 18 System specifications*. Obtenido de http://www.dragon-sat-phone.com.tw/hydro_hardware/topas/TOPAS_PS_18.pdf
- Kongsberg. (12 de 10 de 2022). *TOPAS PS18 Parametric Sub-Bottom Profiler*. Obtenido de <https://www.kongsberg.com/globalassets/maritime/km-products/product-documents/topas-ps-18-parametric-sub-bottom-profiler.pdf>

- Laura Ballester Mora, D. G. (Junio 2010). *Estudio Batimétrico con ecosonda multihaz y clasificación de fondos*. Barcelona: UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA.
- M., J. L.-G. (08 de 08 de 2022). *Propagación del sonido en el mar*. Obtenido de http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/17/htm/sec_8.html
- Merle C. Potter, D. C. (2004). *Mecánica de fluidos*. México: Thomson.
- Nautilus Oceanica. (08 de 07 de 2022). *ECOSONDAS MULTHAZ*. Obtenido de <https://www.nautilusoceanica.com/productos/ecosonda-multihaz/97-r2sonic-2024-ecosonda-multihaz-batimetria>
- Nautilus Oceanica. (07 de 09 de 2022). *Sónar barrido lateral*. Obtenido de <https://www.nautilusoceanica.com/productos/sonar-barrido-lateral/121-878-sidescan-sonar-imagenex>
- NOAA. (07 de 09 de 2022). *Introduction to Sonar and Multibeam Mapping*. Obtenido de <https://oceanexplorer.noaa.gov/oceanos/edu/collection/media/hdwe-MMBkgnd.pdf>
- OceanInstruments. (s.f.). *Kongsberg-Simrad EM300 Multibeam Echo Sounder*. Recuperado el 07 de 09 de 2022, de <https://www.whoi.edu/instruments/gallery.do?mainid=30268&iid=15267>
- Renoud, W. a. (14 de 09 de 2022). *Hydrographic Efficiencies of Operating a 18 m Research Platform in the Eastern Canadian Arctic*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/273764621_Hydrographic_Efficiencies_of_Operating_a_18_m_Research_Platform_in_the_Eastern_Canadian_Arctic/citation/download
- ResearchGate. (07 de 09 de 2022). *The History of US: From Bats and Boats to the Bedside and Beyond*. Obtenido de https://www.researchgate.net/figure/Drawing-of-Jean-Daniel-Colladon-1802-1893-a-Swiss-physicist-and-his-assistant_fig2_274262868
- Tacoronte, A. I. (05 de 04 de 2022). *Propagación de ondas acústicas en espacios subacuáticos*. Obtenido de <https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/5941/Propagacion%20de%20ondas%20acusticas%20en%20espacios%20subacuaticos.pdf?sequence=1>
- Universidad de Buenos Aires. (05 de 04 de 2022). *Las limitaciones de la sonda monohaz y las ventajas de la multihaz*. Obtenido de <http://www.bibliotecacpa.org.ar/greenstone/collect/facagr/index/assoc/HASH19f3.dir/doc.pdf>
- University of Rhode Island. (07 de 09 de 2022). *Discovery of Sound in the Sea* . Obtenido de <https://dosits.org/galleries/technology-gallery/observing-the-sea-floor/echosounder/>
- Vergara, E. R. (2016). *Ranking de Perfiladores Acústicos de Subfondo (SBP), a Través de un Análisis Comparativo*. Valparaíso: Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

ANEXO.

En la oceanografía física existen muchos más equipos para la investigación de los mares que los equipos batimétricos mostrados en este documento, equipos que incluso tienen mucha más importancia que un perfilador de subsuelo o una ecosonda multihaz.

En este espacio se explicará a detalle algunos instrumentos oceanográficos que tiene la coordinación junto con un dibujo CAD hecho en *Solidworks*.

CTD SBE 9plus.

En la actualidad, el instrumento estándar que se utiliza para medir la temperatura, salinidad y a menudo también el contenido en oxígeno disuelto es el CTD (Bird, 2021) (Por sus siglas en inglés: *Conductivity, Temperature and Depth*: conductividad, temperatura y profundidad). Cada uno de los sensores del CTD emplea el principio de la medida eléctrica. Un termómetro de platino cambia su resistencia eléctrica con la temperatura. Si se incorpora un oscilador eléctrico, un cambio en su resistencia produce un cambio de la frecuencia del oscilador, que puede ser medida. La conductividad del agua de mar se puede medir de una manera similar como el cambio de la frecuencia de un segundo oscilador, y un cambio en la presión produce un cambio de la frecuencia en un tercer oscilador. (Figura 49)

La característica del CTD es que se sumerge en el agua desde el barco y registra datos de manera continua, con una frecuencia de hasta 24Hz, es decir, que cada parámetro puede ser medido hasta 24 veces por segundo. Almacena esta información en su memoria para ser descargada posteriormente. En algunos casos, el CTD puede estar conectado mediante un cable a un ordenador abordo, de forma que los científicos estén recibiendo los datos al momento. (itsasnet, 2022)

El CTD consta de un cilindro metálico capaz de soportar altas presiones y que aloja en su interior los componentes electrónicos. Los sensores van alojados en la carcasa del CTD. Los CTD modernos, además de los sensores de temperatura, conductividad y profundidad, pueden disponer también de sensores de fluorimetría, pH, oxígeno disuelto, OPC (contador de partículas ópticas), PAR (sensor de luz visible), transmísómetro (turbidez del agua), etc.

