Colombia mar2019

VI CONGRESO INTERNACIONAL DE DISEÑO E INGENIERÍA NAVAL

COPINAVAL
CARTAGENA DE INDIAS · COLOMBIA

XXVI CONGRESO PANAMERICANO DE INGENIERÍA NAVAL, TRANSPORTE MARÍTIMO E INGENIERÍA PORTUARIA

Organizan:

COTECMAR

ESCUELA NAVAL ALMIRANTE PADILLA

ARMADA DE COLOMBIA

INSTITUTO PANAMERICANO DE INGENIERÍA NAVAL

Virtual laboratory with Algodoo for the determination of the metacentric height of a rectangular vessel

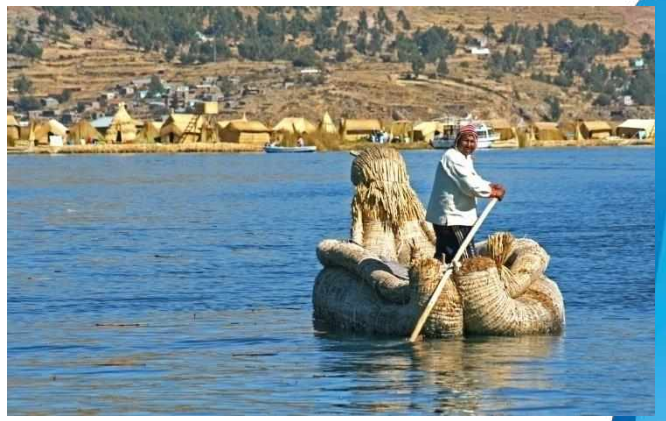
Laboratorio virtual con Algodoo para la determinación
de la altura metacéntrica de una embarcación rectangular

POR :

Lic. Roberto Augusto Del Carpio Minaya

email: rdelcarpio1969@hotmail.com

Universidad Nacional del Altiplano Puno Perú
Programa de Doctorado en Computación
2019



MOVIMIENTO DEL FLUIDO

A. Ecuaciones de Navier-Stokes

$$\frac{D\vec{v}}{Dt} = \underbrace{-\frac{1}{\rho}\nabla P}_{\text{Gradiente de presión}} + \underbrace{\mu\nabla^2\vec{v}}_{\text{Laplaciano de velocidad}} + \underbrace{\vec{g}}_{\text{Aceleración de la gravedad}}$$

B. Versión simplificada de las ecuaciones de Navier-Stokes

$$\rho\vec{a} = \vec{f}^{presión} + \vec{f}^{viscosidad} + \underbrace{\vec{f}^{externa}}_{\boxed{\vec{f}^{gravitacional} + \vec{f}^{colision}}}$$

* *Solenthaler et al (2007)*

C. Hidrodinámica Suavizada de Partículas (SPH)

El método SPH utiliza sumas interpolantes para aproximar diversas cantidades físicas.

$$\rho_{(\vec{r}_i)} = \sum_j m_j W_{(\vec{r}_i - \vec{r}_j, h)}$$

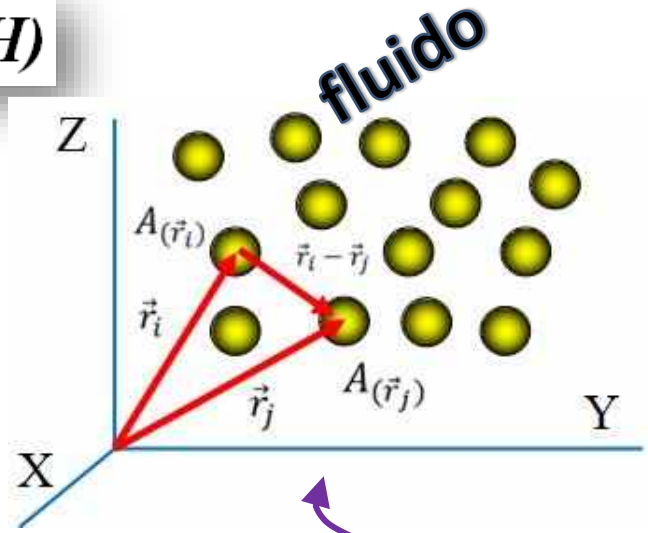
** Solenthaler et al (2007)*

$$\vec{f}_i^{\text{presión}} = -\sum_j m_j \left(\frac{P_i}{\rho_i^2} + \frac{P_j}{\rho_j^2} \right) \nabla_i W_{(\vec{r}_i - \vec{r}_j, h)}$$

** Morris et al (1997)*

$$\vec{f}_i^{\text{viscosidad}} = \mu \sum_j m_j \frac{\vec{v}_j - \vec{v}_i}{\rho_j} \nabla^2 W_{(\vec{r}_i - \vec{r}_j, h)}$$

** Müller et al (2003)*

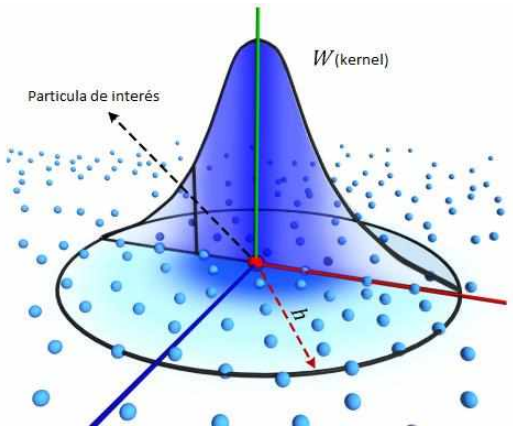


(Propiedades físicas)

