



CONGRESO NACIONAL
DE **INGENIERÍA**

RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA

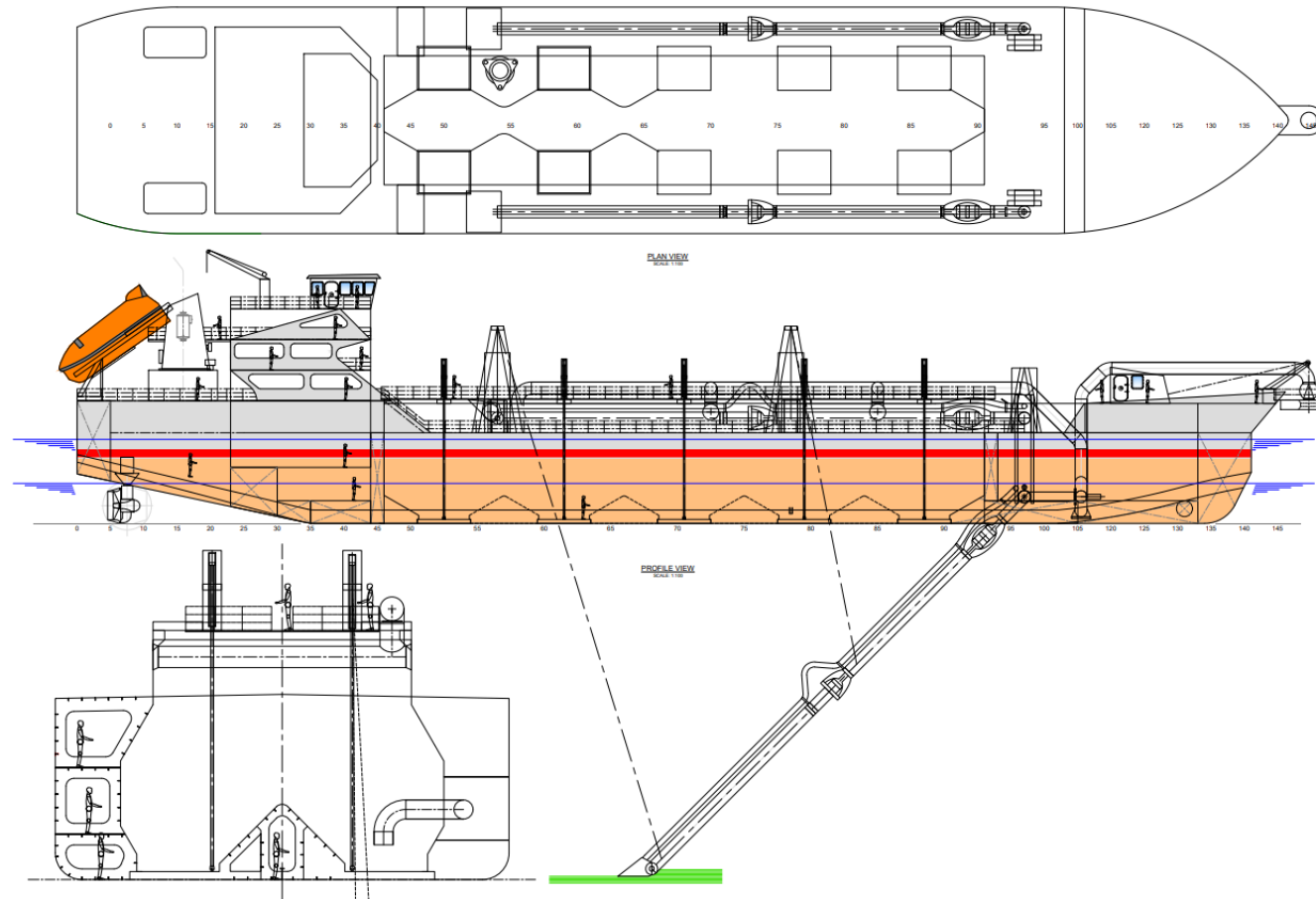


BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023

Metodología para el dimensionamiento de una draga TSHD – Sistema mantenimiento del Canal de Acceso al Puerto de Barranquilla

Ing. Manuel Esteban Mercado

UTB – MNP – SIAB



Trabajo base



Tesis de Maestría, ingeniero Manuel Esteban Mercado M.,
Universidad Tecnológica de Bolívar, 2019.

Datos actualizados a 2022.

TÍTULO DEL TRABAJO:

DIMENSIONAMIENTO DEL CRONOGRAMA Y EQUIPOS COMPONENTES
DEL SISTEMA DE MANTENIMIENTO DEL CANAL DE ACCESO AL
PUERTO DE BARRANQUILLA.

Contenido



CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA

RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA

BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023



1. Generalidades
 - a. Río Magdalena
 - b. Canal de Acceso
 - c. Movimiento de carga
2. Problemática
3. PIANC: Diseño canales
 - a. Definición
 - b. Requerimientos mínimos aplicados
4. Sistema gestión mantenimiento
 - a. Metodología
 - b. Obras Hidráulicas
 - c. Recursos
 - d. Sistema Gestión
 - e. Draga Propia
5. Conclusiones y recomendaciones
6. Referencias

RÍO MAGDALENA

El Río Magdalena se encuentra entre los diez ríos de mayor de carga sedimentaria. En la estación de Calamar (7,35 msnm) la carga sedimentaria es de 180.000 m³/día (ADENAVI & NEDECO, 1973).

Existen sobre el río Magdalena más de 40 concesiones portuarias (MINTRANSPORTE, 2018).

Temperatura Ambiente	28 °C
Humedad Relativa	90 %
Máximas fuerzas de viento	3 Beaufort
Estado del mar	3 Beaufort
Altura máxima de olas	1,20 m
Corrientes máximas	2,5 m/s (5,0 nudos)
Vientos	30 nudos

(CIOH, 2022)



CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA

RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA

BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023



Foto: Sergio Vásquez /Travesía Caribe Respira

Canal de Acceso al Puerto de Barranquilla



CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA

RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA



BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023

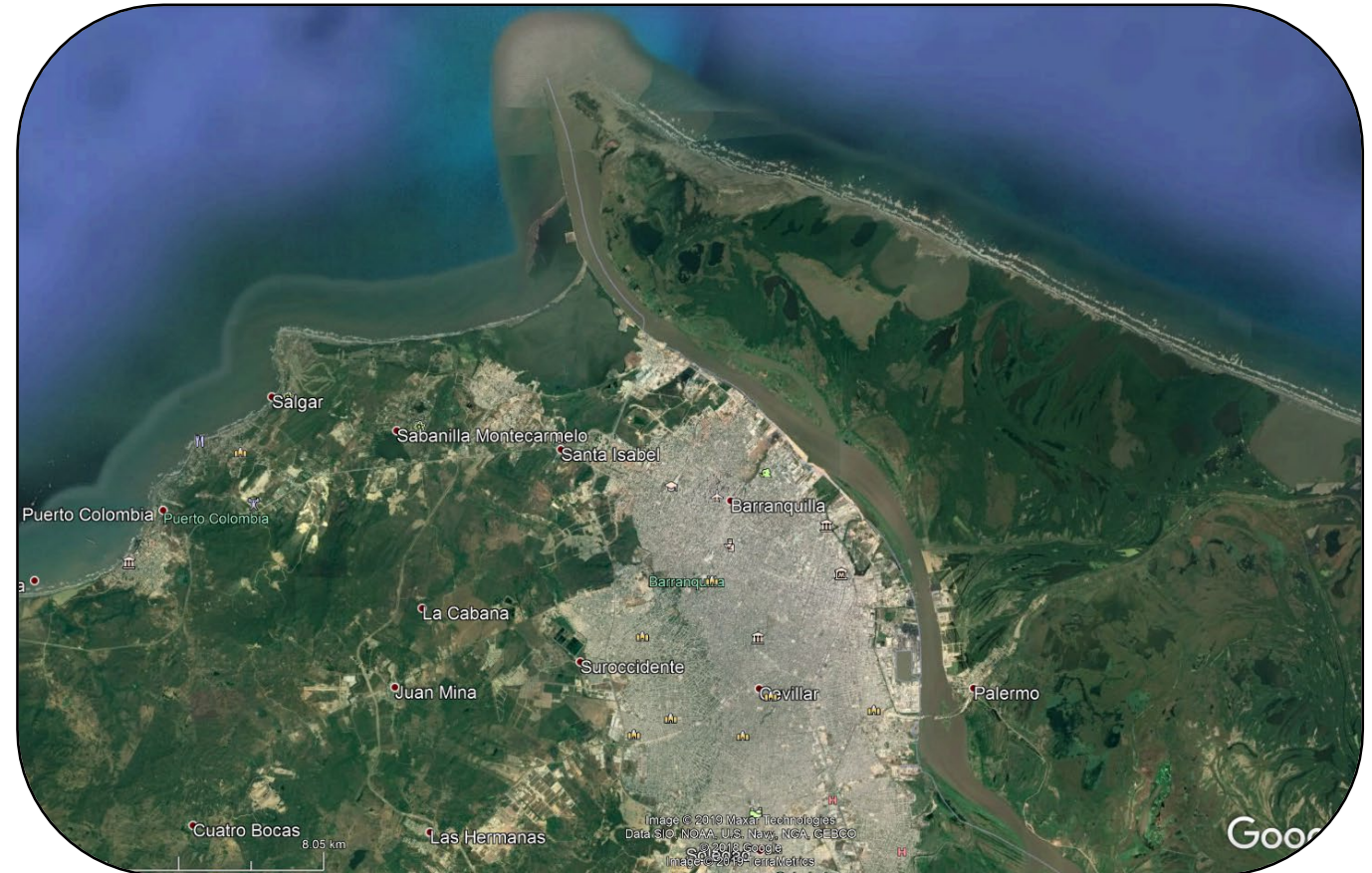
Sector I: Entre el muz del Tajamar Occidental (K0) y Las Flores (K8).

Sector II: Entre Las Flores (K8) y el anclaje del Dique Direccional (K14).

Sector III: Entre el anclaje del Dique Direccional (K14) y el Puente Laureano Gómez (K22).

Tomado de (MINTRANSPORTE - CORMAGDALENA, 2022).

Imagen: Vista del área canal de acceso al Puerto de Barranquilla. (Google Earth Pro, 2021).



PUERTO DE BARRANQUILLA MOVIMIENTO DE CARGA



CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA

RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA

BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023



Toneladas Importación/Exportación, Zona Barranquilla

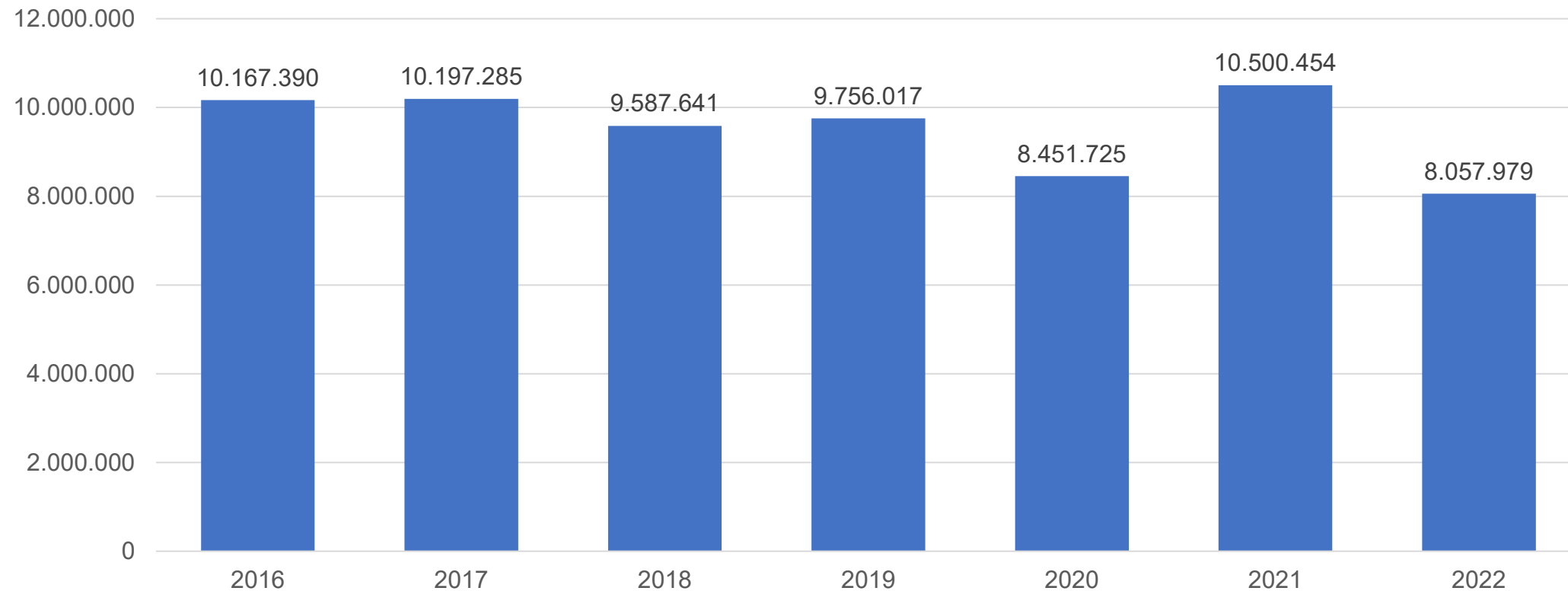


Gráfico elaboración propia.

Datos (Superintendencia de Puertos y Transporte, 2023).

