

BATIMETRÍA

Instituto de Agrimensura - Facultad de Ingeniería - UdelaR



BATIMETRÍA

❖ “El arte de medir profundidades...”

- ❖ Los métodos de levantamiento han avanzado con el correr del tiempo.
- ❖ La finalidad es el levantamiento de puntos coordinados, con la particularidad que se encuentran en el fondo de un cuerpo de agua.
- ❖ Se realizan para diversos estudios o funciones. Por ejemplo permitir una segura navegabilidad, producción mapas temáticos, cartas náuticas, definición de límites marinos, colocación de cables y tuberías, etc.

Organos reguladores

OHI

Organización Hidrográfica
Internacional

Asegurar que las aguas navegables del mundo estén debidamente registradas y cartografiadas

Normas de la OHI

Proporciona un conjunto de normas en la ejecución de los levantamientos hidrográficos para la recolección de datos

Clasificación de los levantamientos

- Orden Especial (separación quilla-fondo crítica)
- Orden 1a (separación quilla-fondo menos crítica)
- Orden 1b (separación quilla fondo no se considera de interes)
- Orden 2 (menos estricto profundidades > 100m)

Generalidades de los levantamientos batimétricos

Planificación

- ❖ Objetivo levantamiento.
- ❖ Características de la zona.
- ❖ Instrumental disponible.
- ❖ Información antecedente de la zona de trabajo.

Recolección de datos

- ❖ Se busca cubrir la totalidad de la superficie.
- ❖ El objetivo del trabajo determinará la densidad, cobertura y precisión de los datos.

Procesamiento de datos

- ❖ Generación de datos válidos.
- ❖ A mayor volumen de datos relevados, más requerimientos informáticos se necesitan.

Análisis de datos

- ❖ Errores groseros.
- ❖ Errores sistemáticos.
- ❖ Errores aleatorios.

Determinación del POSICIONAMIENTO

TÉCNICAS ÓPTICAS

- ❖ Método Sextante
- ❖ Método bisección o intersección directa.
- ❖ Método de polares.

Determinación parámetros mínimos para poder determinar la coordenada planimétrica de un punto y que quede referido a un Sistema de Referencia Local o Global en Tierra.

GNSS

- ❖ Posicionamiento absoluto.
- ❖ Posicionamiento diferencial.

Determinación de la PROFUNDIDAD

Determinar la distancia vertical entre el pelo de agua y el fondo del cuerpo de agua.

Sistemas ACÚSTICOS

- ❖ Ecosonda simple haz
- ❖ Ecosonda multihaz

Sistemas NO ACÚSTICOS

- ❖ *Mecánicos*
- ❖ Laser aerotransportado
- ❖ Electromagnéticos
- ❖ Fotobatimetría
- ❖ Satelitales

Sistemas NO ACÚSTICOS

MECÁNICOS

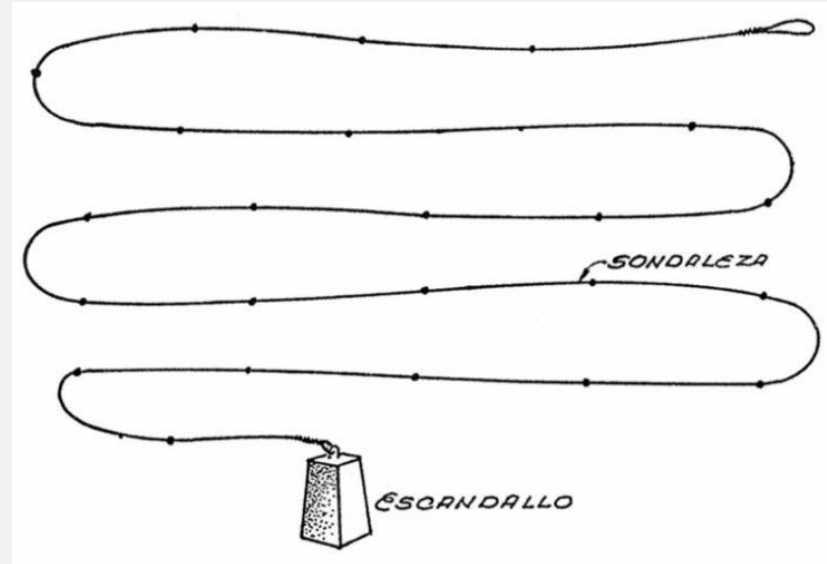
Estos sistemas son de mano. Puede ser desde una mira graduada a un prisma utilizando Estación Total.

Una opción es el **escandallo**.

Son sistemas para utilizar en condiciones de poca profundidad y una zona de trabajo no muy extensa.

Son utilizados principalmente para:

- ❖ Estudios previos de la zona
- ❖ Puntos de control para chequear posibles errores en el levantamiento con otros instrumentales.



Sistemas ACÚSTICOS

Una oscilación que se propaga a través de un medio recibe el nombre de onda. Una onda sonora es una onda longitudinal que transmite lo que se asocia con sonido.

- ❖ Se realizan a partir de un SONAR. Es una sigla que traducida al idioma español: Navegación y distancia por sonido.
- ❖ Son equipos que se dividen en sonares activos, sistemas que emiten y a la vez detectan ondas sonoras y sonares pasivos que únicamente detectan ondas.
- ❖ Este proyecto se enfocara en los activos.