* Densidad
* Presión
* Velocidad

KERNELS = Funciones de suavizado con radio de acción "h"

Esta función Kernel interpola los valores de cualquier propiedad del fluido en función de los valores de las partículas vecinas. Se anula para puntos lejanos.



$$W_{default(\vec{r}_i-\vec{r}_j,h)} = \frac{315}{64\pi h^9}\begin{cases}\left(h^2-\|\vec{r}_i-\vec{r}_j\|^2\right)^3, & 0 \le \|\vec{r}_i-\vec{r}_j\| \le h \\ 0, & \|\vec{r}_i-\vec{r}_j\| > h\end{cases}$$

$$\nabla W_{pressure(\vec{r}_i-\vec{r}_j,h)} = -\frac{45}{\pi h^6}\begin{cases}\frac{(\vec{r}_i-\vec{r}_j)}{\|\vec{r}_i-\vec{r}_j\|}\left(h-\|\vec{r}_i-\vec{r}_j\|\right)^2, & 0 \le \|\vec{r}_i-\vec{r}_j\| \le h \\ 0, & \|\vec{r}_i-\vec{r}_j\| > h\end{cases}$$

$$\nabla^2 W_{viscosity(\vec{r}_i-\vec{r}_j,h)} = \frac{45}{\pi h^6}\begin{cases}\frac{(\vec{r}_i-\vec{r}_j)}{\|\vec{r}_i-\vec{r}_j\|}\left(h-\|\vec{r}_i-\vec{r}_j\|\right), & 0 \le \|\vec{r}_i-\vec{r}_j\| \le h \\ 0, & \|\vec{r}_i-\vec{r}_j\| > h\end{cases}$$

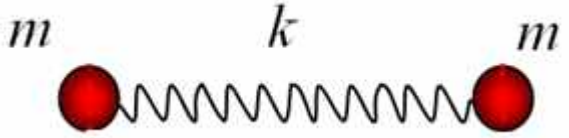
** Kelager (2006)*

FUERZAS EN EL RECIPIENTE

D. Fuerzas de colisión

$$\vec{f}^{spring} = -k\left(d - \|\vec{r}_i - \vec{r}_j\|\right)\frac{(\vec{r}_i - \vec{r}_j)}{\|\vec{r}_i - \vec{r}_j\|}$$