Sobre las dragas



CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA

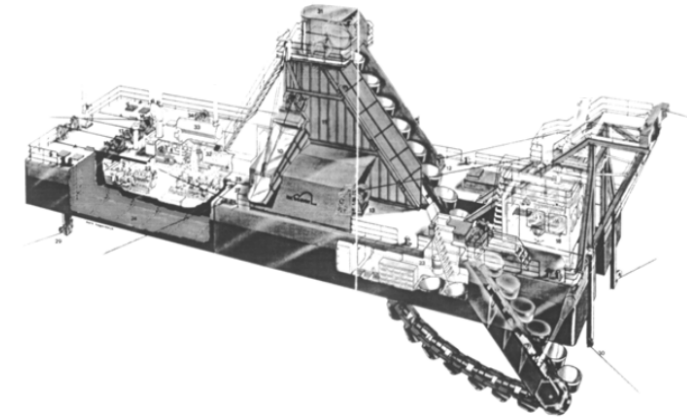
RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA



BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023

De acuerdo con (RAE, 2020), una draga es una “máquina que se emplea para ahondar y limpiar los puertos, ríos, canales, etc.” El equipo, que puede estar instalado en una embarcación o tierra firme, es utilizado para excavar material del lecho, y luego elevarlo hasta la superficie para su disposición.

Los equipos de dragado, pueden ser divididos en dragas Mecánicas e Hidráulicas. (Vlasblom W. , 2003).



Dragas Mecánicas	Dragas Hidráulicas
Bucket Ladder Dredge (BLD), Grabe or Clamshell Dredge (GD), Dipper and Backhoe dredge (BD).	Plain Suction dredge (PSD), Cutter and Suction Dredge (CSD), Trailing Suction Hopper Dredge (TSHD)



Imágenes (Vlasblom W. , 2003).

Tipos de dragas



CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA

RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA



BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023



Puerto de Puno, 2006



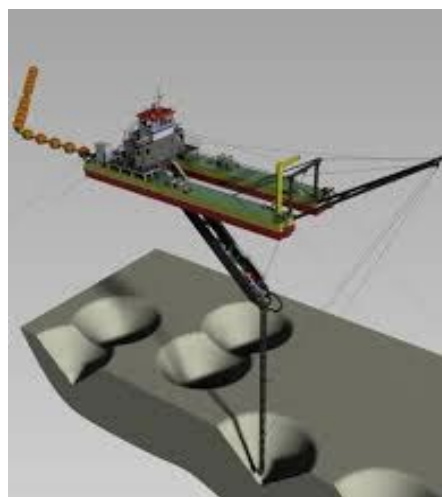
Draga Retroexcavadora,
(Land & Water, 2019)



Draga Corte y Succión (CSD),
(Jin Meng, 2020)



10m³ Grab Dredger "Bestla" (East Marine, 2014).



PSD (IHC Holland, 2019).



TSHD "MAGDALEN" 6.540 m³ (IHC Holland, 2016).

Tipos de dragas



CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA

RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA

BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023



TSHD “Schenge” 2.600 m³
(LISA Community, 2021).



Draga de Tolva de Succión en Marcha (TSHD)



Esquemático (Vlasblom W. , 2003).

Selección del equipo



Dentro del trabajo base se detalla el proceso de selección del equipo idóneo para el Canal de Acceso al Puerto de Barranquilla se utiliza una metodología conocida como “Matriz de Mérito”.

Ésta entrega como resultado que el equipo debería ser una **TSHD**.

Acompañando el proceso equipos de batimetría autónomos y automatizados.

PROBLEMÁTICA ACTUAL (O DE SIEMPRE)



CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA

RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA



BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023

Puerto local dejó de mover 236 mil ton por restricciones en 2018



Marcha de la draga agrava crisis del puerto



Portuarios dicen que están en el punto "más crítico" por bajo calado del puerto



Desvían buque por bajo nivel del canal de acceso



Contrato paradruga permanente en ellimbo

La Ministra de Transporte había anunciado que el proyecto estaría adjudicado en julio. Sin embargo, en el Sistema Electrónico de Contratación Pública (Secop) no hay rastros de la apertura del proceso licitatorio. ^{3A}

PROBLEMÁTICA



CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA

RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA

BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023



Actualmente no es seguro ni confiable el tránsito de embarcaciones marítimas en cualquier época del ciclo hidrológico anual, en razón a los depósitos sedimentarios en el canal de acceso; con la consecuente reducción de profundidad y restricción del calado de las embarcaciones que acceden al puerto.

Baja el Índice de Confiabilidad del Puerto. (EL HERALDO, 2018)

Urgencias Manifiestas. (INVIAS, 2019)

Pagos a empresas Extranjeras.

Altos Costos Unitarios de Dragado. (CORMAGDALENA, 2019)

Costos de movilización y desmovilización. (CORMAGDALENA, 2018)

PROBLEMÁTICA



CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA

RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA

BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023



Intervenciones por Urgencia Manifiesta al Canal de Acceso al Puerto de Barranquilla:

- 2018/07: > **150,000 m³**, Draga belga “Uilenspiegel”.
- 2018/10: > **170,000 m³**.
- 2019/01: Aprox. **200.000 m³**, Draga holandesa “De Bougainville”.
- 2019/04: **215,000 m³** Por la draga Holandesa “Lelystad”.
- 2019/07: Aprox. **226,895 m³** Por las dragas de la firma European Dredging Company “Francis Beaufort” y “Medway”, finalmente en proceso por la TSHD de Van Oord “Lelystad”.
- 2020/01: **740,000 m³** Por la draga China “HANG JUN 5001”
- 2020/12: **1.100.000 m³** Por la draga China “HANG JUN 5001”

Noticias (EL HERALDO, 2018 a 2021) y otras publicaciones

Las anteriores intervenciones sumaron poco menos de 3 millones de m³ en aprox. dos años.

PROBLEMÁTICA

Las campañas de dragado reactivo han tenido un costo estimado por metro cúbico de hasta **5.00 a 7.50 USD/m³**, según las campañas de dragado mencionadas anteriormente.

De acuerdo a un proceso licitatorio de febrero de 2019 se asignaron 50 Mil Millones de pesos para un contrato de Dragado de Mantenimiento por dos años (CORMAGDALENA, 2019), (EL HERALDO, 2019), para éste, se calcula un valor por metro cúbico de aprox. 25.000 Pesos (**7.5 USD/m³**, con la TRM de la época).

De acuerdo a (Bray, et al, 1997), (Bray, 2005) y (CORMAGDALENA, 2017) Ajustado a la fecha, El costo estándar unitario de Dragado (A nivel Local y Mundial con TSHD) esta entre **3.90 y 5.40 USD/m³**.



Foto: DIMAR, 2018



PIANC HARBOUR APPROACH CHANNELS DESIGN GUIDELINES



CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA

RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA

BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023



“Un canal de aproximación se define como cualquier tramo de vía fluvial que une un puerto y el mar abierto. Hay dos tipos principales:

- Un canal externo en aguas abiertas.
- Un canal interno que se encuentra en aguas relativamente abrigadas.”

ELEMENTOS QUE DEFINEN UN DISEÑO DE CANAL

- **GC.** Configuración geométrica de los espacios de agua y sobre el agua a partir de planos y secciones que definen todas las dimensiones.
- **AtoN.** Ayudas a la navegación.
- **Limits.** Condiciones limitantes marítimas y atmosféricas que permitirán el uso del canal y las áreas de navegación relacionadas en condiciones normales de operación.
- **Rqd.** Requisitos de pilotaje, escolta y remolque para ciertos tipos de embarcaciones”

(PIANC, 2014)



GESTIÓN ADMINISTRACIÓN METODOLOGÍA



PIANC (The World Association for Waterborne Transport Infrastructure) a partir del buque de diseño.