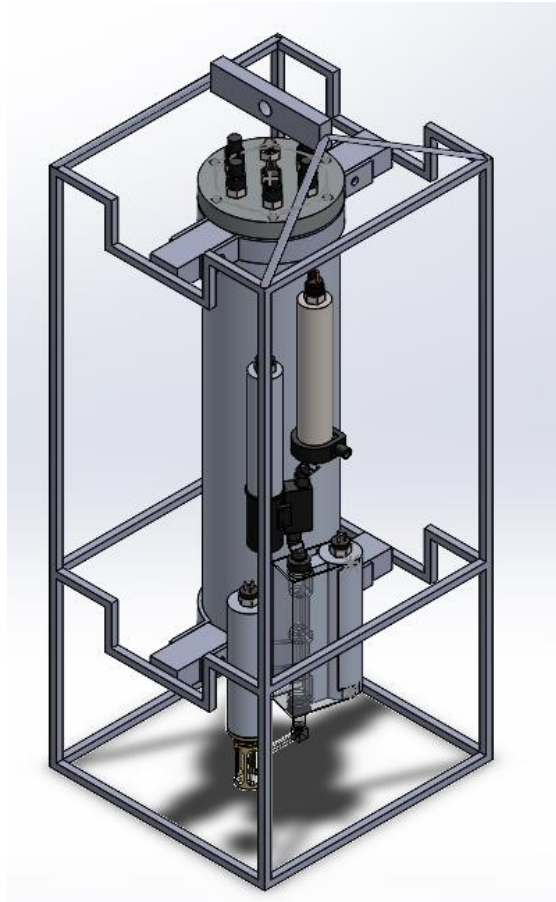


Figura 49 CTD SBE 9plus

MINOS X.

Minos·X es un pequeño perfilador vertical que permite cambiar los sensores del instrumento, en el campo y en base a las necesidades del usuario. Con Minos·X, su SVTP puede convertirse en un CTD; los sensores de presión somera se pueden sustituir por sensores profundos; y el rango de temperatura se puede ampliar o reducir, según sea necesario. Un solo perfilador cumple los requisitos de varios usos.

Minos·X (Figura 50) utiliza sensores de campo intercambiables, como lo son para conductividad, velocidad del sonido, temperatura, presión y turbidez. Esto significa que las cabezas de los sensores pueden ser usadas con otros instrumentos, independientemente del tamaño o tipo de instrumento. Los sensores de campo intercambiables también optimizan el recalibrado: en lugar de enviar el instrumento completo a un centro de recalibrado, las cabezas de sensores calibradas pueden ser enviadas a donde está el instrumento. El cambio de sensores es fácil: simplemente se desenrosca una cabeza de sensor y se sustituye por otra.



Figura 50 CAD del Minos X

SVP 70.

El sonido es producido por el movimiento vibratorio de las moléculas de una sustancia elástica. La energía mecánica de propagación del sonido se absorbe en el medio por el cual se propaga, y que puede ser gaseoso, líquido o sólido, produciéndose una variación en la intensidad del sonido, que es mayor o menor según el medio en el que se absorbe. Esta absorción se debe a la fricción de las ondas con el medio, y a su transformación en calor. (M., 2022)

El conocimiento de la propagación del sonido en el mar ha permitido la construcción de aparatos acústicos para medir la profundidad y las distancias en el mar, como las sondas de eco o ecosondas, que posteriormente han sido sustituidas por la sonda ultrasónica. Estos aparatos no serían útiles en el aire, porque en él las ondas se absorben a distancias muy cortas.

Los servicios de navegación y de protección de costas de algunos países industrializados publican tablas en las que se dan instrucciones sobre la propagación de las ondas sonoras y ultra sonoras en el agua del mar. Gracias a esto, se ha podido evitar grandes errores en cuanto se refiere a la determinación de la profundidad de las aguas y se ha logrado hacer más segura la navegación. (M., 2022)

El sensor de velocidad del sonido RESON SVP 70 (Figura 51) está desarrollado para montajes fijos en superficies de barcos, anillos fuera de borda, submarinos, AUVs, ROVs y otro tipo de plataformas. El SVP 70 usa lo último en electrónica con un diseño innovador para producir un producto compacto, robusto y flexible.

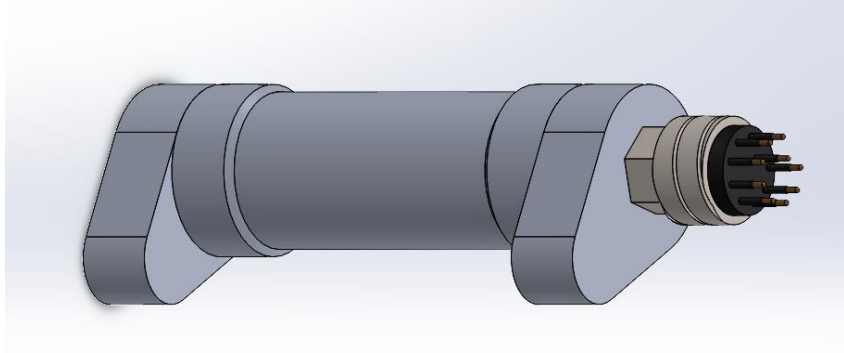


Figura 51 CAD DEL SVP 70