$$\vec{f}^{damping} = \eta\left(\vec{v}_j - \vec{v}_i\right)$$



* *Harada (2007)*

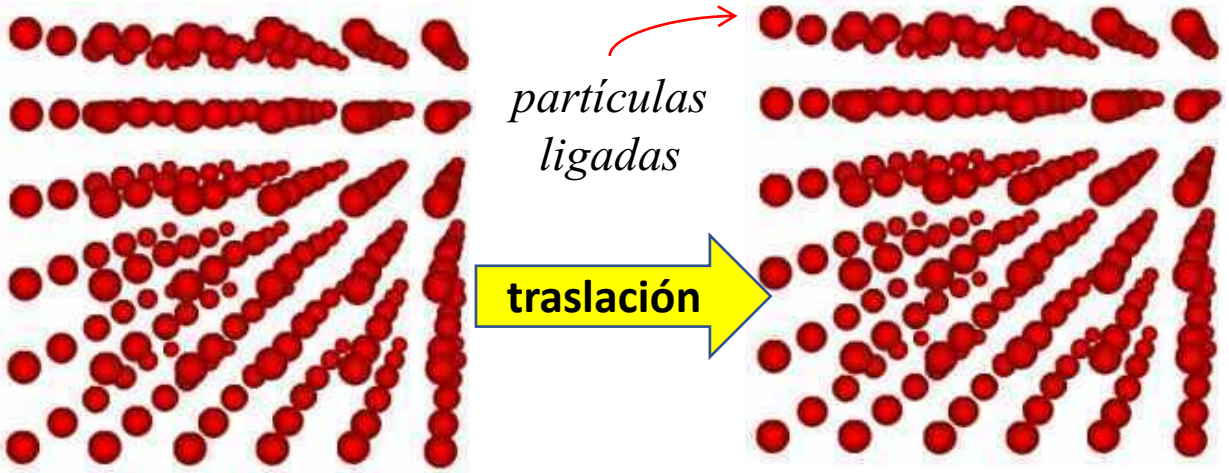
MOVIMIENTO DEL CUERPO RIGIDO

E. Movimiento del Cuerpo Rígido

$$\vec{F}_{rigido} = \sum_k \vec{f}_k^{total}$$

$$\vec{a}_{cm} = \frac{\vec{F}_{rigido}}{M}$$

* *Baraff (1997)*



Ecuaciones para la rotación

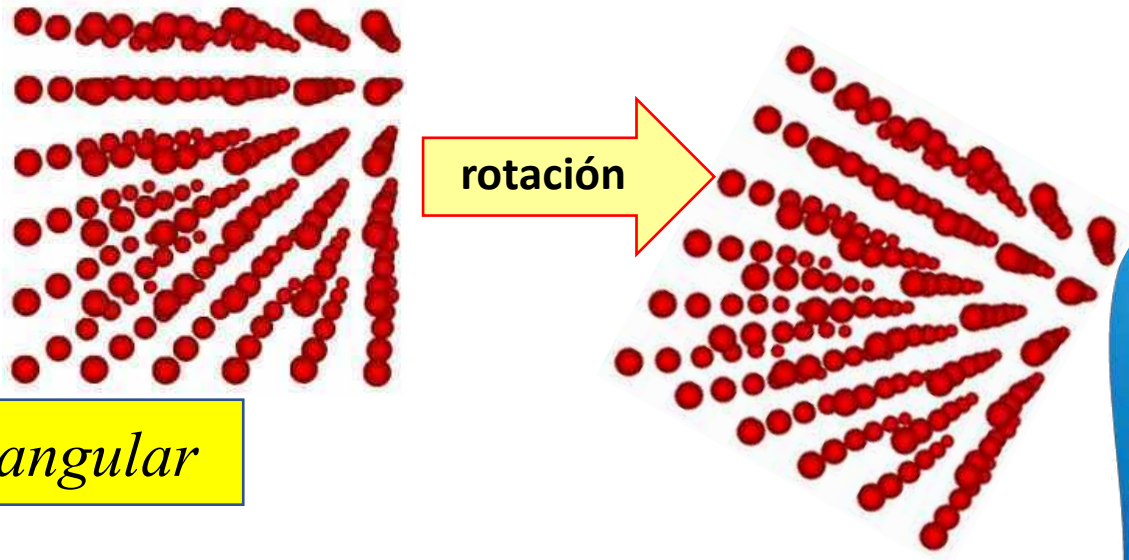
$$\vec{\tau}_{rigido} = \sum_k (\vec{r}_k - \vec{r}_{cm}) \times \vec{f}_k^{total}$$

torca

$$\vec{L}_{rigido} = \sum_k m_k (\vec{r}_k - \vec{r}_{cm}) \times (\vec{v}_k - \vec{v}_{cm})$$

momento lineal

$$\vec{L}_{rigido} = I\vec{\omega}$$



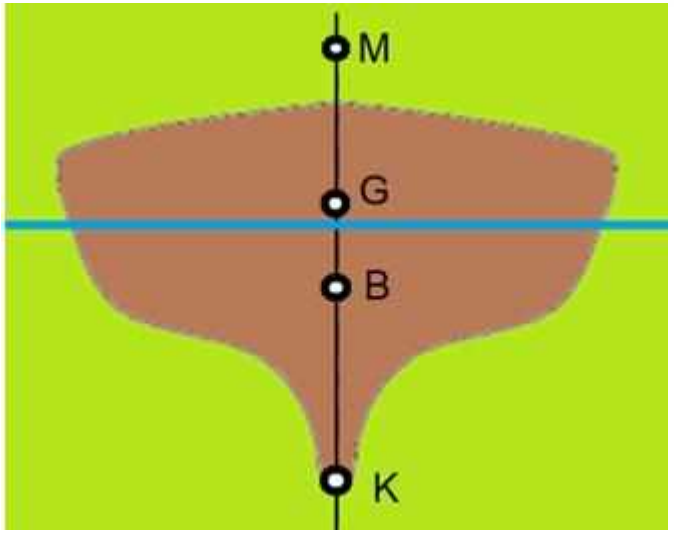
$$\vec{\omega} = \boldsymbol{I}^{-1}\vec{L}_{rigido}$$

Velocidad angular

$$\boldsymbol{I}^{-1} = \boldsymbol{R}\boldsymbol{I}_0^{-1}\boldsymbol{R}^T$$

tensor de inercia

F. Estabilidad y flotabilidad de buques



Puntos principales de referencia

la quilla (K)

la gravedad (G)

el centro de boyantes (B)

el metacentro (M)