Batimetría empleando SISTEMAS ACÚSTICOS

Conocimientos del medio

- ❖ Estudio de propiedades físicas del agua (temperatura, presión, densidad, salinidad)
- ❖ En lugares pocos profundos se mide con mayor exactitud estos factores

Velocidad del sonido

- ❖ Diferentes instrumentales permiten determinar la velocidad del sonido
- ❖ Propagación del sonido en el agua - refracción -

Frecuencia

- ❖ Frecuencia y alcance inversamente proporcionales

Profundidad	Frecuencia
< 100 m	> 200 kHz
<1500 m	50 - 200 kHz
>1500 m	12 - 50 kHz

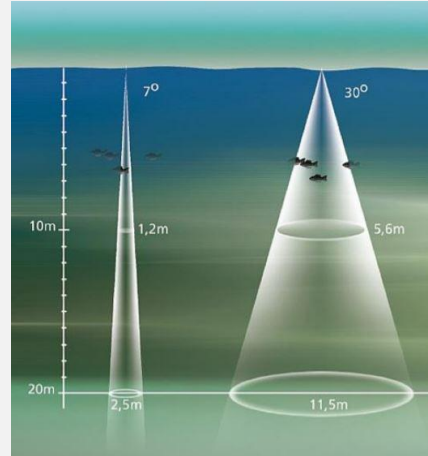
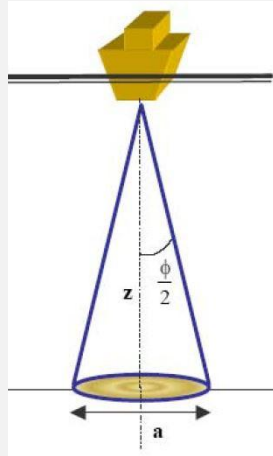
Movimientos de la embarcación

- ❖ Posibles rotaciones en los tres ejes ortogonales.
- ❖ Rumbo, rolido y cabeceo.

Batimetría empleando SISTEMAS ACÚSTICOS

Transductor

- ❖ Equipos usados para la transmisión y recepción de pulsos acústicos
- ❖ Es un componente de la ecosonda, determina algunas características de la misma como el ancho del haz o la cobertura.



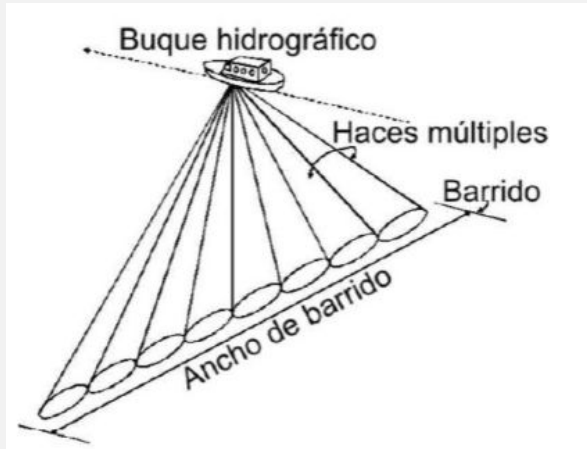
Calibración del instrumental

- ❖ Consiste en ajustar el equipo para asegurar la correcta medición de profundidades.
- ❖ Barra de chequeo: barra que se coloca bajo el transductor en varias profundidades forzando a que la ecosonda grabe la profundidad correcta

Sistemas ACÚSTICOS

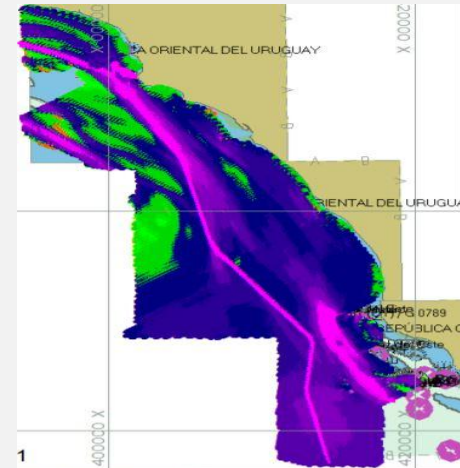
ECOSONDA MULTIHAZ

El sistema trata de emisión de varios haces angostos de sonido en diferentes direcciones, ordenados en forma de abanico que barren transversalmente en el sentido que avanza la embarcación.



La distribución de estos haces permite el levantamiento de una franja de puntos.

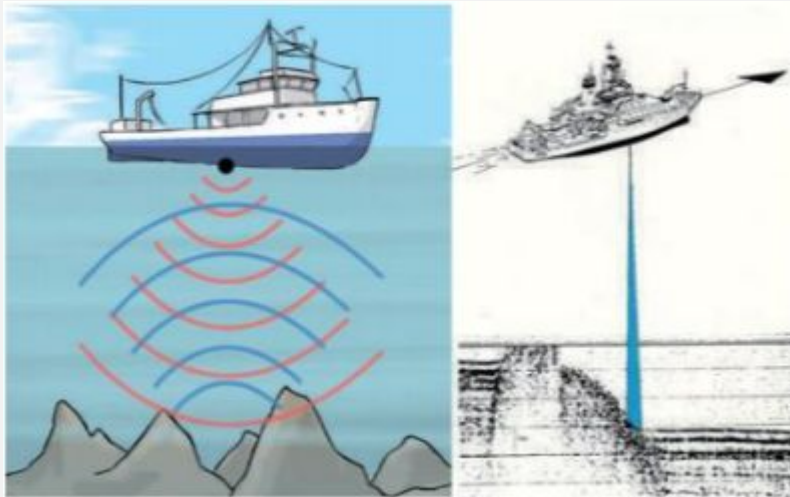
La dimensión de esta franja se define en función de la **longitud que barre** (depende del ángulo de barrido, la profundidad)



Sistemas ACÚSTICOS

ECOSONDA DE SIMPLE HAZ

Estas ecosondas son equipos empleados para la determinación de la profundidad al medir el **intervalo de tiempo entre la emisión** de un pulso de onda longitudinal sonora y **el retorno de su eco** desde el fondo del cuerpo de agua.

