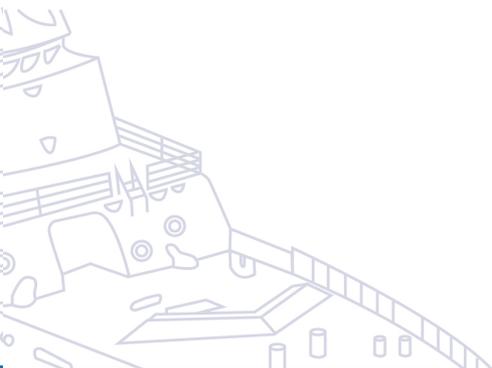


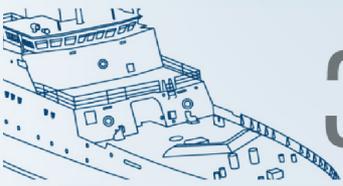


Estabilidad de embarcaciones varadas en un punto



Paula Bastos, Eng. Naval
Marta Tapia, Eng. Naval, D Sc.
Universidade Federal do Rio de Janeiro
Brasil
2013





Posibles daños debido a la varada :

- Daños en la carga
- Integridad estructural del barco
- Daños al medio ambiente
- Costos para pagar los daños provocados.

Como minimizar estos problemas?



Un algoritmo de cálculo capaz de dar respuestas sobre la estabilidad de una embarcación en caso de varada

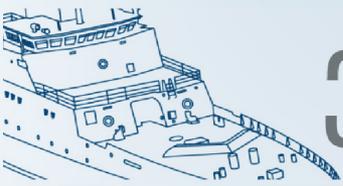


Maximizando la fiabilidad de las operaciones de reflotamiento

Auxiliando en la toma de decisiones

Consideraciones tomadas:

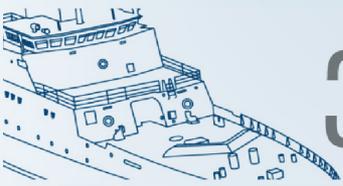
- El barco será considerado un cuerpo rígido.
- Arrufo y Quebranto del barco no será considerado
- Los movimientos del barco no serán considerados.
- Condición estática.



CASOS DE VARADAS

Costa Concordia
Itália - Enero/2012

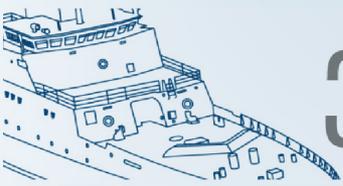




CASOS DE VARADAS

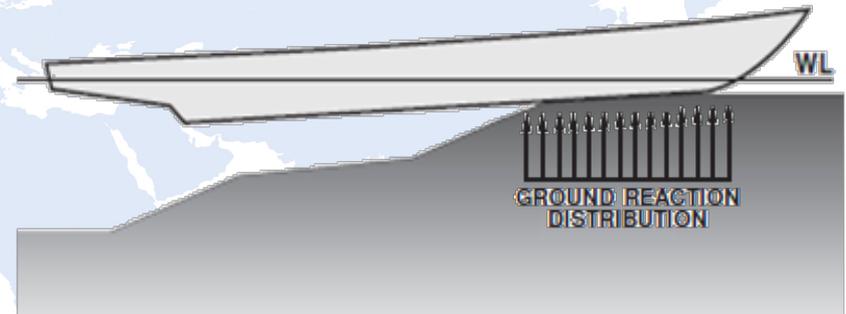
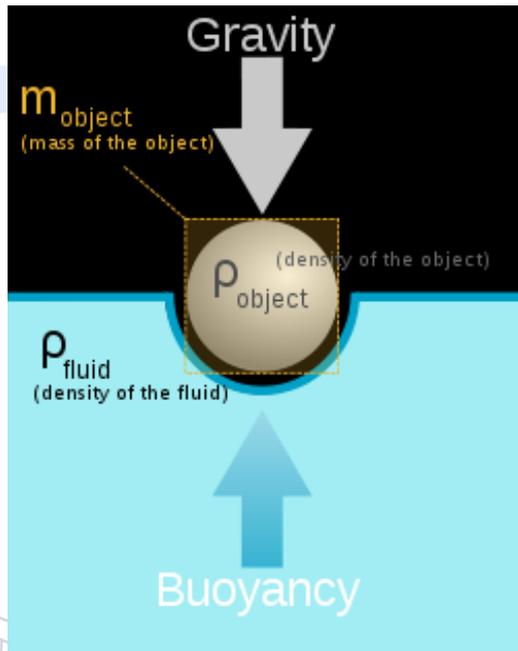
Carguero Ocean Breeze
Chile - Agosto/2012

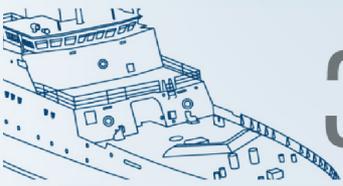




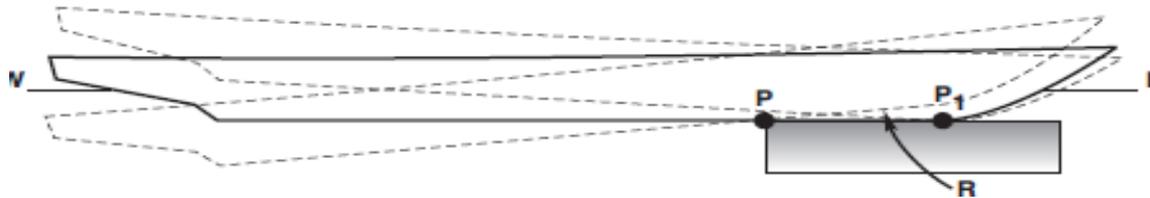
Principio de Arquímedes

Barco varado: Parte de su peso está soportado por el fondo del mar, y el suelo produce una fuerza de reacción.





Barco apoyado en parte de su eslora



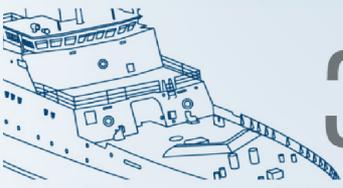
Barco apoyado a lo largo de la eslora



Barco apoyado en un solo punto



Caso em estudio



- Condiciones de carga
- Calados a proa y popa
- Condiciones de equilibrio y estabilidad
- Altura de la línea de agua
- Tipo de suelo
- Variación de la marea en el local del incidente





$$R = \Delta - \Delta 1$$

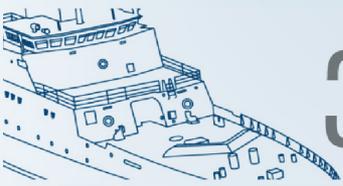
R = Fuerza de reacción del suelo[ton]

Δ = Desplazamiento del barco antes de la varada[ton]

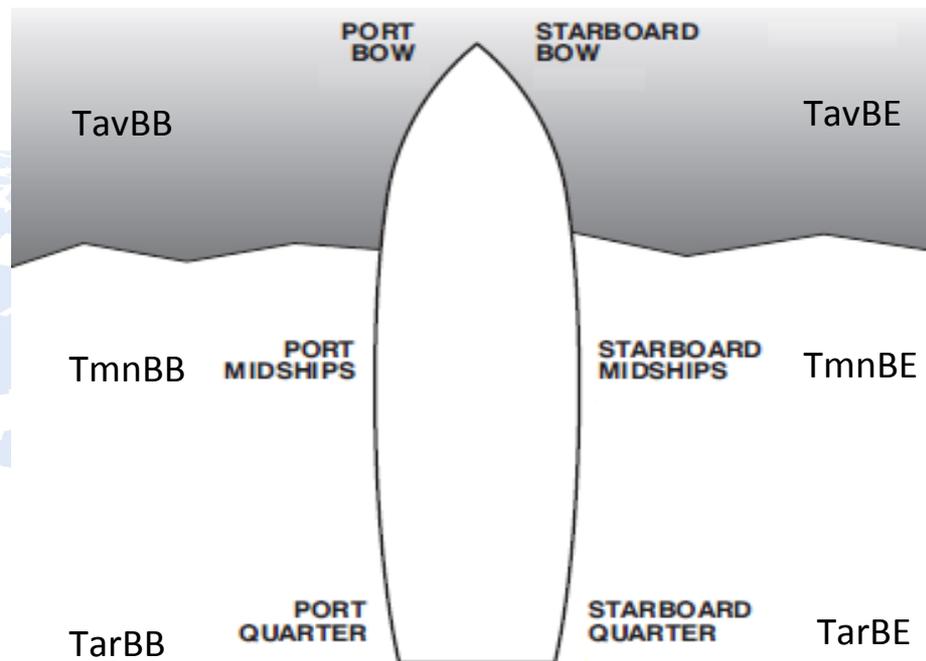
$\Delta 1$ = Desplazamiento del barco después de la varada[ton]

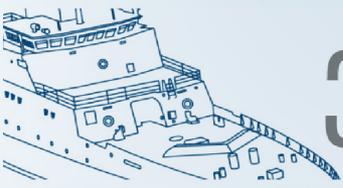


**Desplazamiento correspondiente al calado
equivalente(Teq)**



Determinación del calado equivalente- *U.S. Navy Salvage Manual - Volume 1 - Strandings And Harbor Clearance*