El sistema de mantenimiento considera:

- Inspección: mediante levantamientos batimétricos.
- Monitoreo: modelación numérico-computacional para predicción del comportamiento de la carga sedimentaria según la estación hidrológica anual.
- Acciones planificadas de intervención al canal mediante obras hidráulicas y/o dragados.

(PIANC, 2014)

GESTIÓN ADMINISTRACIÓN METODOLOGÍA



CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA

RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA

BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023



- MONITOREO.
- PROCESAMIENTO DE BASES DE DATOS.
- MODELACIÓN NUMÉRICA.
- MODELACIÓN A ESCALA.
- ALTERNATIVAS OBRAS HIDRÁULICAS.
- DISEÑO DE OBRAS HIDRÁULICAS / COSTOS.
- CONSTRUCCIÓN OBRAS HIDRÁULICAS.
- **EJECUCIÓN OBRAS HIDRÁULICAS.**
- MONITOREO / RETROALIMENTACIÓN.

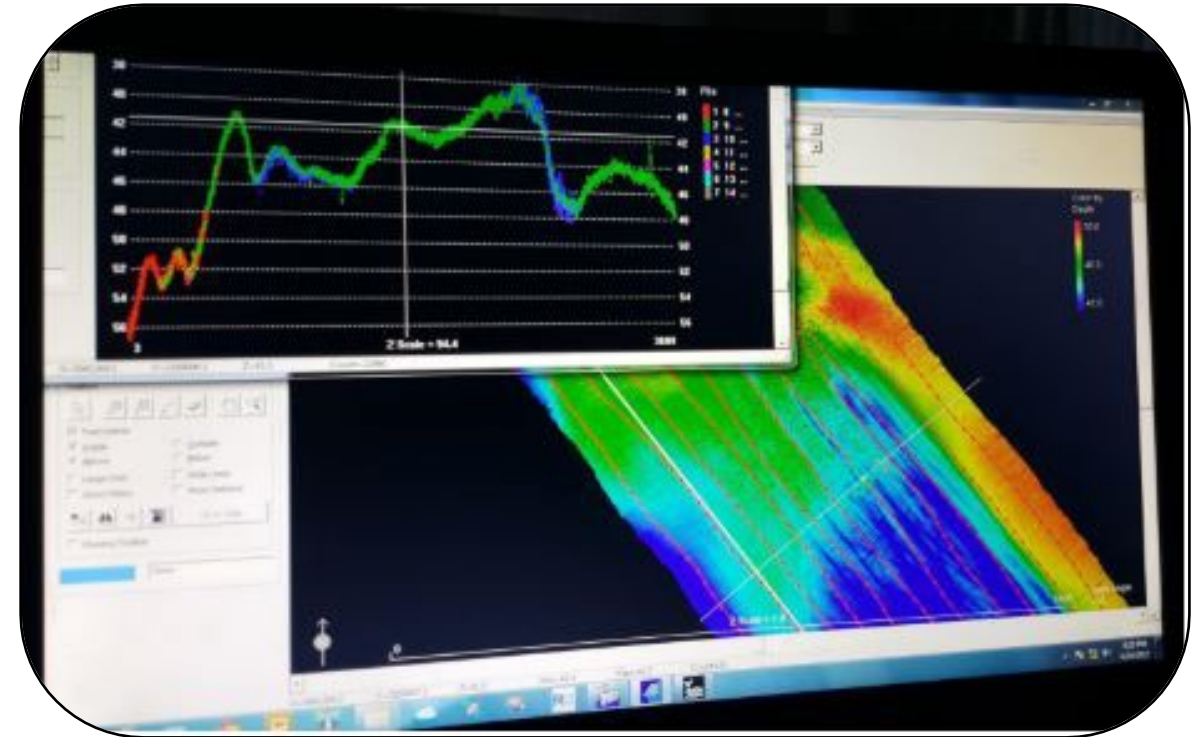


Imagen: Papciak, Chris (Eddy Pump Corporation, 2021)

GESTIÓN ADMINISTRACIÓN OBRAS HIDRÁULICAS



- CANALES. CAUCE FLUVIAL / CAUCE ARTIFICIAL.
- ENCAUSAMIENTO. DIQUES / ESPOLONES.
- PRESAS.
- ESCLUSAS.
- ESTABILIZACIÓN RIBERAS.
- PROTECCIÓN RIBERAS.
- TRAMPA SEDIMENTOS.
- **DRAGADO.**
- RELLENOS.
- PUERTOS. WATER FRONT.

GESTIÓN ADMINISTRACIÓN RECURSOS



CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA

RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA

BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023



- EQUIPO SISTEMA MONITOREO. NAVE / FIJA.
- HARDWARE & SOFTWARE.
- APLICACIONES COMPUTACIONALES.
- LABORATORIO DE ENSAYOS HIDRÁULICOS.
- PROFESIONALES ESPECIALIZADOS:
 - PLANIFICACIÓN.
 - CIVIL. ESTRUCTURAS. SUELOS.
 - HIDRÁULICA.
 - HIDROLOGÍA.
 - GEOLOGÍA.
 - AMBIENTE.
 - OCEANOGRAFÍA.
 - NAVAL.
 - NÁUTICA.

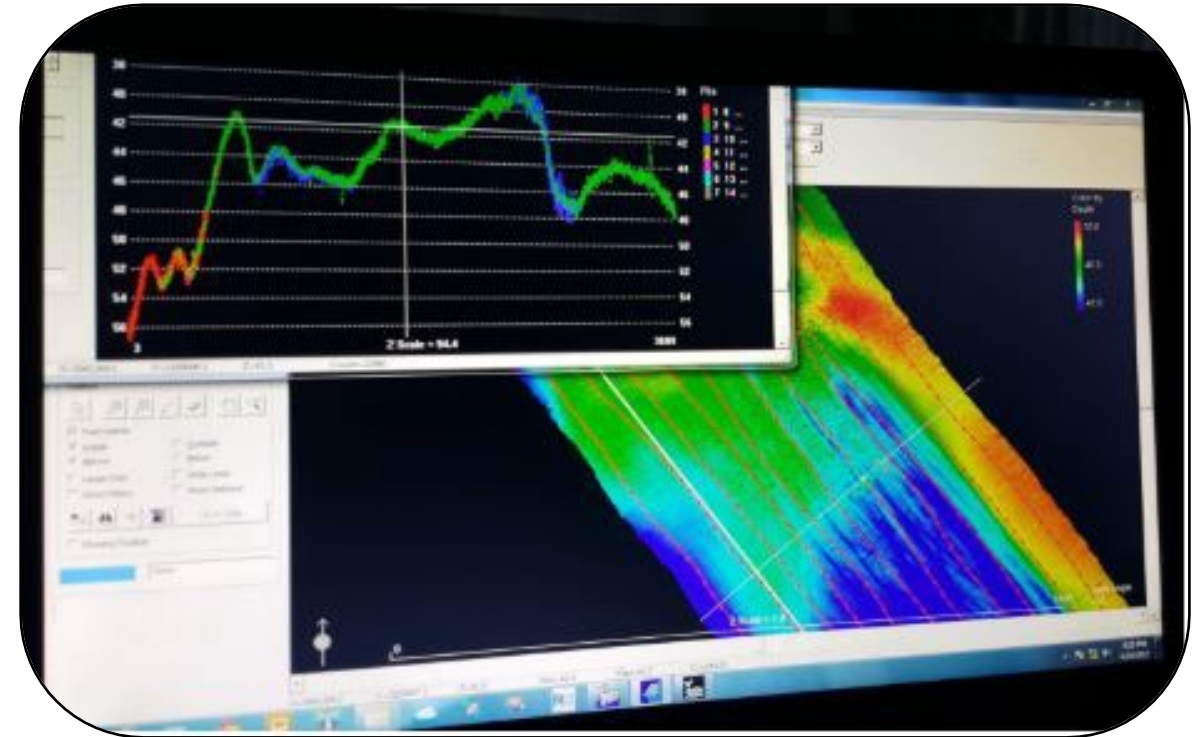


Imagen: Papciak, Chris (Eddy Pump Corporation, 2021)