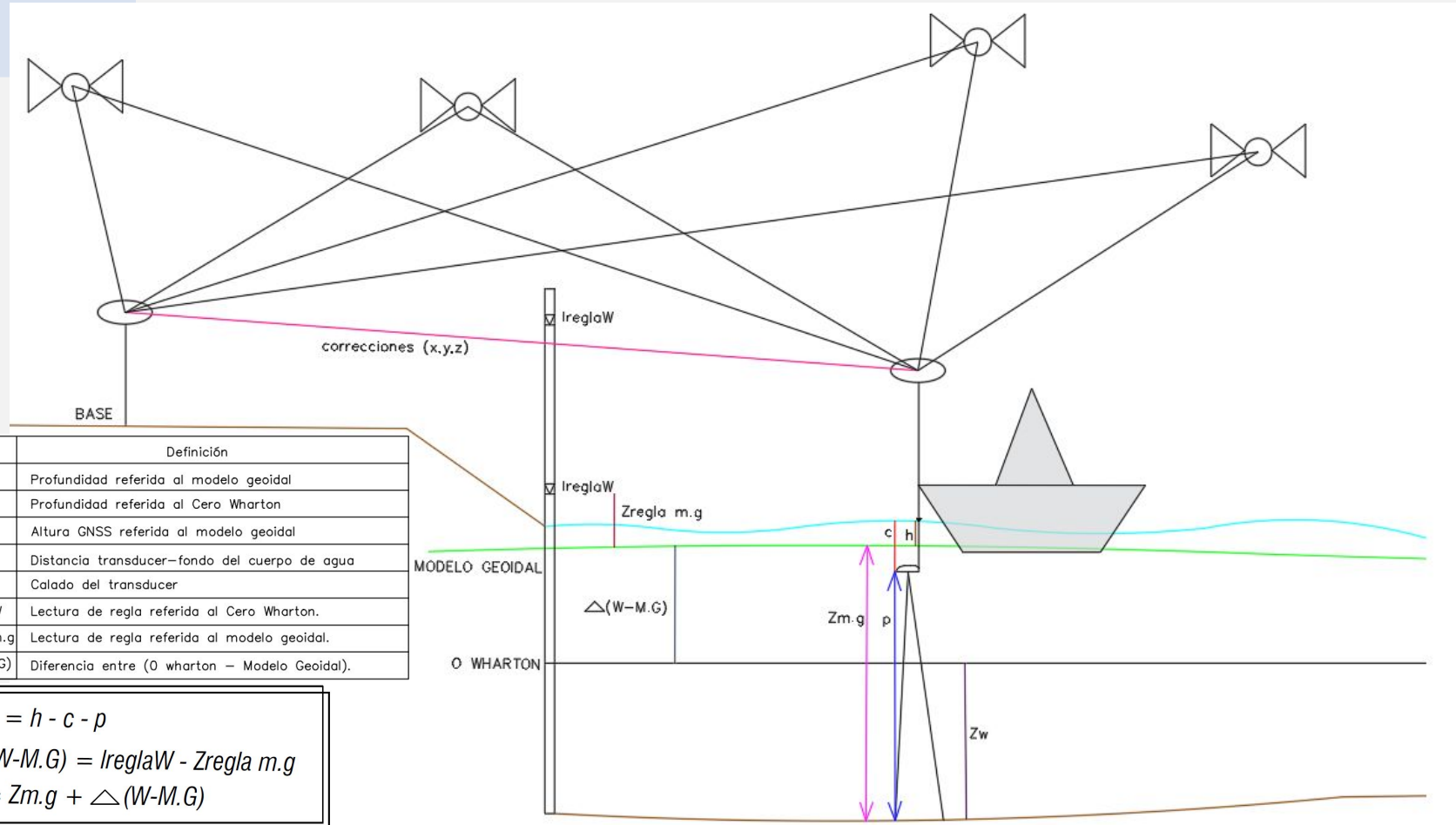


Esta es proyectada en el agua en forma de un haz orientado **verticalmente** donde se proyecta en la columna de agua hasta llegar al fondo.

LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO

EMPLEANDO ECOSONDA SIMPLE HAZ Y POSICIONAMIENTO GNSS

Modelo de determinación del fondo del cuerpo de agua aplicando modelo geoidal y altura GNSS.



Color	Sigla	Definición
	$Z_{m.g}$	Profundidad referida al modelo geoidal
	Z_w	Profundidad referida al Cero Wharton
	h	Altura GNSS referida al modelo geoidal
	p	Distancia transducer-fondo del cuerpo de agua
	c	Calado del transducer
	I_{reglaW}	Lectura de regla referida al Cero Wharton.
	$Z_{regla\ m.g}$	Lectura de regla referida al modelo geoidal.
	$\triangle(W-M.G)$	Diferencia entre (0 wharton - Modelo Geoidal).