Determinación del calado equivalente

I- media entre los calados de port and starboard (proa, popa e midship drafts)

$$T_{av} = \frac{T_{av_{BB}} + T_{av_{BE}}}{2}$$

$$T_{ar} = \frac{T_{ar_{BB}} + T_{ar_{BE}}}{2}$$

$$T_{mn} = \frac{T_{mn_{BB}} + T_{mn_{BE}}}{2}$$

II- media entre los calados obtenidos de proa y popa.

$$T_{m_1} = \frac{T_{av} + T_{ar}}{2}$$

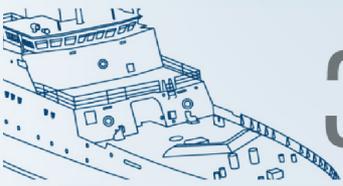
III- Media entre T_{m_1} and T_{mn}

$$T_{m_2} = \frac{T_{m_1} + T_{mn}}{2}$$

IV- Calado equivalente obtenido con al media entre T_{m_2} y T_{mn}

$$T_{eq} = \frac{T_{m_2} + T_{mn}}{2}$$





- Posición longitudinal de la fuerza de reacción

$$LCR = \frac{\Delta * [(LCG * \cos\beta) + (KG * \sen\beta)] - [(LCB_T * \cos\beta) + (KB_1 * \sen\beta)]}{2}$$

$$t = |T_{av} - T_{ar}| \quad \beta = \arctg \left[\frac{t}{L} \right]$$

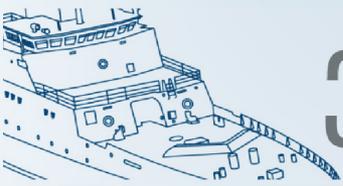
$$LCB_C = \frac{\beta * MT1_1}{\Delta_1 * 100} \quad LCB_T = LCB_1 + LCB_C$$

LCB_T = Posición de LCB después de la varada corregida debido al trimado [m]

LCB_C = Corrección del LCB debido al trimado [m]

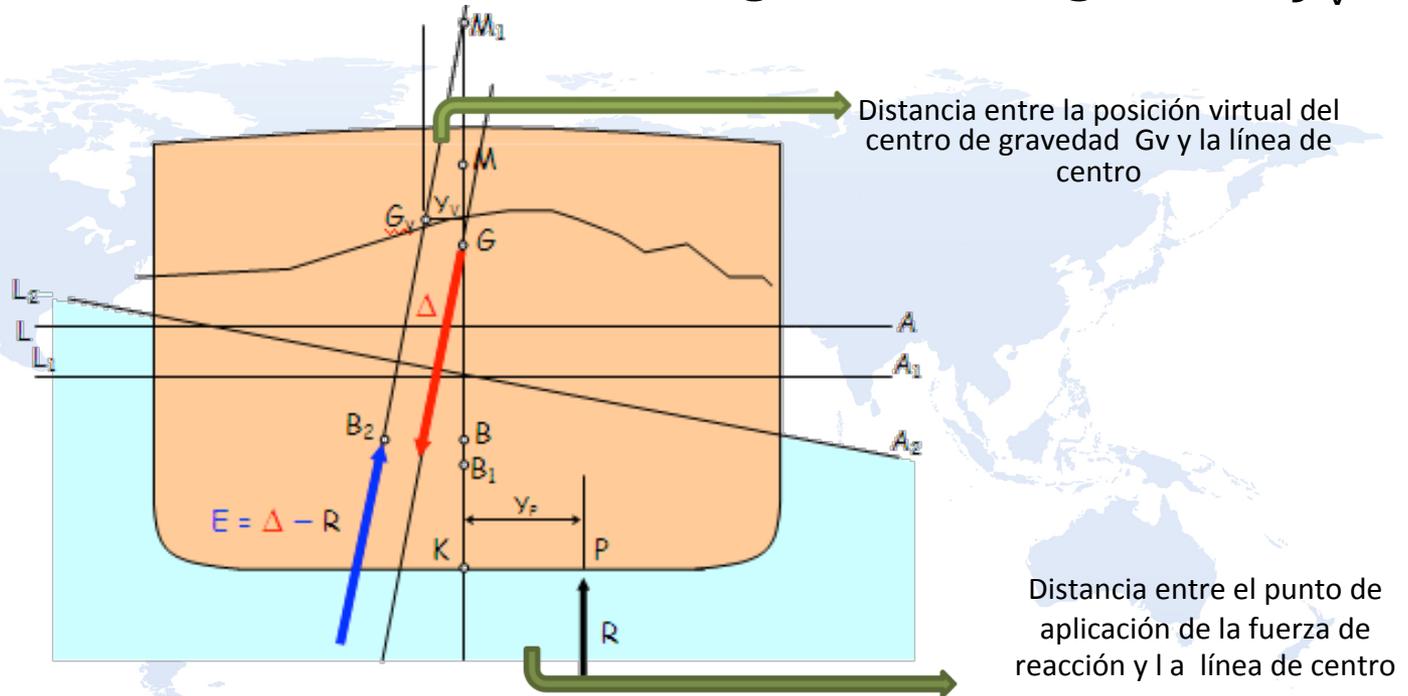
LCB_1 = Posición del LCB después de la varada [m]

$MT1_1$, KB_1 , LCB son obtenidos por las curvas hidrostáticas correspondientes al calado equivalente después de la varada.



- Posición transversal de la fuerza de reacción

El efecto de la reacción del suelo fuera del plano diametral equivale a un movimiento virtual transversalmente del centro de gravedad igual a y_v .



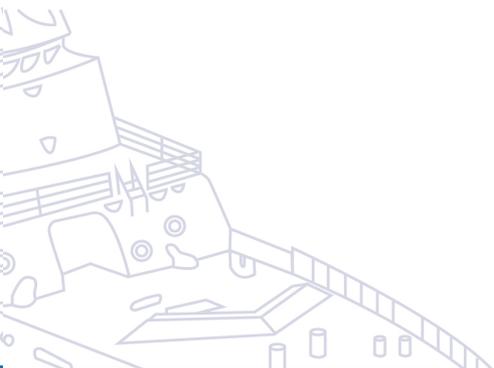


- Posición transversal de la fuerza de reacción

$$\theta = 90^\circ - \cos^{-1} \left(\frac{|T_{BB} - T_{BE}|}{B} \right)$$

θ = ángulo de banda [°]

$$TCR = \frac{\Delta * [(TCG * \cos\theta) + (KG * \sen\theta)] - \Delta_1 * [G_v M_1 * \sen\theta]}{R * \cos\theta}$$





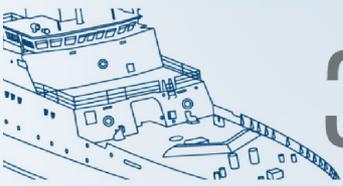
- Posición vertical de la fuerza de reacción

la fuerza de reacción esta siendo aplicada en el fondo de la embarcación. Considerando la línea de base como referencial.



A faint, light blue world map is centered in the background of the slide, showing the continents and oceans.

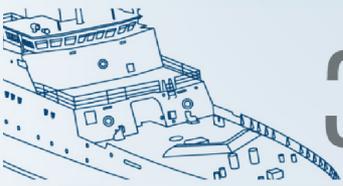
$$VCR = 0$$



Para el análisis de la estabilidad es necesario determinar:

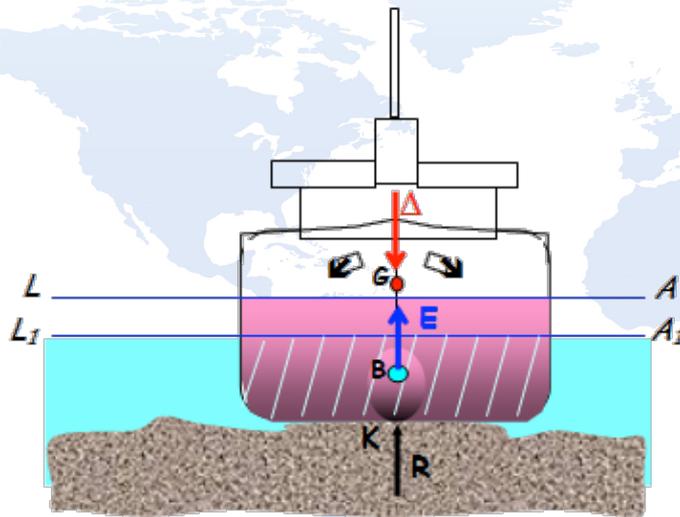
- El aumento efectivo o virtual en la altura del centro de gravedad (KG/VCG).
- El cambio en la altura metacéntrica (GM) después de la varada.