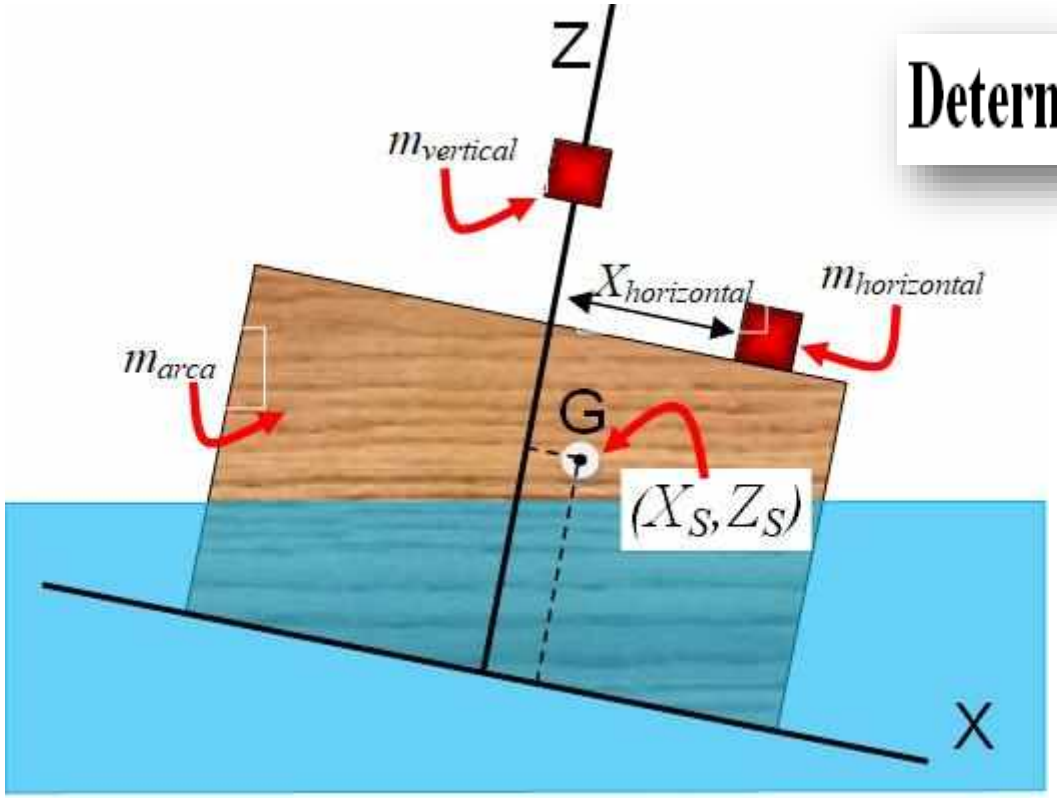
$$GM = KM - KG$$

- Altura del centro de gravedad (KG)
- Altura metacéntrica (GM)
- Radio metacéntrico (BM)

Equilibrio del buque

- *Equilibrio estable o estabilidad positiva:* KM > KG ó GM > 0
- *Equilibrio indiferente o estabilidad nula:* KM = KG ó GM = 0
- *Equilibrio inestable o estabilidad negativa:* KM < KG ó GM < 0

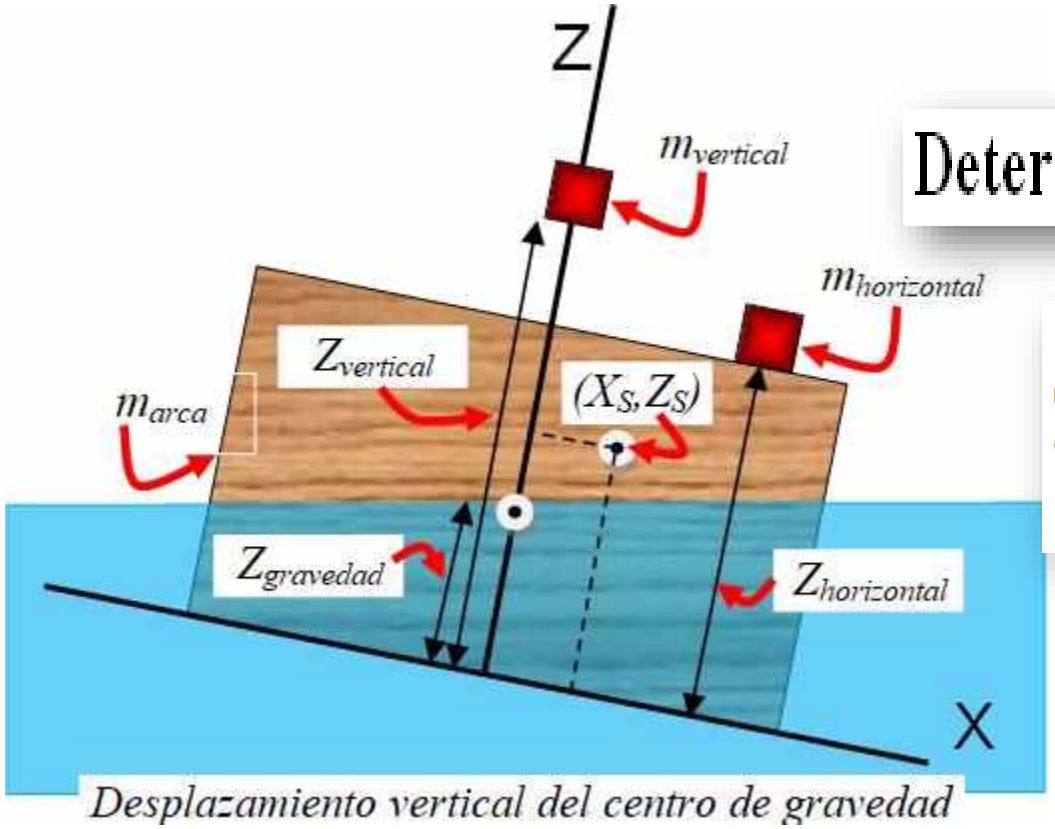
IMPLEMENTACION DE LA EMBARCACIÓN RECTANGULAR



Desplazamiento horizontal del centro de gravedad

Determinación de la variación del centro de gravedad horizontal

$$X_s = \frac{m_{horizontal} X_{horizontal}}{m_{arca} + m_{horizontal} + m_{vertical}}$$