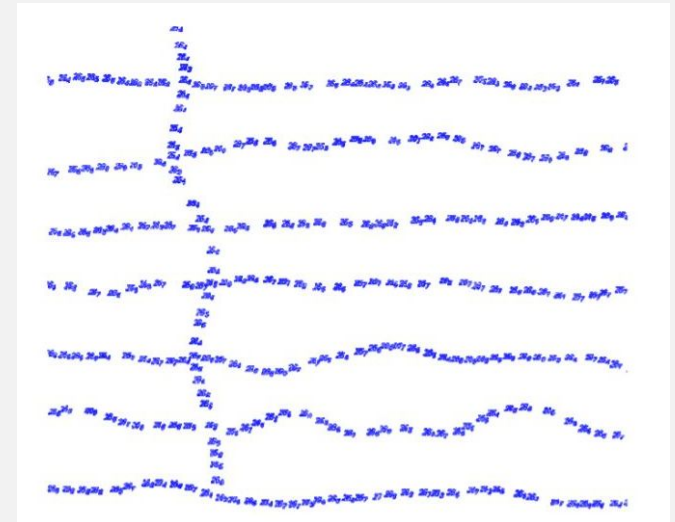
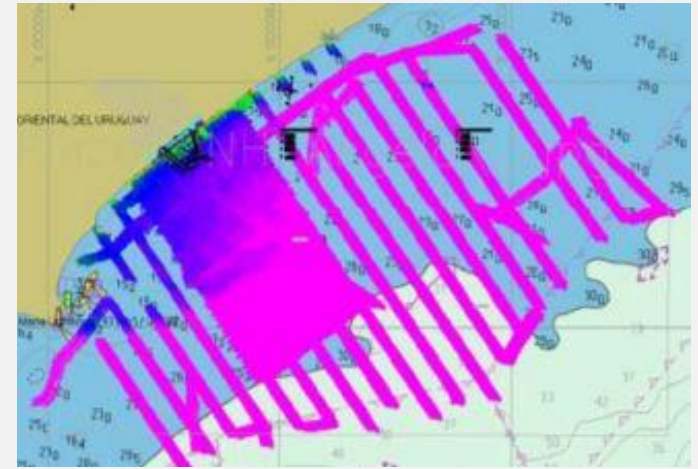
$$Z_{m.g} = h - c - p$$

$$\triangle(W-M.G) = I_{reglaW} - Z_{regla\ m.g}$$

$$Z_w = Z_{m.g} + \triangle(W-M.G)$$

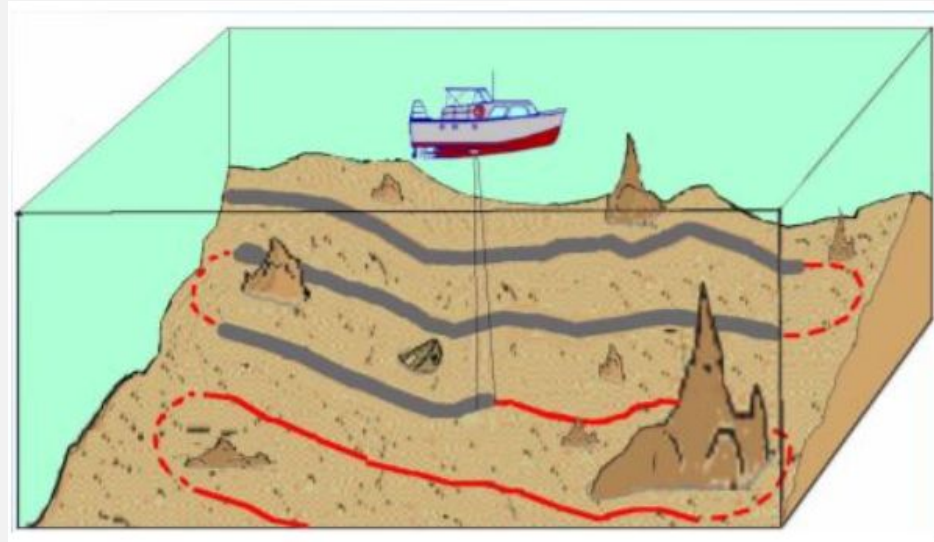
Líneas de levantamiento.

- ❖ Utilizando una ecosonda de simple haz se cubrirá la zona de levantamiento mediante pasadas lineales.
- ❖ La idea es generar un levantamiento en forma de malla.
- ❖ Se hacen pasadas transversales, para poder tener puntos de control, donde se tienen posiciones tomadas en diferentes periodos de tiempo ya que se pueden producir errores por diferentes causas.



Desventajas de un levantamiento con ecosonda simple haz

Al hablar de un levantamiento topográfico de la superficie del terreno cubierto por agua, nos referimos a no poder observar la superficie a relevar, por lo que puede surgir la dificultad de determinar accidentes naturales o artificiales en el modelo de terreno.



Análisis de errores

ERRORES ASOCIADOS A LA METODOLOGÍA E INSTRUMENTAL UTILIZADO Y SU INCIDENCIA EN LOS RESULTADOS FINALES.

POSICIONAMIENTO HORIZONTAL

- Mediante el uso de instrumental GNSS

DETERMINACIÓN DE LA PROFUNDIDAD

- Mediante sistema acústico, empleando un sonar simple haz

POSICIONAMIENTO HORIZONTAL

EL ERROR FINAL EN COORDENADAS (X,Y) SE VERÁ INFLUENCIADO POR EL POSICIONAMIENTO PLANIMÉTRICO Y POR LA INCLINACIÓN DE LA EMBARCACIÓN.

1. **ERROR DEBIDO AL POSICIONAMIENTO PLANIMÉTRICO**
Generada en el posicionamiento con instrumental GNSS.
2. **ERROR DEBIDO AL ROLIDO Y CABECEO**
Surgen por la presencia del oleaje, acción del cuerpo de agua o por el viento.