Altura del centro de gravedad

- Fuerza de reacción aplicada en el plano central
La posición vertical del centro de gravedad puede ser determinada a través de la suma de los momentos estáticos en relación a K.



$$\Delta * KG = \Delta_1 * KG_1$$

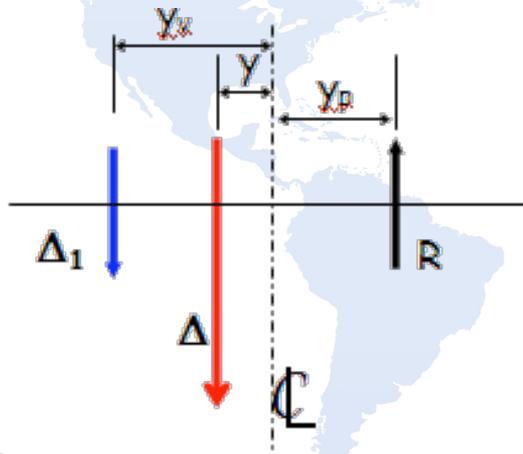
$$\Delta * KG = (\Delta - R) * KG_1$$

$$KG_1 = \frac{KG * \Delta}{\Delta - R}$$

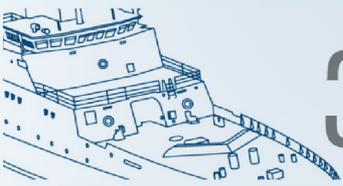


- Fuerza de reacción aplicada fuera del plano central
 - Pequeñas bandas ($\theta < 8^\circ$)

El momento resultante es igual a la suma de los momentos componentes



$$\Delta * y = R * y_p + \Delta_1 * y_v$$
$$\Delta * y = (\Delta - \Delta_1) * y_p + \Delta_1 * y_v$$
$$y_p = \frac{\Delta * y - \Delta_1 * y_v}{\Delta - \Delta_1}$$



Fuerza aplicada fuera del plano central
Pequeñas bandas

Brazo
adrizante

$$GZ = GM \times \text{sen}\theta$$

Par adrizante

$$CR = \Delta_1 * G_v M_1 * \text{sen}\theta$$

Considerando que las
aceleraciones debidas al
movimiento son despreciables

Variación virtual de
la altura
metacéntrica

$$G_v M_1 = KM_1 - KG_1$$

Par escorante

$$CE = (\Delta - \Delta_1) * y_p * \text{cos}\theta$$



Fuerza aplicada fuera del plano central
Pequeñas bandas

Par Adrizante= Par escorante

$$\Delta_1 * G_v M_1 * \text{sen} \theta = (\Delta - \Delta_1) * y_p * \text{cos} \theta$$

$$\text{tg} \theta = \frac{(\Delta - \Delta_1) * y_p}{\Delta_1 * G_v M_1}$$

$$KG_1 = KM_1 - \left(\frac{\Delta * y - \Delta_1 * y_v}{\Delta_1 * \text{tg} \theta} \right)$$

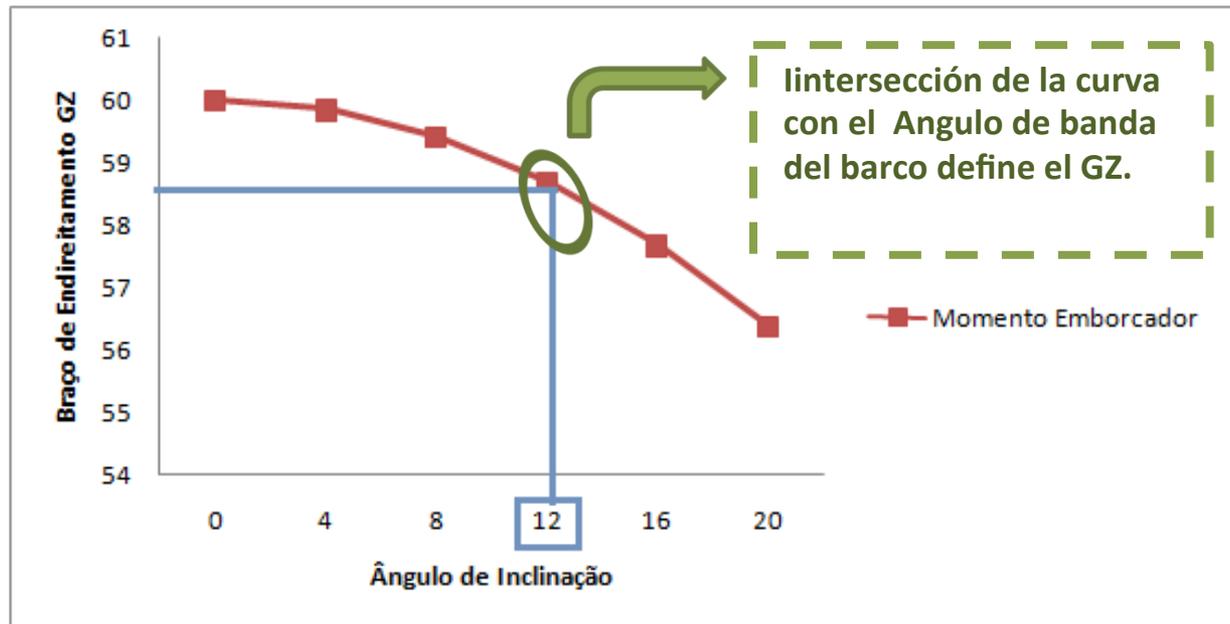
Altura del centro de
gravedad efectiva

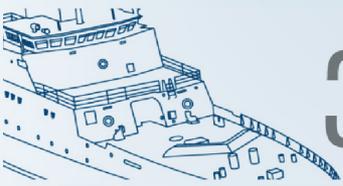




Se traza la curva de estabilidad, curva que representa el momento escorante.

$$CE = (\Delta - \Delta_1) * y_p * \cos\theta$$





- Altura Metacéntrica

Después de la varada el barco tiene una nueva línea de agua,
Tenemos un nuevo momento de inercia y un nuevo volumen
sumergido e por tanto una nueva posición del metacentro.

$$G_1M_1 = KM_1 - KG_1$$





- Para un barco sin trimado

$$\delta R = \Delta h * TPI * 100$$

δR = Variación de la fuerza de reacción [ton]

Δh = Variación de la altura de la marea [m]

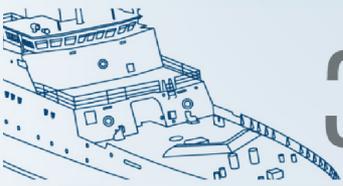
TPI = Toneladas por centímetro de inmersión [ton/cm]

- Para un barco con trimado

$$\delta R = \frac{\Delta h * TPI * MT1 * L}{(100 * TPI * d^2) + \left(\frac{MT1}{100} * L\right)}$$

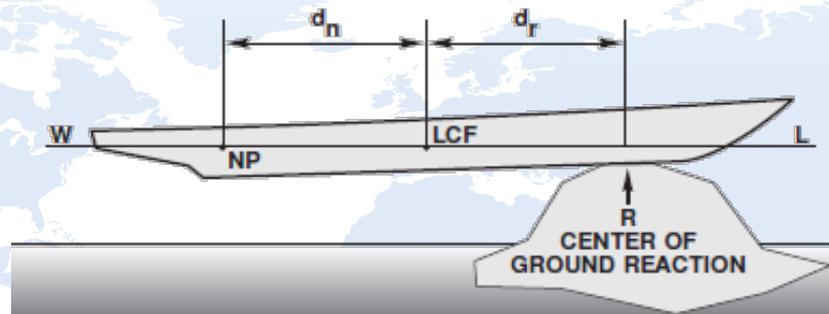
L = Eslora entre perpendiculares [m]

d_r = Distancia entre el centro de la fuerza de reacción y el LCF [m]

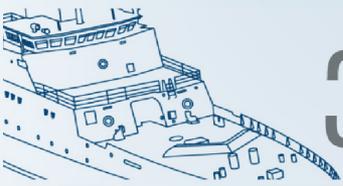


- Punto de carga neutro

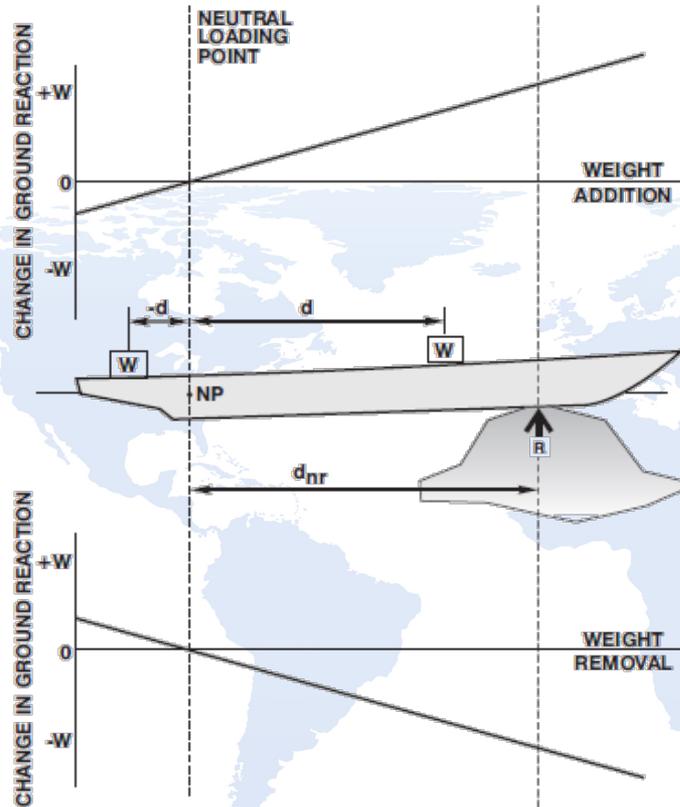
Hundimiento Paralelo - Variación del trimado = 0