DNP – P.M.D.M

REFERENCIA – OBSERVACIÓN A CIFRAS

VOLÚMENES DRAGADO SOBREDIMENSIONADOS

TOTALIDAD DRAGADOS MEZCLADOS:

- CANALES PÚBLICOS
- CANALES PRIVADOS

DIMENSIONAMIENTO DRAGA (TSHD)

- **5,000 m³** P.M.D.M. Draga sobredimensionada
- **3,500 m³** Draga razonable. Atiende demanda planificada canal público + privados



DRAGA PROPIA



CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA

RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA



BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023



TSHD Draga Colombia (1967)

Capacidad: 765 m³

1 Brazo, Tubería 600 mm

TSHD La Arenosa (2004)

Capacidad: 4,600 m³

2 Brazos, Tubería 900 mm



TSHD Virgen del Rocío (2008)

Capacidad: 1,000 m³

1 Brazo, Tubería 750 mm



DRAGA PROPIA

Dimensionamiento



CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA

RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA

BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023



Este equipo debe contar, según estudios realizados por la Universidad del Norte y Universidad Tecnológica de Bolívar, con una capacidad de tolva de 1.800 a 2.000 m³ (Mercado M., 2019).

GENERALIDADES

Velocidad en Plena Carga (v_L):	4.63 m/s	9.0 knots	(Dato Conservador)
Velocidad en Navegación Libre (v_F):	6.69 m/s	13.0 knots	(Dato Conservador)
Distancia promedio hasta Botadero (d_{mb}):	25.0 km	13.50 nm	
Días de trabajo, Lun-Sáb x 24 h (t_{dts}):	6.00 d/sem	144.0 h/sem	
Ventana de Mantenimiento Prev. (t_{sMtto}):	7.00 sem		(Dato Conservador)
Detenciones por clima (t_{sClima}):	3.00 sem		(Dato Conservador)
Descanso anual navidad tripulación (t_{sDesc}):	1.71 sem		
Factor de disponibilidad (F_{Disp}):	90%		(Dato Conservador)

VOLUMEN A DRAGAR POR AÑO

Vol. Dragado Mtto Canal Público	2,000,000 m ³
Vol. Dragado Mtto Canal Privado	1,000,000 m ³
Volumen estimado dragado anual (V_D).	<u>3,000,000 m³</u>

DRAGA PROPIA

Dimensionamiento



CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA

RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA



BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023

ESTIMATIVO TIEMPO CICLO DE DRAGADO

Cargue, proceso de dragado (t_{hLoad}):	2.00 h	120.0 min
Navegación Cargada hasta Botadero (t_{hNLoad}):	1.50 h	90.0 min
Descargue, en sitio Botadero ($t_{hUnload}$):	0.20 h	12.0 min
Navegación libre hasta área Dragado (t_{hNFree}):	1.04 h	62.3 min
Tiempo Ciclo Dragado (t_{hCiclo}):	4.74 h	
Porcentaje de tiempos muertos :	10%	
Factor de Tiempos muertos (F_{tm}) :	1.10	
Tiempos Muertos (t_{hLose}):	0.47 h	28.4 min
Tiempos Total Ciclo Dragado Real ($t_{hCicloReal}$):	5.21 h	

CAPACIDAD REQUERIDA

Semanas disponibles por año (t_{sda}):	40.5
Horas disponibles por año (t_{hda}):	5,826.9 h
Horas efectivas operación al año (t_{hea}):	5,244.2 h
Número de Ciclos por año ($nc = t_{hea}/t_{hCR}$) :	1,006.2 Ciclos de dragado
Volumen Ideal requerido por ciclo (V_D/nc) :	2,891.6 m ³
Factor de Acomodación Material (F_{Acom}) :	90%

DRAGA PROPIA

Dimensionamiento



CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA

RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA

BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023



Metodología basada en W. J. Vlasblom, Delft University of Technology (Vlasblom, W. 2006). Adaptada y reorganizada a criterio del autor:

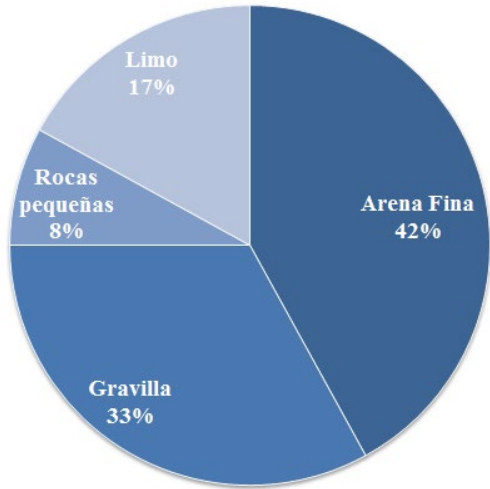
$$V_{HReq} = V_D \cdot Fact \cdot R_{Tiempos}$$
$$= V_D \cdot \frac{F_{tm}}{24 F_{Acom} F_{Disp}} \cdot \frac{t_{hLoad} + t_{hUnload} + d_{mb} \left(\frac{v_L + v_F}{v_L v_F} \right)}{t_{dts} (52 - t_{sDesc} - t_{sMtto} - t_{sClima})}$$