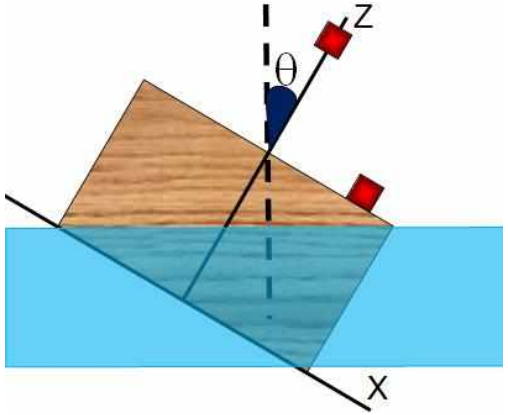
Desplazamiento vertical del centro de gravedad

Determinación de la variación del centro de gravedad vertical

$$Z_s = \frac{m_{arca} Z_{gravedad} + m_{horizontal} Z_{horizontal} + m_{vertical} Z_{vertical}}{m_{arca} + m_{horizontal} + m_{vertical}}$$

Medición del ángulo de escora

Al inclinarse la embarcación por distintas posiciones de las masas deslizables, puede medirse sucesivamente el ángulo θ de escora formado por la vertical y el eje Z



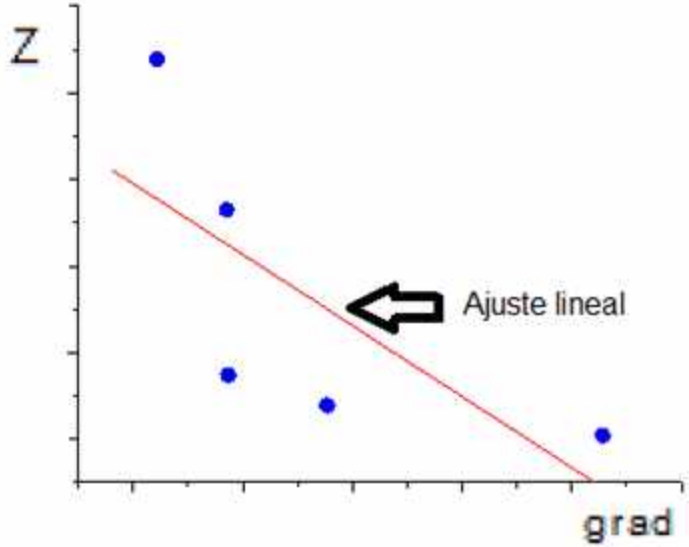
Determinación del gradiente de estabilidad

$$grad = \frac{dX_S}{d\theta} \equiv \frac{X_S}{\theta}$$

Determinación del metacentro de estabilidad transversal

$X_h = X_{h1}$					$X_s = X_{s1}$
Z_v	Z_{v1}	Z_{v2}	…	…	Z_{v5}
θ	θ_1	θ_2	…	…	θ_5
Z_s	Z_{s1}	Z_{s2}	…	…	Z_{s15}
$grad$	$grad_1$	$grad_2$	…	…	$grad_5$

Modelo de tabla a usar en los experimentos



Modelo de dispersión y ajuste lineal de datos

$$Z = A - B \cdot grad$$

$$KM = A$$

$$\boxed{GM = KM - KG}$$

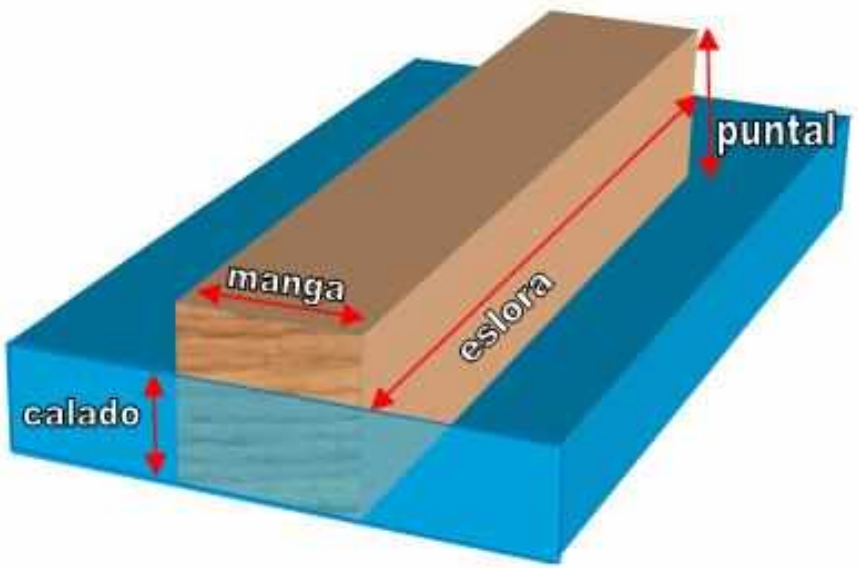
GM>0 (embarcación con equilibrio estable)

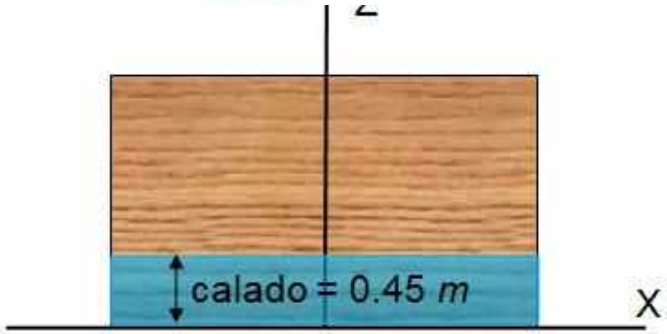
GM=0 (embarcación con equilibrio neutral)