$$d_n = \frac{(MT1 \cdot L)}{TPI \cdot d_r}$$



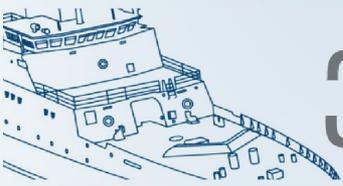
- Variación de la fuerza de reacción



$$\delta R = W * \frac{d_p}{d_{nr}}$$

$$d_{nr} = d_n + d_r$$

$$R_{nova} = R + \delta R$$



- Variación de la posición Longitudinal LCG

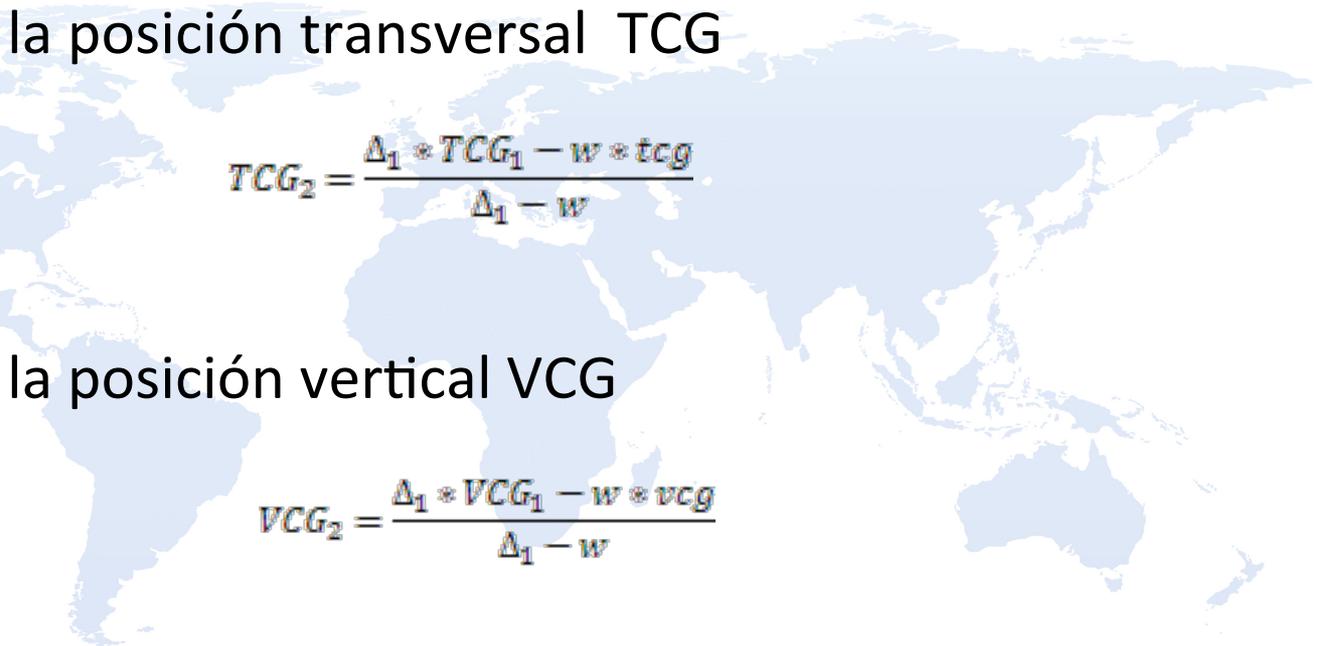
$$LCG_2 = \frac{\Delta_1 * LCG_1 - w * lcg}{\Delta_1 - w}$$

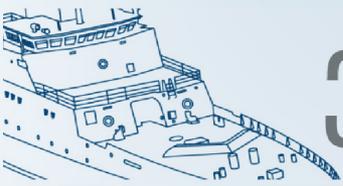
- Variación de la posición transversal TCG

$$TCG_2 = \frac{\Delta_1 * TCG_1 - w * tcg}{\Delta_1 - w}$$

- Variación de la posición vertical VCG

$$VCG_2 = \frac{\Delta_1 * VCG_1 - w * vcg}{\Delta_1 - w}$$



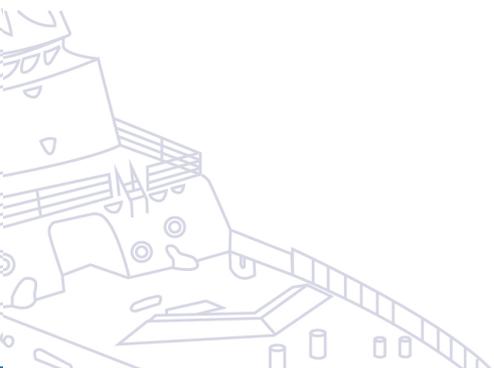


El cambio virtual del centro de gravedad debido a la reacción del suelo es reducida debido a que la fuerza de reacción también lo es:

$$GG_{1\text{reacción}} = \frac{KG * R}{\Delta - R}$$

Variación virtual del centro de gravedad debido al fenómeno de superficie libre

$$GG_{1\text{superficie}} = \frac{\sum I}{V} = \frac{\sum (b^3 * l)}{12V}$$





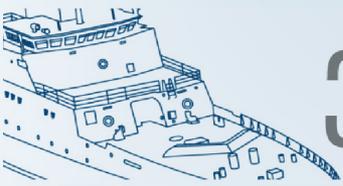
el valor efectivo de KG será:

$$KG_{ef} = KG_1 + GG_{1reacção} + GG_{1suptivore}$$

La altura metacéntrica efectiva será:

$$GM_{ef} = KM_2 - KG_{ef}$$

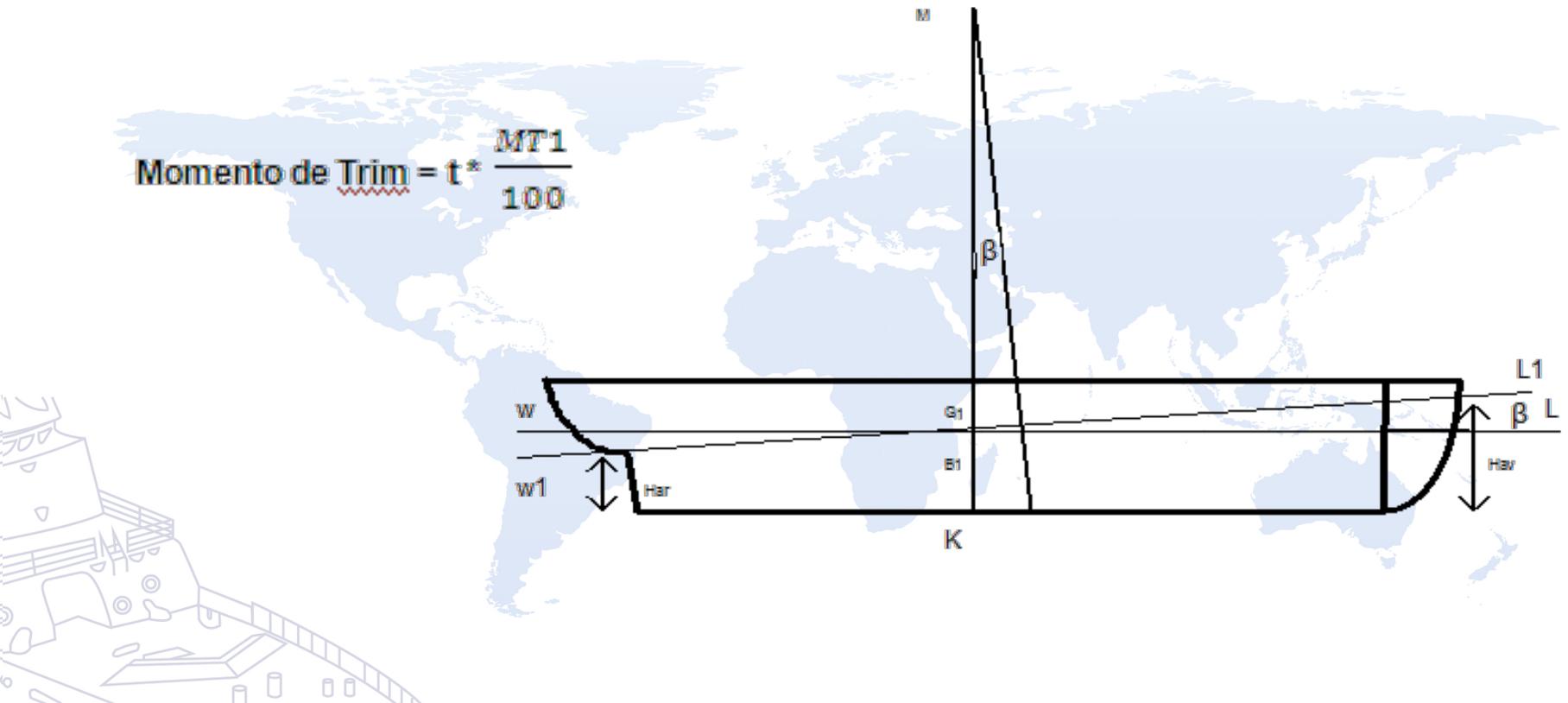
el valor de KM2 es obtenido a través de las curvas hidrostáticas para el nuevo desplazamiento del barco correspondiente a esta condición de peso removido.