ERROR TOTAL EN LA DETERMINACIÓN DE LA POSICIÓN HORIZONTAL:

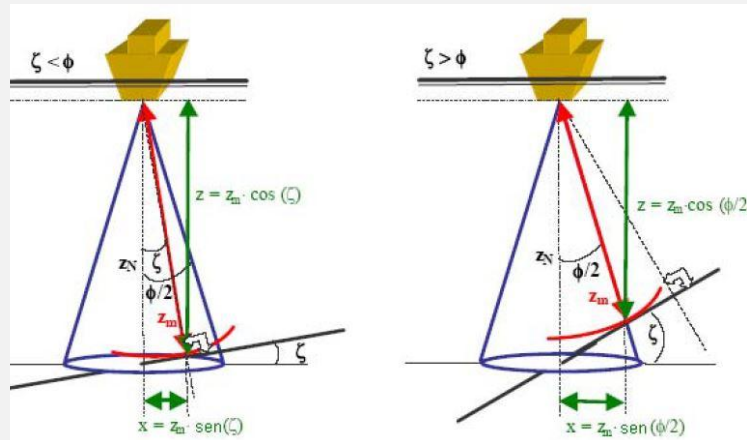
$$\sigma_{X,Y}^2 = \sigma_{GNSS}^2 + \sigma_{mov}^2$$
$$\sigma_{X,Y} = \sqrt{\sigma_{GNSS}^2 + \sigma_{mov}^2}$$

POSICIONAMIENTO VERTICAL

EL ERROR FINAL EN COORDENADA Z SE VERÁ INFLUENCIADO POR FACTORES COMO LA ECOSONDA, EL INSTRUMENTAL GNSS, TIPO DE EMBARCACIÓN Y TIPO DE MEDIO.

Error debido a la inclinación del fondo

Generado por la pendiente que puede presentar el fondo del cuerpo de agua.



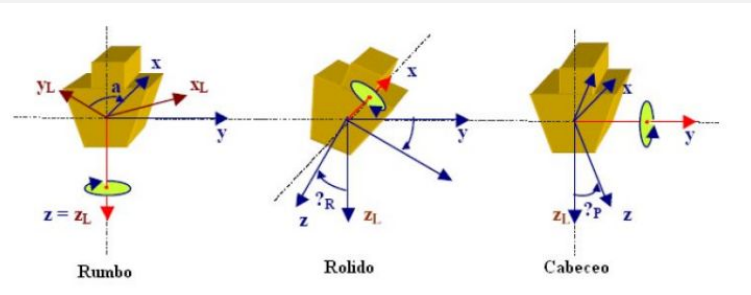
Error debido a la velocidad del sonido

Surge de las variaciones que presenta el medio en donde se propaga la onda de sonido.

POSICIONAMIENTO VERTICAL

Error debido al rolido y cabeceo

Generado de la embarcación, provocado por la acción del cuerpo de agua y el efecto del oleaje.



Error al bandeo

Generado por el movimiento de la embarcación.

Error de calado

Tener la medida del calado es fundamental para la determinación de la profundidad.

POSICIONAMIENTO VERTICAL

Error de asiento

Es la diferencia en el nivel de una embarcación en movimiento, relativa a su nivel en estado de inmovilidad

Error de interpretación

Generado por error de interpretación del personal que procesa.

Error por sedimentos no consolidados

Generado por sedimentos no consolidados que se encuentran en el medio

Error GNSS

Error en la determinación de la altura del pelo de agua.

Error de latencia

Es la diferencia de tiempo entre las mediciones de los equipos.

Error en la medición de la marea

Muy importante ya que define la referencia de las profundidades

POSICIONAMIENTO VERTICAL

ERROR TOTAL EN LA DETERMINACIÓN DE LA POSICIÓN VERTICAL:

$$\sigma_z^2 = \sigma_{incl}^2 + \sigma_{vel}^2 + \sigma_{Z-GNSS}^2 + \sigma_{mov}^2 + \sigma_{marea}^2 + \sigma_{calado}^2 + \sigma_{aciento}^2 + \sigma_{latencia}^2$$

$$\sigma_z = \sqrt{\sigma_{incl}^2 + \sigma_{vel}^2 + \sigma_{Z-GNSS}^2 + \sigma_{mov}^2 + \sigma_{marea}^2 + \sigma_{calado}^2 + \sigma_{aciento}^2 + \sigma_{latencia}^2}$$

LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO EN EL PUERTO DEL BUCEO

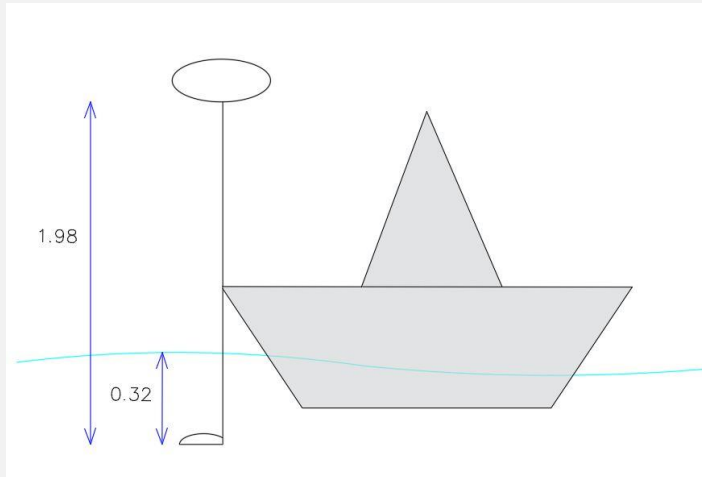


El objetivo principal del trabajo es obtener, a partir de un levantamiento batimétrico, un Modelo Digital de Elevaciones y generar una carta náutica con sus características específicas.



Trabajo de campo

Se fijó de forma vertical un bastón el cual en la parte inferior contará con el transductor conectado a la ecosonda, y en la parte superior se encontrará la antena GNSS.