GM<0 (embarcación con equilibrio inestable)

Datos de la embarcación

Descripción	Sím-bolo	Dato
Manga	D	2.22 *m*
Puntal	P	1.30 *m*
Eslora	L	13.40 *m*
Área de sección transversal	A	2.886 m^2
Masa del área transversal	m_a	1.00 *kg*
Densidad del agua	ρ_w	1.0000 kg/m^2
Densidad de la embarcación	ρ_a	0.3465 kg/m^2
Centro de gravedad vertical	Zg	0.65 *m*
Centro de gravedad horizontal	Xg	0.00 *m*
Masa deslizante horizontal	m_h	0.05 *kg*
Masa deslizante vertical	m_v	0.10 *kg*
Posición horizontal de m_h	X_h	0.20 *m*;0.30 *m*; …
Posición vertical de m_h	Z_h	1.30 *m*
Posición horizontal de m_v	X_v	0.00 *m*
Posición vertical de m_v	Z_v	1.50 *m*;1.70 *m*; …



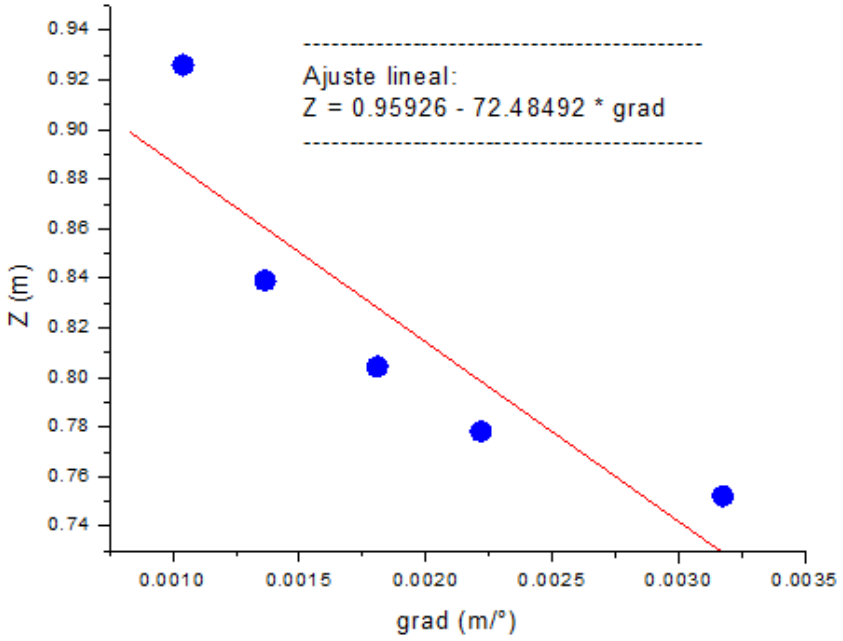


Laboratorio virtual con Algodoo

Algodoo es un software simulador 2D de física para fines educativos. Este software incluye herramientas de programa los cuales pueden crear polígonos, cortadora, pincel, engranaje, fijador, rotador, puntero láser, etc. También posee características que permiten controlar y modificar la velocidad, fuerzas, densidad, colisión, presión, flotabilidad, refracción y otros para lograr simular situaciones complejas. En el caso que nos interesa Algodoo permite realizar simulaciones de fluidos muy reales utilizando el método SPH en su código.

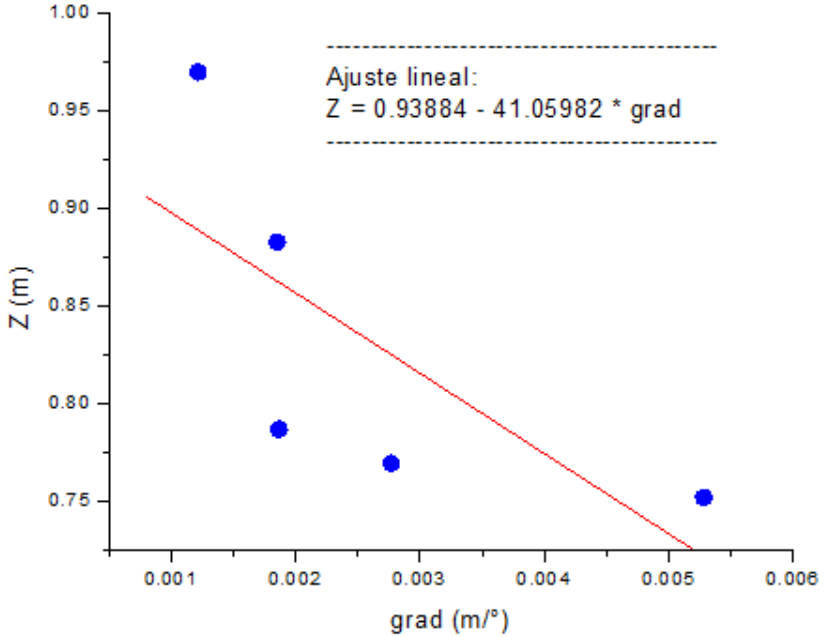
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