- Alteración del trimado

Alteración de peso w introduce un momento de trimado:

$$\text{Momento de Trim} = t * \frac{MT1}{100}$$





El centro de gravedad del barco estaría en G2 y el de carena en B1, de manera que el barco gira en torno de un eje horizontal sobre la acción de un momento de trimado, dado por:

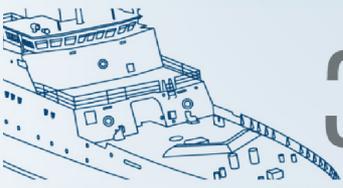
$$\text{Momento de trimado} = \Delta_2 * (\text{LCG}_2 - \text{LCB}_1) * \cos \beta$$

Para pequeños ángulos de trimado podemos considerar $\cos \beta$ igual a 1.

$$\Delta t * \frac{\text{MT}_1}{100} = \Delta_2 * (\text{LCG}_2 - \text{LCB}_1) \quad \longrightarrow \quad \Delta t = \frac{\Delta_2 * (\text{LCG}_2 - \text{LCB}_1) * 100}{\text{MT}_1}$$

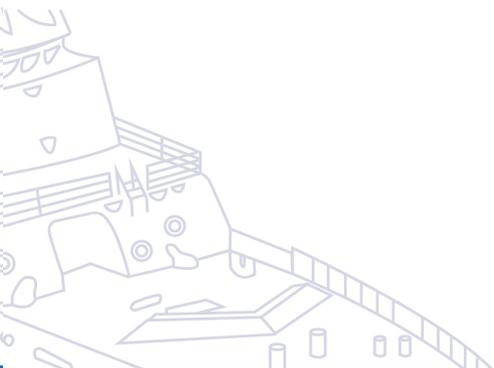
$$t_2 = t_1 - \Delta t$$

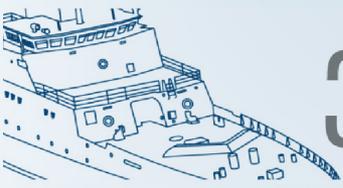




- Alteración de la banda

Conociendo el valor de la altura del centro de gravedad y del desplazamiento después de la varada, se trazan la curva correspondiente al momento escorante y a la curva de estabilidad estática. La intersección entre estas curvas dará el nuevo Angulo de banda donde la embarcación podrá estar fluctuando libre o parcialmente.





- Calados a proa y a popa

Podrá ser obtenida por la relación de la variación de empuje por el cambio correspondiente del calado medio.

$$T_m = \frac{T_{av} + T_{ar}}{2}$$

$$\delta T_m = \frac{\delta \Delta}{TPI}$$

$$\delta T_{ar} = \delta T_m \cdot \frac{d_{ar} + d_r}{d_r}$$

$$\delta T_{av} = \delta T_m \cdot \left(\frac{-d_{av}}{d_r} \right)$$

$$\delta B = w - \delta R$$

d_{av} = Distância do LCF até a PR [m]

d_r = Distância do LCF até o centro da reação [m]

d_{ar} = Distância do centro de reação até a PV [m]



3rd

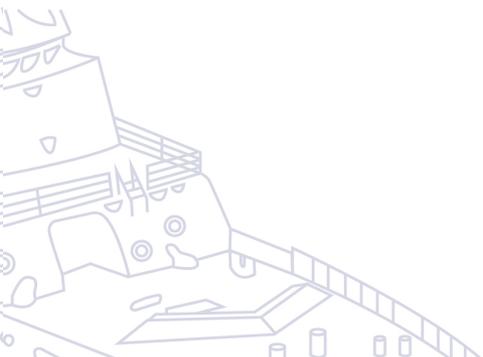
INTERNATIONAL SHIP
DESIGN & NAVAL
ENGINEERING CONGRESS

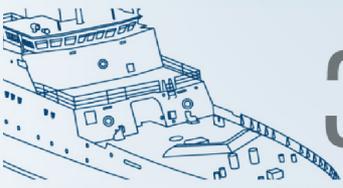
FORÇA DE traccion para refluctuar

Coeficiente de fricção μ depende do tipo de solo. Valores aproximados para coeficientes de fricção estático:

Tipo de Solo	Coeficiente de fricção (μ)
Solo Assoreado	0,2 a 0,3
Areia	0,3 a 0,4
Coral	0,5 a 0,8
Rocha	0,8 a 1,5

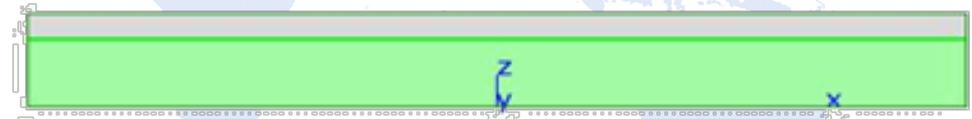
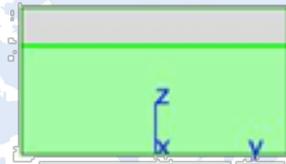
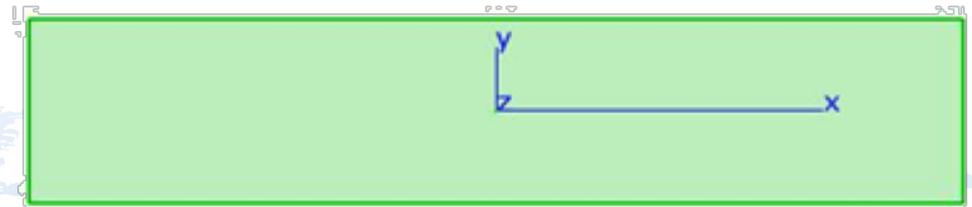
$$F = 1,12 * \mu * R$$

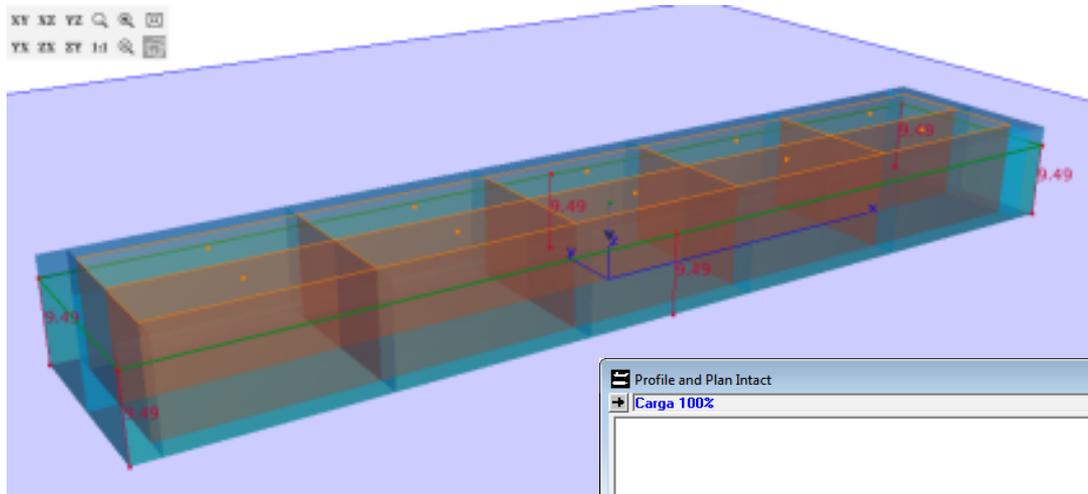
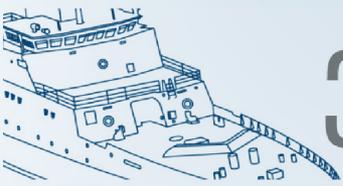




Modelación de una barcaza en los software SSTAB y Hecsalv, con las siguientes características:

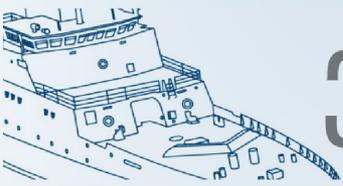
- Eslora: 120m
- Manga: 24m
- Puntal: 12m





Profile and Plan Intact
Carga 100%

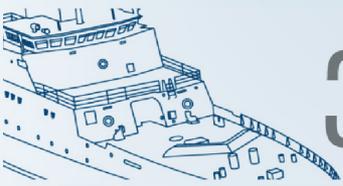
Warning(s)
None
Spec. Grav. 1.0250
Draft AP 9.490 m
Draft FP 9.490 m
Dr AftMark 9.490 m
Dr FwdMark 9.490 m
Heel 0.0 deg
Trim 0.000 m
GMt 5.321 m
AvDWT N/A