Se procedió a medir las distancias indicadas, para determinar la altura del bastón y la distancia desde el transductor al pelo del agua.

Trabajo de campo

Con la barra de chequeo situada debajo del transductor a una distancia conocida, se verificó que la ecosonda estuviera calibrada y emitiendo datos verdaderos.



Es fundamental al momento de comenzar el trabajo de campo, **asegurarse de que todos los equipos estén bien amarrados, que ninguno pelagra de recibir golpes, que estén expuestos a movimientos que afecten el levantamiento o incluso que provoquen la pérdida de algún equipo.**

Datos recabados en el levantamiento



Lineas de navegación uniformemente distribuidas en el área predispuesta, con datos relevados cada 2m, excepto en la zona de las marinas.

Comento 10:47
9/5/21

PC	OBS	HORA	MAREA	TEMP	MIRA	ESCANDALLO	ECOSONDA	BAR CHECK	Reto del agua
1	Limo Pared	real 10:30	0.42	16.9		0.57	0.38		0.5
		vech 10:33							1
		10:35							2
		10:37							3
		10:39							4
PC <th>OBS</th> <th>HORA</th> <th>MAREA</th> <th>TEMP</th> <th>MIRA</th> <th>ESCANDALLO</th> <th>ECOSONDA</th> <th>BAR CHECK</th> <th></th>	OBS	HORA	MAREA	TEMP	MIRA	ESCANDALLO	ECOSONDA	BAR CHECK	
2	Limo Pared	10:49	0.42	19.1		2.15	1.65		0.5
		vech 10:49							1
									2
									3
									4
3	Limo Bordo (bordo de mar y mar adentro)	real 10:35	0.42	18.4		0.90	0.60		0.5
		vech 10:35							1
									2
									3
									4
4	Limo Bordo zona de control	real 10:30	0.51	19.1		3.30	3.40		0.5
		vech 10:33							1
									2
									3
									4



Planilla con detalle de información levantada en puntos de control.

Puerto Buceo - Registro de nivel agua, temperatura y humedad (byACO)

DIA	HORA	NIVEL (mts)	TEMP (°C)	HUMEDAD (%)
09-05-2021	14:19:48	0.63	20.2	83.0
09-05-2021	14:09:48	0.64	20.0	> 90
09-05-2021	13:59:48	0.62	20.1	> 90
09-05-2021	13:49:48	0.58	20.0	> 90
09-05-2021	13:39:48	0.58	19.6	> 90
09-05-2021	13:29:48	0.59	19.5	> 90
09-05-2021	13:17:48	0.56	19.5	> 90
09-05-2021	13:07:48	0.52	19.2	> 90
09-05-2021	12:57:48	0.57	19.6	> 90
09-05-2021	12:47:48	0.52	20.8	> 90
09-05-2021	12:37:48	0.55	20.5	> 90
09-05-2021	12:27:47	0.52	19.6	> 90
09-05-2021	12:17:47	0.55	19.5	> 90
09-05-2021	12:07:47	0.53	19.3	> 90
09-05-2021	11:57:47	0.57	19.1	> 90
09-05-2021	11:47:46	0.49	20.0	> 90
09-05-2021	11:37:46	0.47	19.2	> 90
09-05-2021	11:27:46	0.42	19.0	> 90
09-05-2021	11:17:46	0.42	18.4	> 90
09-05-2021	11:07:46	0.50	18.9	> 90
09-05-2021	10:57:45	0.43	19.8	> 90
09-05-2021	10:47:45	0.42	19.1	> 90



Datos del Mareógrafo del Puerto del Buceo en el horario del levantamiento.

Procesamiento

Referir el trabajo al Cero Wharton.

	Norte	Este	Elevación	Descripción
Pto común	6136646.756	579431.611	1.403	cota en lectura regla 2m
Diferencia cota GPS - lectura regla			0.597	

Descarga de datos crudos utilizando el software de procesamiento TBC (Trimble Business Center).

Pto	Norte	Este	Elevación (E)	Profundidad (P)
2000	6136654.597	579408.731	-0.500	0.560
2001	6136654.938	579407.719	-0.487	0.520
2002	6136655.198	579408.783	-0.499	0.480
2003	6136655.215	579409.820	-0.474	0.520
2004	6136655.196	579410.922	-0.476	0.580
2005	6136655.197	579412.023	-0.498	0.630
2006	6136655.196	579413.058	-0.496	0.690
2007	6136655.192	579414.148	-0.506	0.650
2008	6136655.129	579415.196	-0.490	0.600
2009	6136654.932	579416.180	-0.479	0.600
2010	6136655.357	579415.216	-0.499	0.580
2011	6136656.068	579414.445	-0.504	0.580

Generar sistema de coordenadas (X, Y, Z) como (Este, Norte, Profundidad referida al Cero Wharton).

Pto	Norte	Este	Elevación (E)	Profundidad (P)	Elevación referida 0W GNSS 0W = (E - 0.597)	Profundidad referida al 0W P 0W = (GNSS 0W - P)
2000	6136654.597	579408.731	-0.500	0.560	0.097	-0.463
2001	6136654.938	579407.719	-0.487	0.520	0.110	-0.410
2002	6136655.198	579408.783	-0.499	0.480	0.098	-0.382
2003	6136655.215	579409.820	-0.474	0.520	0.123	-0.397
2004	6136655.196	579410.922	-0.476	0.580	0.121	-0.459
2005	6136655.197	579412.023	-0.498	0.630	0.099	-0.531
2006	6136655.196	579413.058	-0.496	0.690	0.101	-0.589
2007	6136655.192	579414.148	-0.506	0.650	0.091	-0.559
2008	6136655.129	579415.196	-0.490	0.600	0.107	-0.493
2009	6136654.932	579416.180	-0.479	0.600	0.118	-0.482
2010	6136655.357	579415.216	-0.499	0.580	0.098	-0.482
2011	6136656.068	579414.445	-0.504	0.580	0.093	-0.487