$X_h = 0.20\ m$				$X_s = 0.008695652\ m$	
$Z_v\ (m)$	1.50	1.80	2.10	2.50	3.50
α	2.74°	3.92°	4.81°	6.37°	8.35°
$Z_s\ (m)$	0.752173913	0.778260870	0.804347826	0.839130435	0.926086957
$grad$	0.003173596	0.002218279	0.001807828	0.001365095	0.001041395



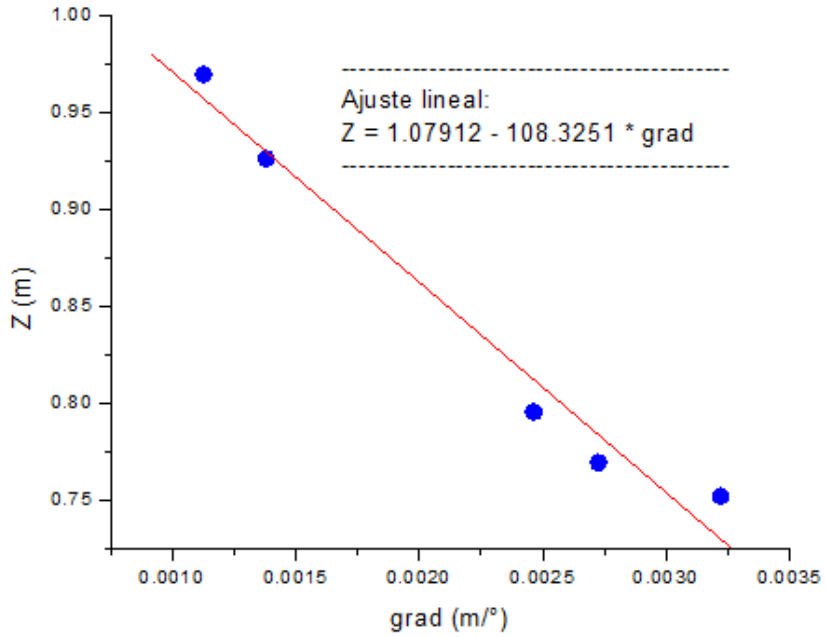
$$KM = 0.95926$$

$X_h = 0.30\ m$				$X_s = 0.013043478\ m$	
$Z_v\ (m)$	1.50	1.70	1.90	3.00	4.00
α	2.47°	4.71°	6.98°	7.04°	10.71°
$Z_s\ (m)$	0.752173913	0.769565217	0.786956522	0.882608696	0.969565217
$grad$	0.005280760	0.002769316	0.001868693	0.001852767	0.001217878



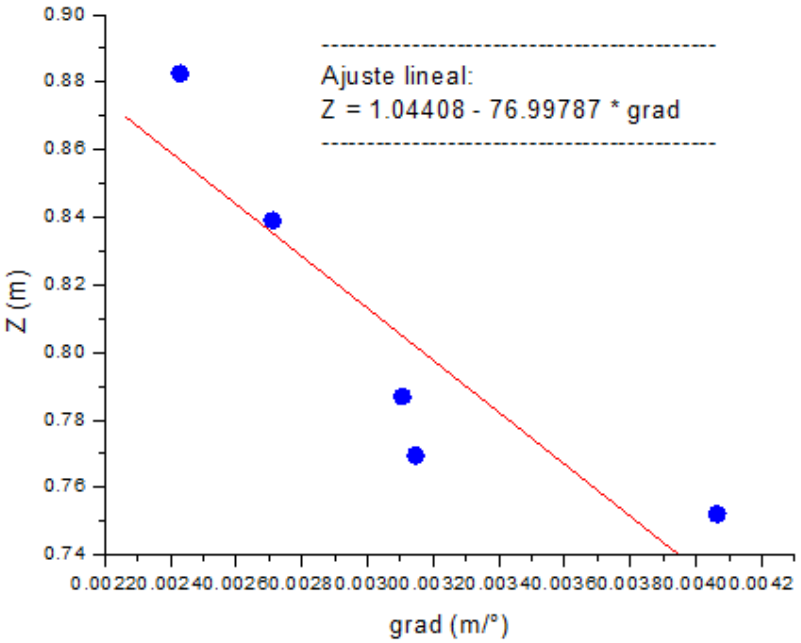
$$KM = 0.93884$$

$X_h = 0.40\ m$				$X_s = 0.017391304\ m$	
$Z_v\ (m)$	1.50	1.70	2.00	3.50	4.00
α	5.40°	6.38°	7.06°	12.60°	15.44°
$Z_s\ (m)$	0.752173913	0.769565217	0.795652174	0.926086957	0.969565217
$grad$	0.003220612	0.002725910	0.002463358	0.001380262	0.001126380