• Plano de capacidades

Nome	Volume (m ³)	Peso Máximo (ton)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	Altura (m)
Lastro 5 BB	828.00	848.70	-45.54	10.50	6.78	12.00
Lastro 4 BB	828.00	848.70	-22.55	10.50	6.39	12.00
Lastro 2 BB	828.00	848.70	22.45	10.50	5.61	12.00
Lastro 1 BB	828.00	848.70	45.44	10.50	5.22	12.00
Lastro 3 BB	792.00	811.80	-0.05	10.50	6.00	12.00
Lastro 5 BE	828.00	848.70	-45.54	-10.50	6.78	12.00
Lastro 4 BE	828.00	848.70	-22.55	-10.50	6.39	12.00
Lastro 2 BE	828.00	848.70	22.45	-10.50	5.61	12.00
Lastro 1 BE	828.00	848.70	45.44	-10.50	5.22	12.00
Lastro 3 BE	792.00	811.80	-0.05	-10.50	6.00	12.00
PTR BB	432.00	442.80	-58.54	6.00	7.01	12.00
PTR BE	432.00	442.80	-58.54	-6.00	7.01	12.00
PTV BB	432.00	442.80	58.44	6.00	4.99	12.00
PTV BE	432.00	442.80	58.44	-6.00	4.99	12.00
Total	-	10184.40	-	-	-	-

Nome	Volume (m ³)	Peso Máximo (ton)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	Altura (m)
Carga 5 BB	2484.00	2111.40	-45.54	4.50	6.78	12.00
Carga 4 BB	2484.00	2111.40	-22.55	4.50	6.39	12.00
Carga 2 BB	2484.00	2111.40	22.45	4.50	5.61	12.00
Carga 1 BB	2484.00	2111.40	45.44	4.50	5.22	12.00
Carga 3 BB	2376.00	2019.60	-0.05	4.50	6.00	12.00
Carga 5 BE	2484.00	2111.40	-45.54	-4.50	6.78	12.00
Carga 4 BE	2484.00	2111.40	-22.55	-4.50	6.39	12.00
Carga 2 BE	2484.00	2111.40	22.45	-4.50	5.61	12.00
Carga 1 BE	2484.00	2111.40	45.44	-4.50	5.22	12.00
Carga 3 BE	2376.00	2019.60	-0.05	-4.50	6.00	12.00
Total	-	20930.40	-	-	-	-



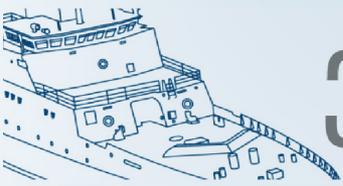
- Simulaciones de varadas

Tres situaciones hipotéticas donde todos los tanques de carga están completamente llenos con un producto de masa específica 0,85 ton/m³:

Condição	Força (ton)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	Objetivo
1	2000	30	0	0	trimado
2	2000	0	3	0	banda
3	2000	30	3	0	trimado e banda

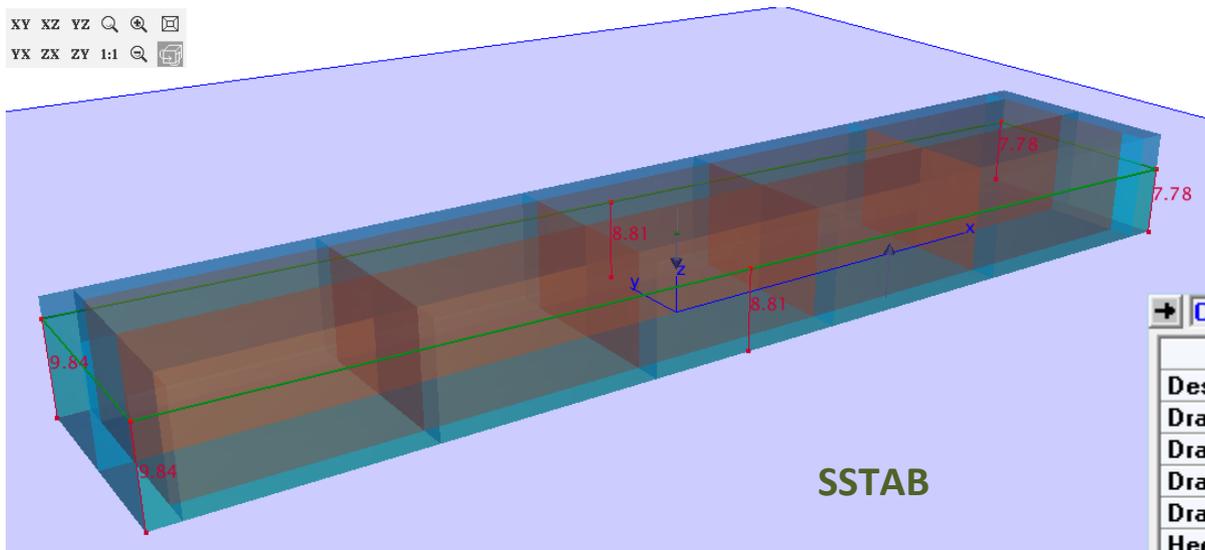
Calado	X (m)	Y (m)
R BB	-60	12
R BE	-60	-12
MN BB	0	12
MN BE	0	-12
V BB	60	12
V BE	60	-12

Teq = 9,49 m.



- Condición de varada 1

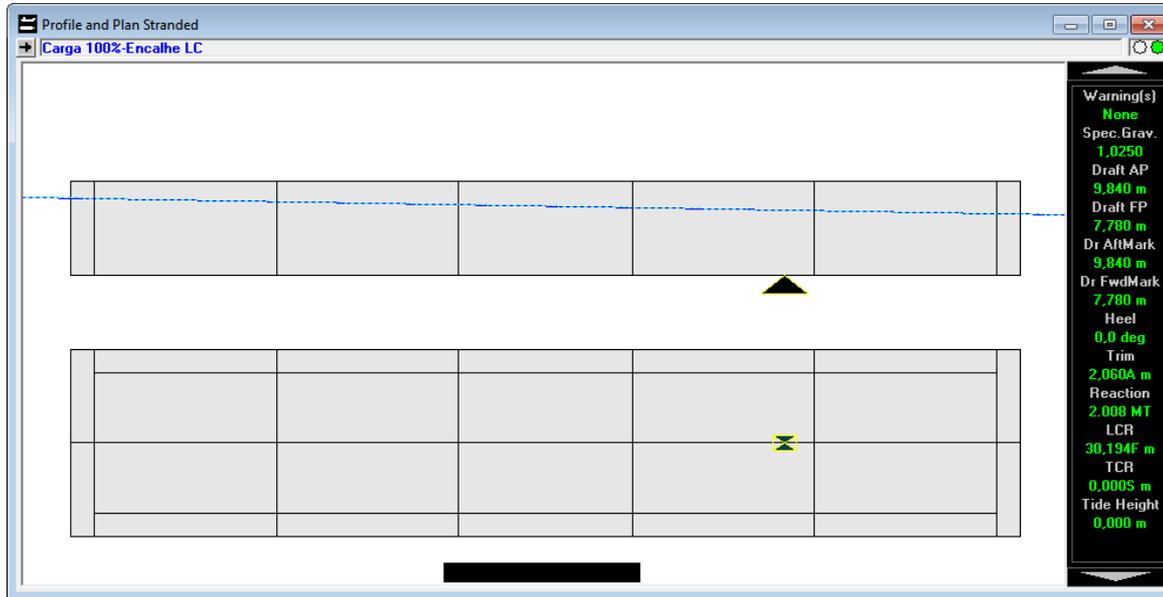
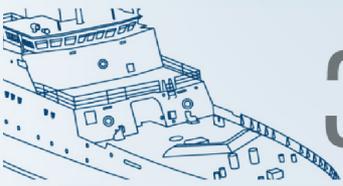
XY XZ YZ
YX ZX ZY 1:1



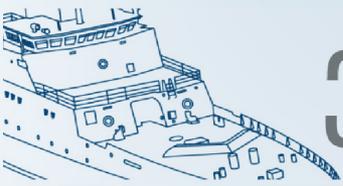
$d_{av} Tav = 7,78m$
 $Tar = 9,84m$
 $\theta = 0^\circ$

HECSALV

→ Carga 100%-Encalhe LC		
Description	Units	Entry
Draft at AP	m	Pinnacle 9,840
Draft at FP	m	7,780
Draft at Aft Marks	m	9,840
Draft at Fwd Marks	m	7,780
Heel Angle	deg	0,0
LCR of Aft Pinnacle	m-MS	30,194F
LCR of Fwd Pinnacle	m-MS	0,000
Ground Type		Rock
Coef. of Friction		1,5