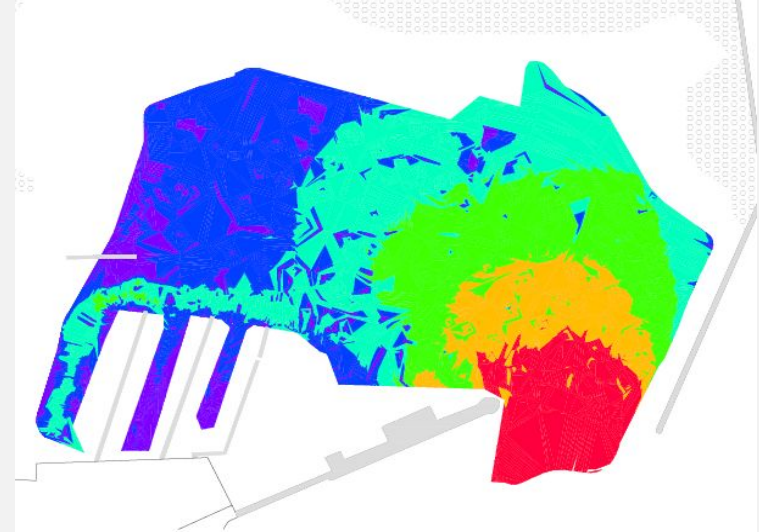
Todas las unidades en metros.

Procesamiento

Carga de datos y proceso de depuración utilizando el Software Autocad Civil 3D.

La cantidad de puntos levantados fue de 6168 puntos, en un área de 10 has 5800m² aproximadamente, obteniendo así una densidad de un punto cada 17m² aproximadamente.

Tabla de profundidades				
Zona	Profundidad máxima	Profundidad mínima	Area	Color
1	-3.18	-2.50	10750.17	■
2	-2.50	-2.00	9937.17	■
3	-2.00	-1.50	20666.82	■
4	-1.50	-1.00	29222.93	■
5	-1.00	-0.50	27192.16	■
6	-0.50	0.05	7568.46	■



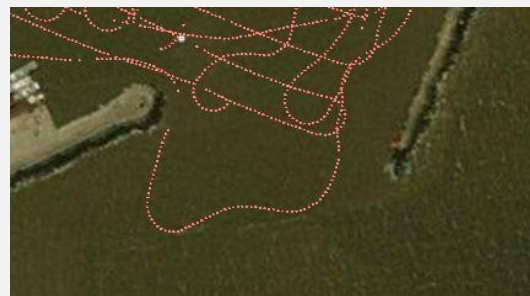
Depuración de datos

El **proceso de depuración** tiene la finalidad de eliminar aquellos puntos que presentan alguna equivocación o algún error grosero.

El 8.88 % de los puntos fue eliminado.

Criterios de depuración para determinar si un "punto crítico" es eliminado o no.

- ❖ Si sobre una línea de navegación, el punto crítico presenta una diferencia mayor al doble del valor obtenido en el pre-análisis de posicionamiento vertical, (0.16m) con los puntos anteriores y siguientes, se analiza si es eliminado o no.
- ❖ En un cruce de líneas de navegación, el punto crítico presenta una diferencia mayor al valor obtenido en el pre-análisis de posicionamiento vertical, (0.08m) con puntos ubicados en un radio de 1m, se analiza si es eliminado o no.
- ❖ Si el punto crítico, se ubica sobre el viraje de la embarcación, y es clara una disminución de la profundidad, se analiza si es eliminado o no.



Modelo Digital de Elevaciones

Luego del proceso de depuración, se obtuvo nuevamente una representación digital de la superficie permitiendo visualizar el levantamiento con puntos correctamente levantados y libres de errores grosos.