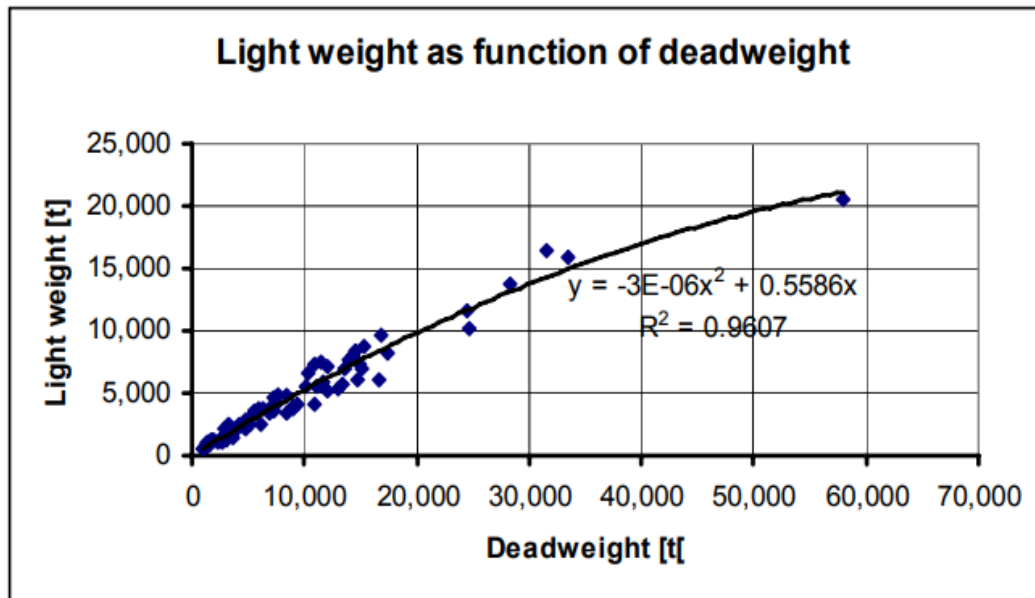
Volumen requerido en Tolva (V_{HReq}): 3,312.9 m³ → **3,500 m³**.

DRAGA PROPIA

Dimensionamiento



(Vlasbom, 2003)



CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA

RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA

BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023



PAYLOAD

Densidad Media Material en Tolva :

1.62 Ton/m³ Datos (ARIDS, 2017)

PayLoad :

5,094 Ton

Densidad resultante en Tolva :

1.46 Ton/m³

PESO MUERTO (DWT)

Estimativo: Crew, Consumibles, Lastre:

8% del Payload

→ 407 Ton

DWT :

5.501 Ton

PESO EN LIGHT SHIP (WLS) :

2,982 Ton

Según Gráfica

DESPLAZAMIENTO (Δ) :

8,483 Ton

Densidad Agua mar :

1.03 Ton/m³

Volumen Desplazado (∇) :

8,276 m³

Peso específico (de Carga) :

0.54

DRAGA PROPIA

Dimensionamiento



CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA

RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA

BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023



GENERALIDADES

Relaciones Dimensionales :

$$L / B = R_{LB} = 5.20$$

$$B / T = R_{BT} = 2.70$$

Coeficiente de Bloque (C_b) : 0.85

$$1.025 * L * B * T * C_b = \Delta$$

$$B^3 = \frac{R_{BT} \Delta}{1,025 R_{LB} C_b}$$

Eslora (L) : 88.5 m → 88.0 m

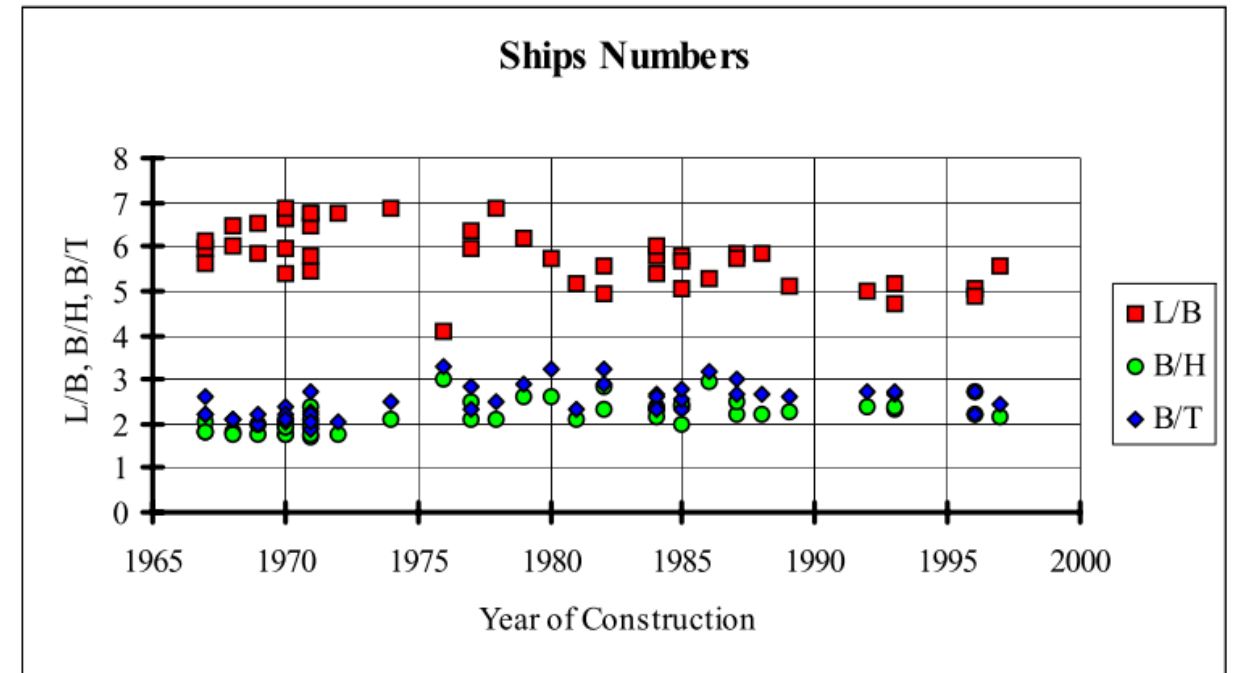
Manga (B) : 17,0 m → 17.0 m

Calado max (T) : 6.3 m → 6.3 m

Puntal Resultante (D_{Calc}) = 5.67 m 5.70 m

Calado Light Ship Resultante (d_{LS}) = 1.83 m

(Vlasbom, 2006)



DRAGA PROPIA

Dimensionamiento



CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA

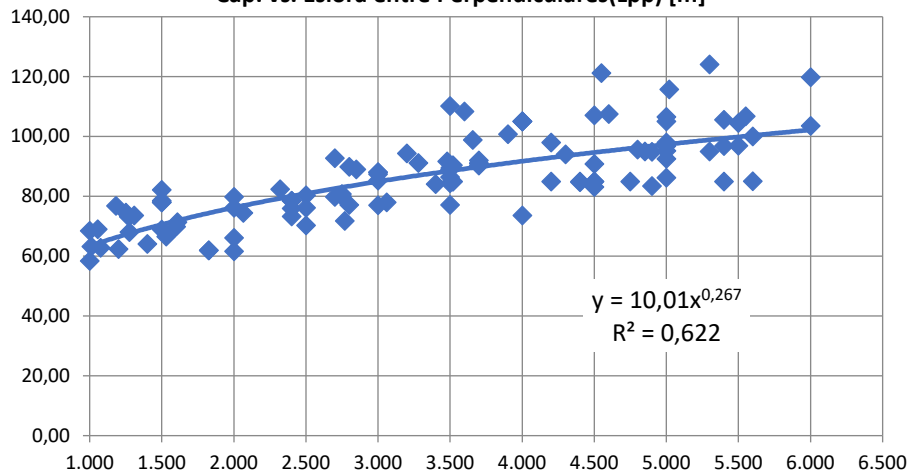
RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA



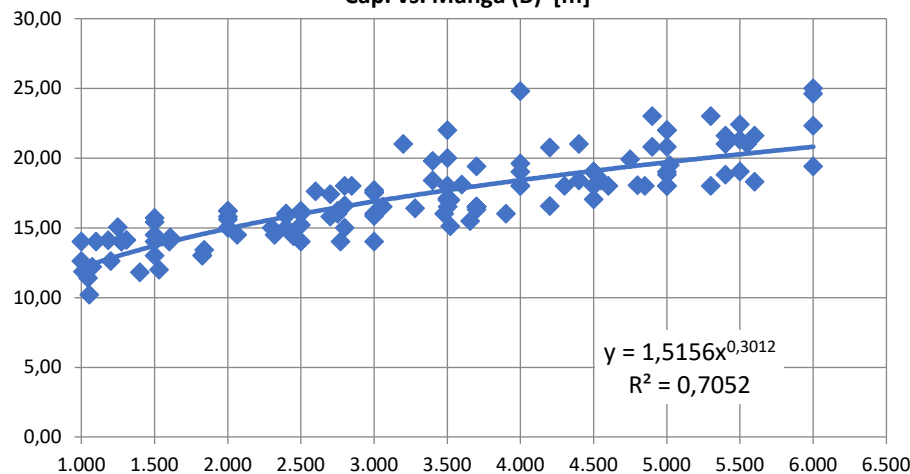
BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023

BASE DE DATOS:
MÁS DE 150 TSHD's
OPERANDO EN EL
MUNDO

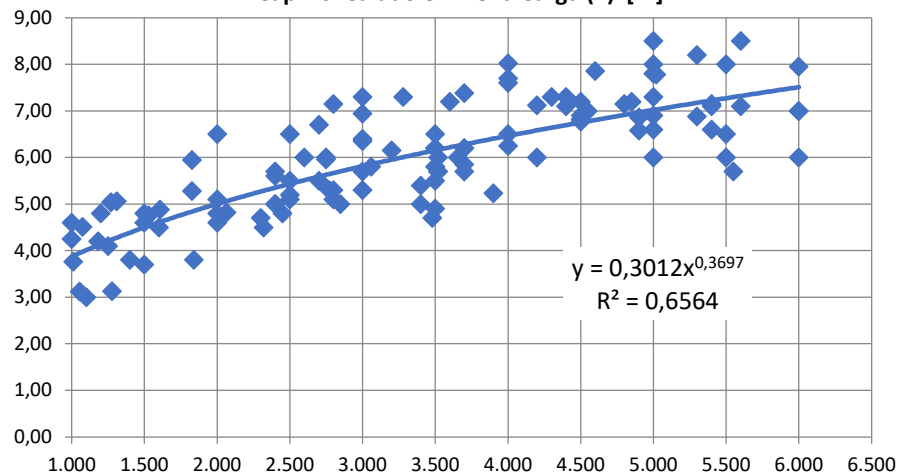
Cap. vs. Eslora entre Perpendiculares (Lpp) [m]



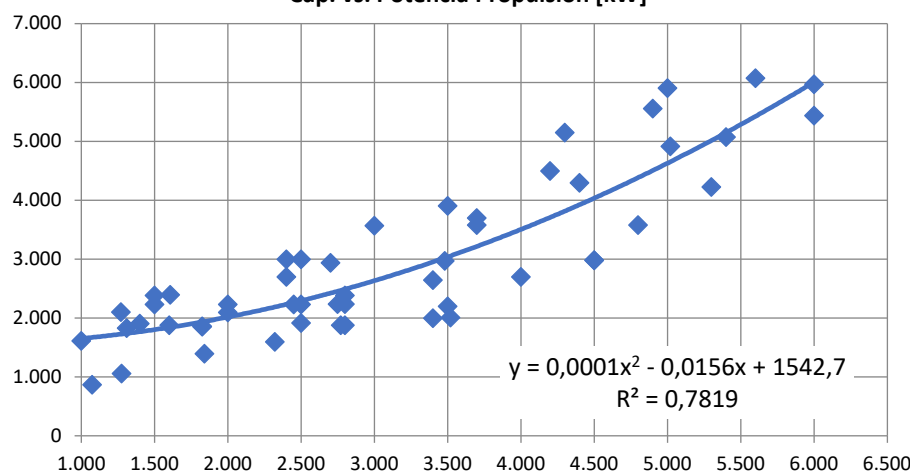
Cap. vs. Manga (B) [m]



Cap. vs. Calado en Plena Carga (T) [m]



Cap. vs. Potencia Propulsión [kW]



DRAGA PROPIA

Dimensionamiento

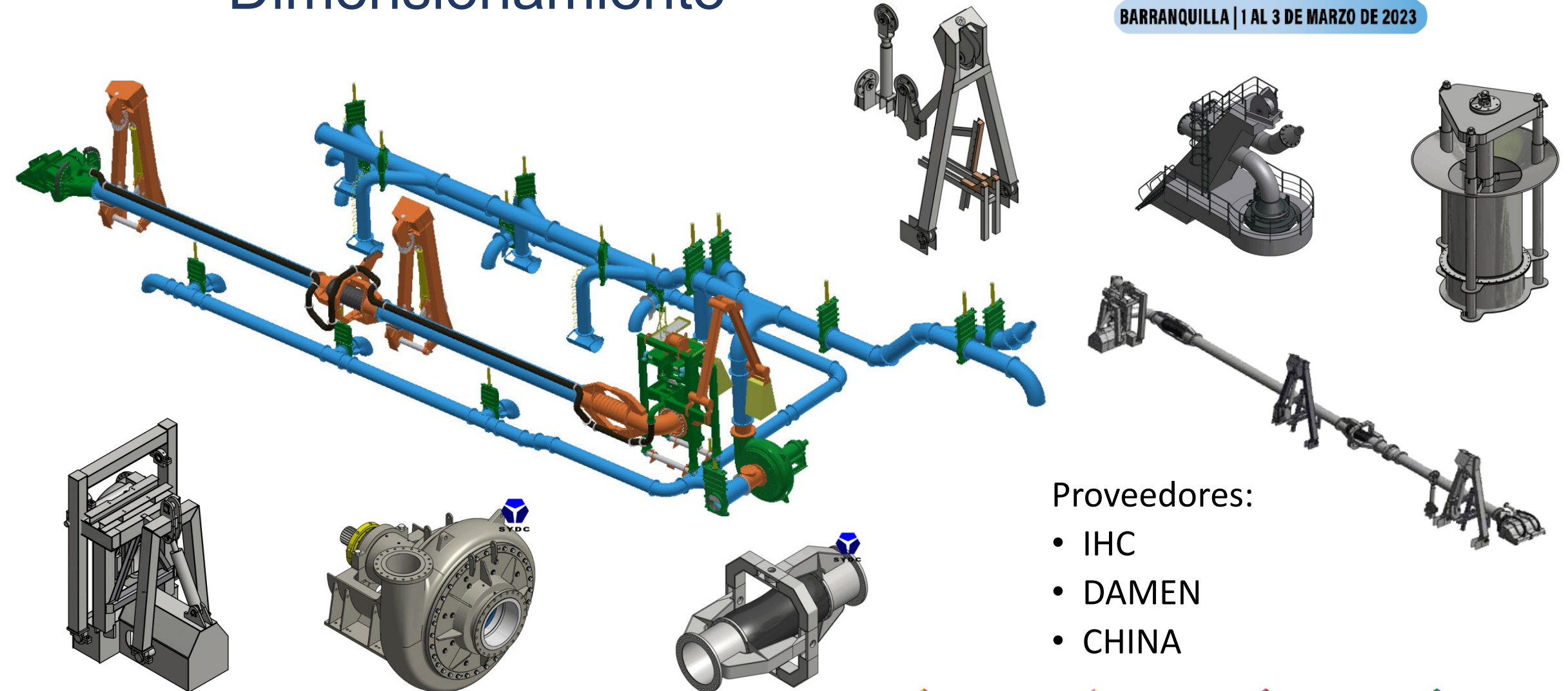


CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA

RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA



BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023



Proveedores:

- IHC
- DAMEN
- CHINA

DRAGA PROPIA

Diseño Conceptual

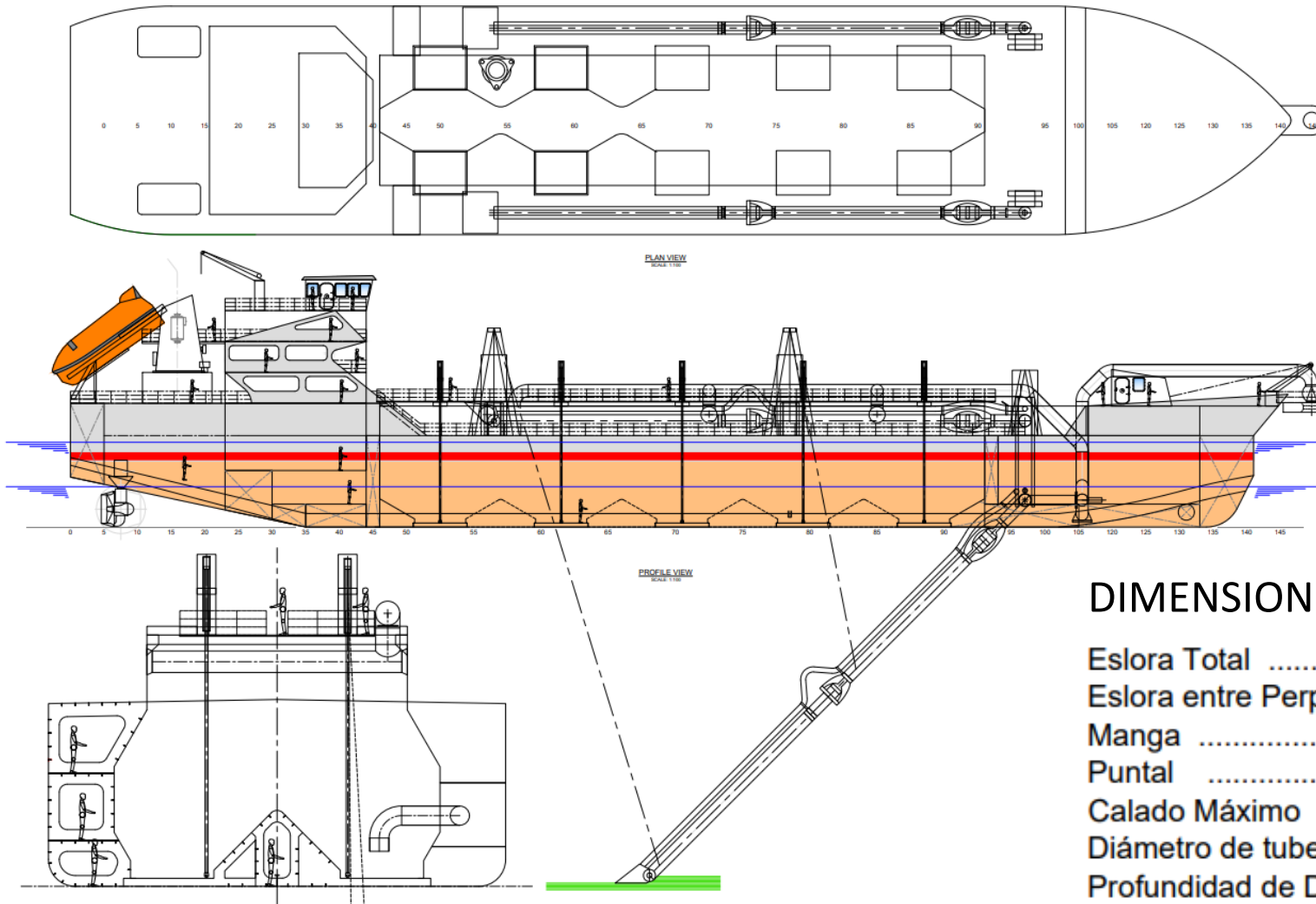


CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA

RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA



BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023



DIMENSIONES Y CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES:

Eslora Total	90,0 m
Eslora entre Perpendiculares	85,3 m
Manga	17,0 m
Puntal	6,8 m
Calado Máximo	6,3 m
Diámetro de tubería de succión	800 mm
Profundidad de Dragado (a 45°)	30,0 m
Capacidad Nominal en Tolva	3.500 m ³



CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA

RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA

BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Veedurías Ciudadanas a Procesos.
- Sistema de Gestión del Mantenimiento (SNT).
- Necesidad de recurso humano para atender problemática.
- Draga(s) propia(s) dimensionada(s) para atender otras necesidades nacionales.

Referencias bibliográficas



BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023

- ADENAVI & NEDECO. (1973). *Proyecto Estudio Río Magdalena y El Canal del Dique*. Barranquilla: MITCH.
- Bray R.N., Bates, A.D, and Land, J.M., (1997) “Dredging, a handbook for engineers”, Second edition, John Wiley and Sons Chapter 10, pp 297-312.
- Bray, R. N. (2005) “Cost Standards for Dredging Equipment” CIRIA C655 London 2006 www.ciria.org www.iadc-dredging.com
- CORMAGDALENA. (2021). Consultado julio de 2021, www.cormagdalena.gov.co/
- EL HERALDO. (2018 a 2022). www.elheraldo.co
- Google, Earth Pro. (2021). Digital Globe Landsat. U.S.A. Google LLC.
- MINTRANSPORTE. (2022). De: www.mintransporte.gov.co.
- Mercado, M. (2019). *Diseño de un Sistema de Mantenimiento para el Canal de Acceso al Puerto de Barranquilla*. Universidad Tecnológica de Bolívar, Bolívar. Cartagena: UTB.
- PIANC. (2014). *Harbour Approach Channels Design Guidelines*. PIANC REPORT N° 121. ISBN: 978-2-87223-210-9. www.pianc.org
- Superintendencia de Puertos y Transporte. (2019). *Trafico Portuario Marítimo En Colombia 2016 a diciembre 2018*. Recopilado de: www.datos.gov.co/Transporte/
- Vlasblom, W. (2003). *Designing Dredging Equipment (Vol. I)*. U.S.A.
- Vlasblom, W. J. (2006). *Designing Dredging Equipment*. En W. J. Vlasblom. Delft.