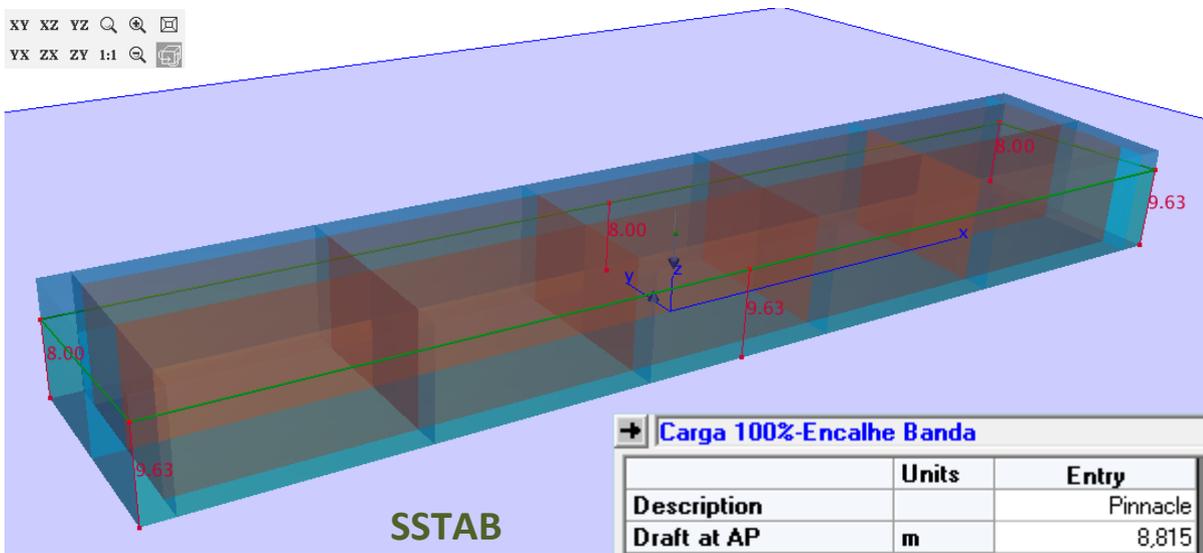


	Força (ton)	LCR (m)	TCR (m)	VCR (m)
SSTAB	2000	30	0	0
Hecsalv	2008	30,194	0	0
Formulação	2000	30,12	0	0



- Condición de varada 2

XV XZ YZ
YX ZX ZY 1:1



SSTAB

HECSALV

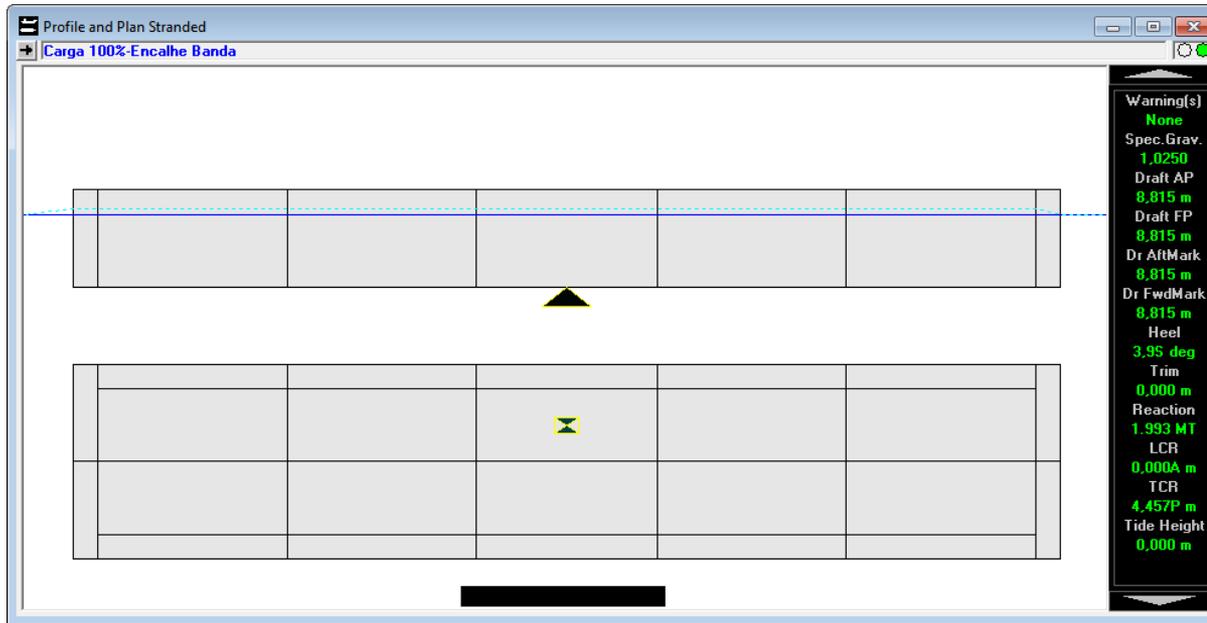
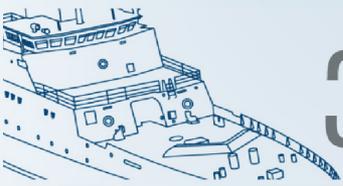
Carga 100%-Encalhe Banda		
Description	Units	Entry
Draft at AP	m	8,815
Draft at FP	m	8,815
Draft at Aft Marks	m	8,815
Draft at Fwd Marks	m	8,815
Heel Angle	deg	3,885
LCR of Aft Pinnacle	m-MS	0,000A
LCR of Fwd Pinnacle	m-MS	0,000
Ground Type		Rock
Coef. of Friction		1,5

	Calado (m)
AR BB	8,00
AR BE	9,63
MN BB	8,00
MN BE	9,63
AV BB	8,00
AV BE	9,63

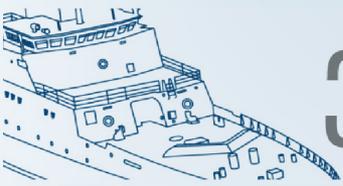
$$T_{max} = \frac{8,00 + 9,63}{2} = 8,815 \text{ m}$$

$$T_{mar} = \frac{8,00 + 9,63}{2} = 8,815 \text{ m}$$

$$\theta = 3,876^\circ$$

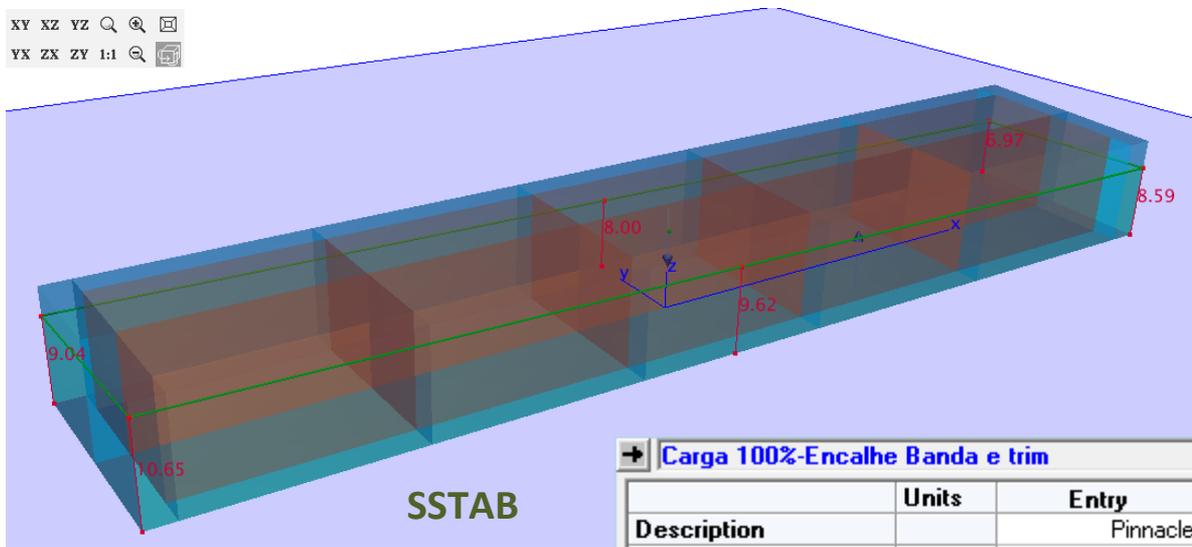


	Força (ton)	LCR (m)	TCR (m)	VCR (m)
SSTAB	2000	0	3	0
Hecsalv	1993	0	4,457	0
Formulação	2000	0	2,67	0