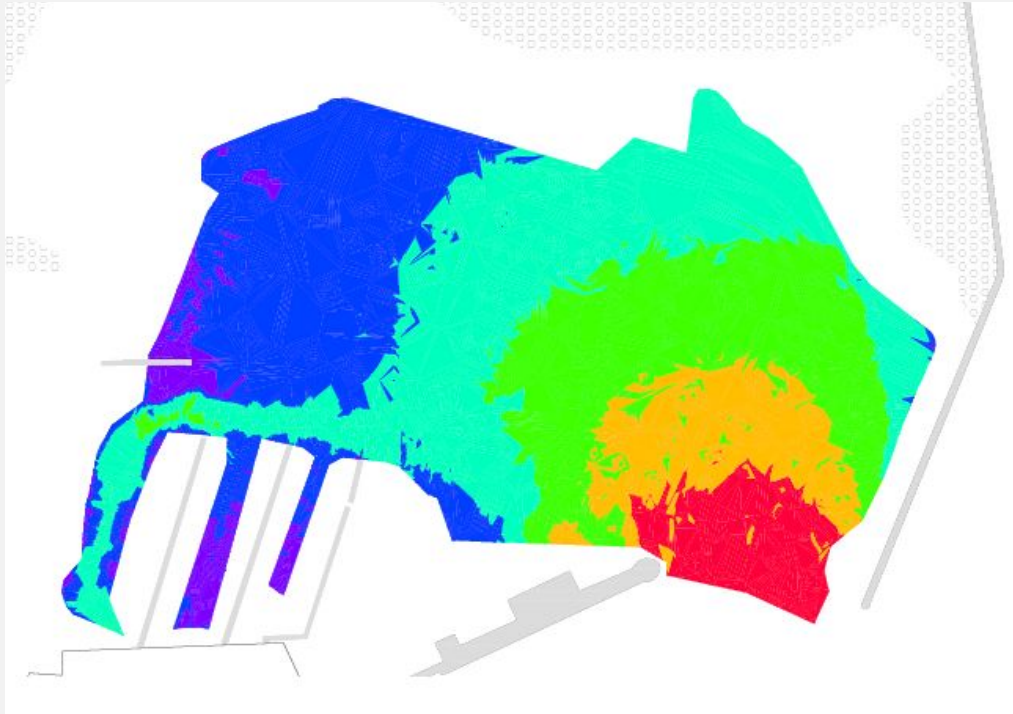


Tabla de profundidades

Zona	Profundidad máxima	Profundidad mínima	Area	Color
1	-3.18	-2.50	6727.66	Red
2	-2.50	-2.00	10002.05	Orange
3	-2.00	-1.50	21650.63	Green
4	-1.50	-1.00	32236.32	Cyan
5	-1.00	-0.50	24932.23	Blue
6	-0.50	0.05	4065.66	Purple

9 hás 9000m2 aprox.

Generación de Carta Náutica

Una carta náutica es una representación del fondo de un cuerpo de agua y de regiones o costa adyacente, a escala y orientada, para permitir una navegación segura.

La profundidad se representa mediante líneas isobáticas, que son líneas que unen puntos de igual profundidad.

Los criterios que se utilizan para la construcción de una carta se basan en que la misma se produce con la finalidad de que sea **práctica para una segura navegabilidad**, por lo que para el usuario tiene un rol fundamental la cómoda visualización e interpretación de la misma.



CROQUIS DE UBICACIÓN

EQUIPOS UTILIZADOS PARA EL LEVANTAMIENTO DE DATOS

ORGANIZACIÓN	COMERCIAL
PROYECTO	ESTUDIO DE MANEJO AMBIENTAL
CLIENTE	INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS
COORDINADOR	RODRIGO GARCÍA
INSTRUMENTOS	SONAR CHIRP

**RÍO DE LA PLATA
BATIMETRÍA CON ECOSONDA MONOHAZ
PUERTO DEL BUCEO**

RESUMEN TÉCNICO
AGOSTO 2011

ESTIMOS DE MONEDICIÓN: OTTO JARA 2011
DATUM MONEDICIONAL: WGS84

ESCALA 1:1000

Observaciones:
Plano de relación de aguas que coincide con el caso de transigencia que se encuentra en el Sistema Rural de Puerto del Buceo.

Notas:

- Datos de alturas están expresados en metros.
- El sistema de coordenadas de las proyecciones son UTM, datum WGS84, Datum WGS84.

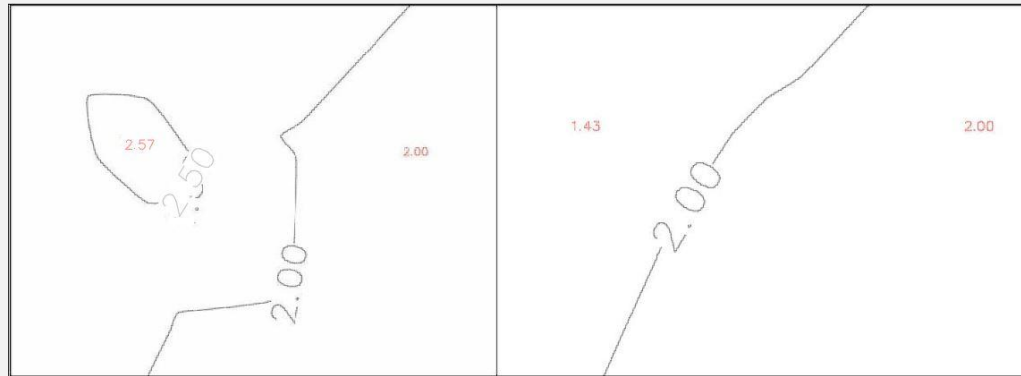
PROYECTO

	Unidad de Asesoría Técnica - Instituto de Asesoramiento MONEDICIÓN MONEDICIÓN AGOSTO 2011 ESCALA 1:1000 Oficina: Oficina de Manejo Ambiental, Pinar del Río, Cuba
--	---

Generación de Carta Náutica

Se genera una grilla de puntos cada 10 m, extraída de la superficie depurada, y se utiliza para generar otra superficie, también representativa del fondo del cuerpo de agua, pero “más suave” y más fácil de interpretar.

La característica primordial de una carta náutica es que sea de fácil comprensión, la superficie es “suavizada” considerando siempre asegurar una navegabilidad segura.



Curva de nivel sin suavizar

Curva de nivel suavizada

Análisis de resultados

Puntos de Control

PC:	OBS.	HORA	MAREA	TEMP (°C)	ESCANDALLO	ECOSONDA	Diferencia
1	Limo-Barro	10:20	0.42	16.90	0.55	0.58	-0.03
2	Limo-Barro	10:47	0.42	19.10	1.83	1.65	0.18
3	Limo-Barro	11:25	0.42	18.40	0.58	0.60	-0.02
4	Arena	11:57	0.57	19.10	2.98	3.10	-0.12
5	Roca	12:15	0.53	19.30	1.28	1.30	-0.02
6	Arena	12:33	0.52	20.50	1.18	1.25	-0.07
7	Limo-Barro	12:48	0.52	20.80	1.21	1.27	-0.06
8	Arena	13:00	0.57	19.60	0.72	0.69	0.03

GRACIAS!

Consultas, dudas o sugerencias...