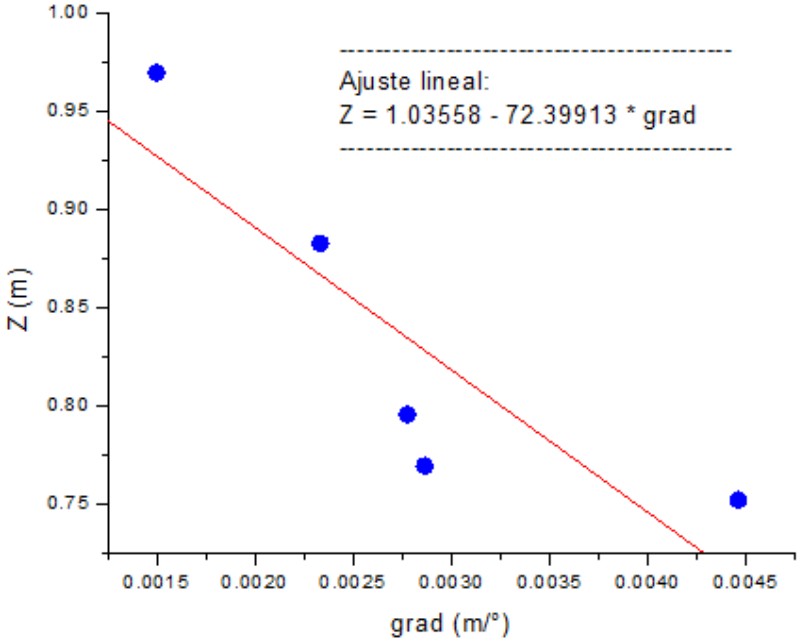
$$KM = 1.07912$$

$X_h = 0.50\ m$				$X_s = 0.02173913\ m$	
$Z_v\ (m)$	1.50	1.70	1.90	2.50	3.00
α	5.35°	6.91°	7.00°	8.02°	8.95°
$Z_s\ (m)$	0.752173913	0.769565217	0.786956522	0.839130435	0.882608696
grad	0.004063389	0.003146039	0.003105590	0.002710615	0.002428953



$$KM = 1.04408$$

$X_h = 0.60\ m$				$X_s = 0.026086957\ m$	
$Z_v\ (m)$	1.50	1.70	2.00	3.00	4.00
α	5.85°	9.11°	9.40°	11.19°	17.41°
$Z_s\ (m)$	0.752173913	0.769565217	0.795652174	0.882608696	0.969565217
grad	0.004459309	0.002863552	0.002775208	0.002331274	0.001498389



$$KM = 1.03558$$

X_h (m)	KM (m)
0.20	0.95926
0.30	0.93884
0.40	1.07912
0.50	1.04408
0.60	1.03558

$$\langle KM \rangle = 1.011\ m$$

Metacentro promedio

$$KG = 0.65\ m$$

Centro de gravedad

$$GM = KM - KG = 1.011 - 0.65 = 0.361\ m$$

$$GM = +\ 0.361\ m$$

Altura metacéntrica

Como GM > 0 entonces la embarcación es estable

CONCLUSIONES

- Se logró implementar un laboratorio virtual para el estudio de fluido y objeto flotando sobre él con ayuda del software Algodoo, el cual permite utilizar en sus herramientas el método de Hidrodinámica Suavizada de Partículas para la simulación del fluido.
- Se logró hacer flotar una embarcación rectangular sobre dicho fluido, manipulando sus propiedades físicas como densidad y sus medidas geométricas. Con dicho laboratorio virtual se puedo realizar pruebas experimentales para la determinación de la estabilidad de una embarcación rectangular.

- Al realizar los cálculos para la altura metacéntrica experimental (GM), se obtuvo para el modelo una altura de +0.361 m, y como las embarcaciones estables deben tener un GM>0, entonces concluimos que el modelo estudiado es estable.
- Es posible realizar experimentos en un ambiente controlado virtual para la determinación de la flotabilidad y estabilidad de embarcaciones rectangulares.
- La presente investigación muestra que es posible continuar con los experimentos y realizar un análisis de la estabilidad y flotabilidad de embarcaciones con formas más complejas.

REFERENCIAS

BARAFF D.: An Introduction to Physically Based Modeling: Rigid Body Simulation 1 - Unconstrained Rigid Body Dynamics. SIGGRAPH Course Notes, 1997.

BORIS L. GUERRERO B. (2011) Equilibrio de los Cuerpos Flotantes. Humboldt Marine Training.

CARLOS PALOS FORCANO, (2014) Análisis de la Estabilidad de un Buque durante la Operación de Descarga de una Carga Pesada. Facultat de Nàutica de Barcelona (FNB) Universitat Politècnica de Catalunya (UPC).

MÜLLER M., CHARYPAR D., GROSS M., Particle Based Fluid Simulation for Interactive Applications. In Proceedings of ACM SIGGRAPH / Eurographics Symposium on Computer Animation (2003), pp. 154–159.

SOLENTHALER B., SCHLÄFLI J., PAJAROLA R., A Unified Particle Model for Fluid–Solid Interactions: Research Articles, Computer Animation and Virtual Worlds, v.18 n.1, p.69-82, February 2007.

TAKAHIRO H., SEIICHI K., YOICHIRO K., Smoothed Particle Hydrodynamics in Complex Shapes, Proceedings of the 23rd Spring Conference on Computer Graphics, April 26-28, 2007, Budmerice, Slovakia.

VAN DOKKUM K., KOOMEN K., TEN KATEN H., PINKSTER J., Ship Stability, 3rd edition, DokMar, Enkhuizen, 2008.

GRACIAS

Colombia mar 2019