- Condición de varada 3

XY XZ YZ Q Q Q
YX ZX ZY 1:1 Q Q



HECSALV

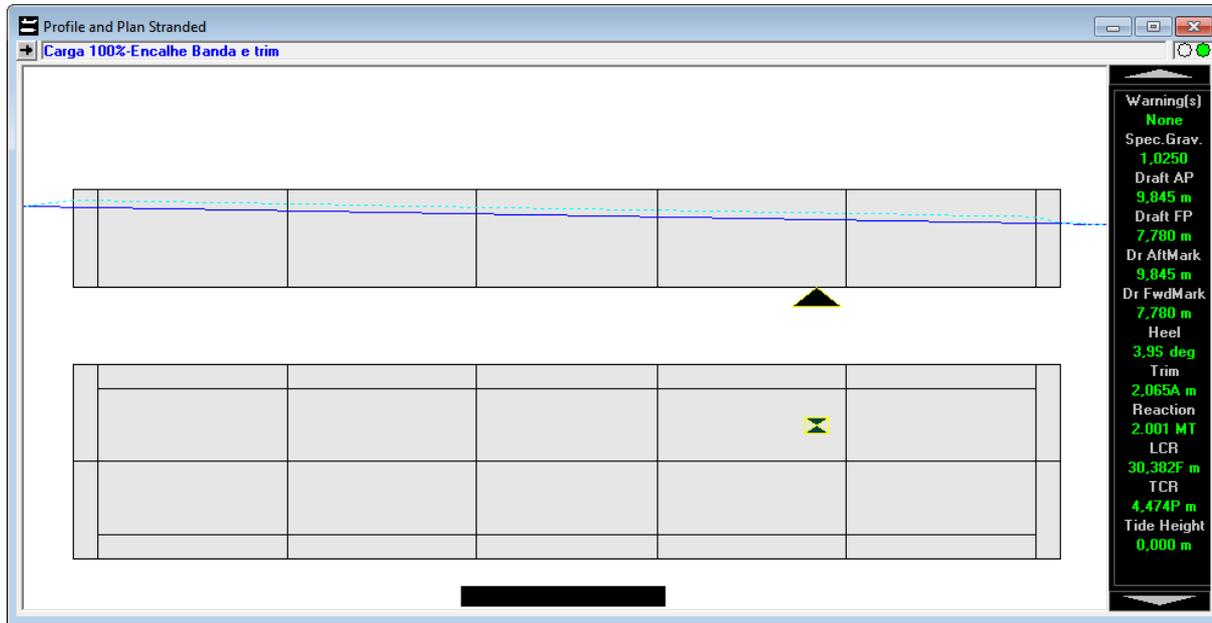
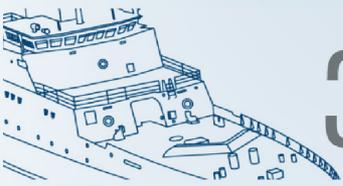
→ Carga 100%-Encalhe Banda e trim		
Description	Units	Entry
		Pinnacle
Draft at AP	m	9,845
Draft at FP	m	7,780
Draft at Aft Marks	m	9,845
Draft at Fwd Marks	m	7,780
Heel Angle	deg	3,85S
LCR of Aft Pinnacle	m-MS	30,382F
LCR of Fwd Pinnacle	m-MS	0,000
Ground Type		Rock
Coef. of Friction		1,5

Calado (m)	
R BB	9,04
R BE	10,65
MN BB	8,00
MN BE	9,62
V BB	6,97
V BE	8,59

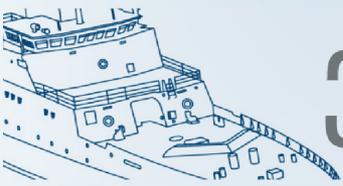
$$T_{max} = \frac{6,97 + 8,59}{2} = 7,78 \text{ m}$$

$$T_{mar} = \frac{9,04 + 10,65}{2} = 9,845 \text{ m}$$

$$\theta = 3,853^\circ$$



	Força (ton)	LCR (m)	TCR (m)	VCR (m)
SSTAB	2000	30	3	0
Hecsalv	2001	30,382	4,474	0
Formulação	2000	30,12	2,64	0

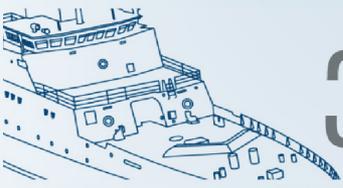


Movimientos de peso

Condition	Ground Reaction (ton)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	Objective
3	2000	30	3	0	trimado and heel
Peso Retirado (ton)		LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	
1000		-30	-2,50	0	

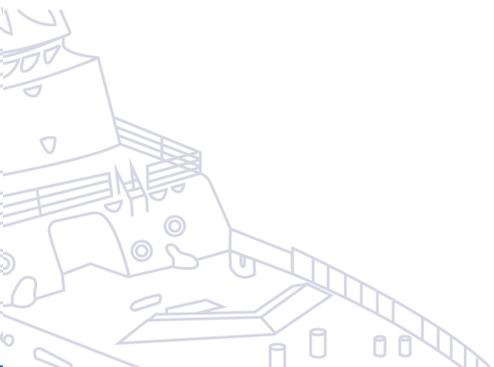
Resultados

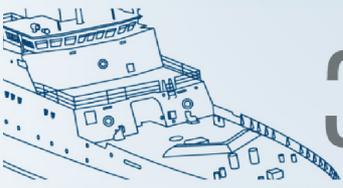
	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	GM (m)	trimado (m)	Heel (°)	δTm (m)
SSTAB	-1,20	-0,14	6,72	3,20	-1,73	1,40	0,335
Formución	-1,20	-0,14	6,72	2,80	-1,74	1,44	0,338



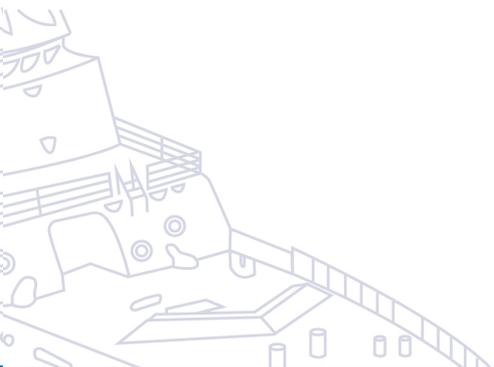
Para los casos aquí analizados, el marco teórico desarrollado en este estudio resultó ser adecuado.

Los testes realizados mostraron resultados satisfactorios.



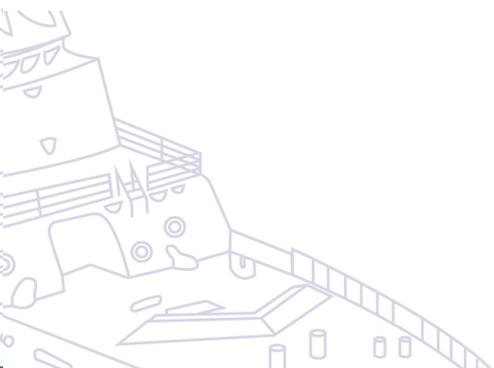
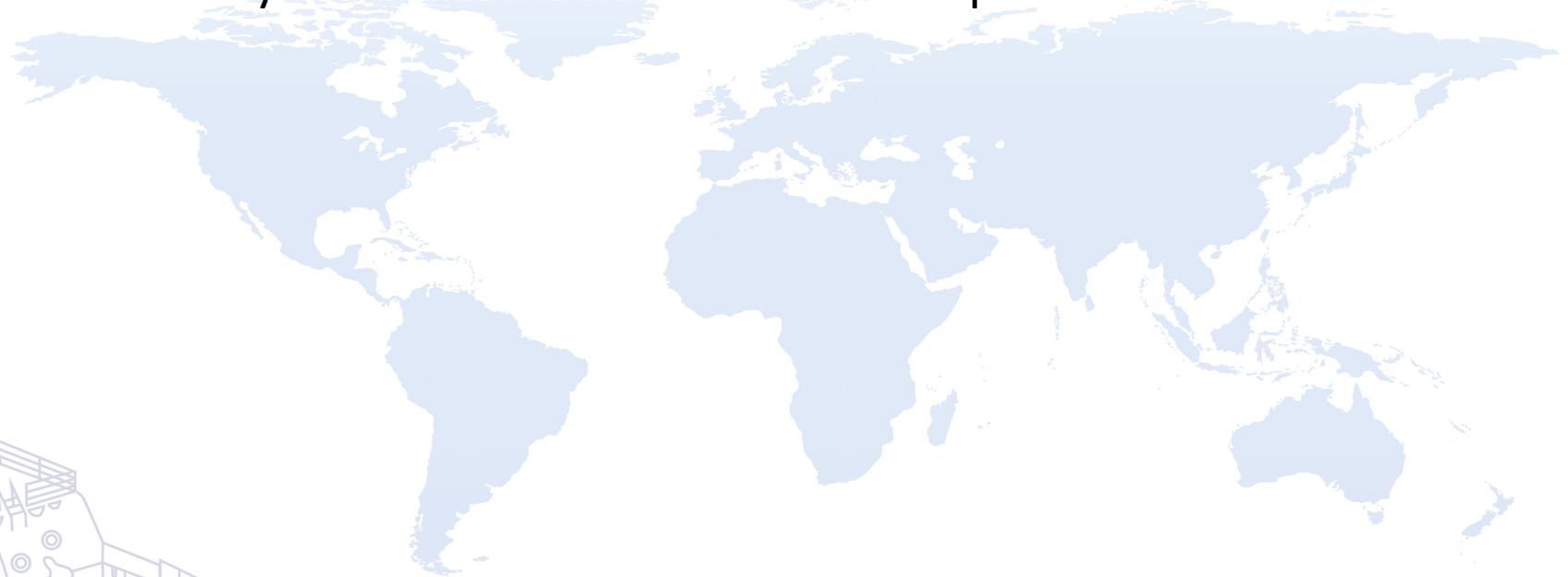


- Representación de una varada sobre un plano rígido y sobre un plano viscoso. Donde se deberá tener en cuenta los límites del plano de varadas y algunos factores físicos del suelo en el cual la unidad se encuentra varada.
- Análisis dinámico de un barco varado, considerando los efectos de las olas y corrientes. De esta manera podemos representar de forma mucho más real la situación y ofrecer respuestas de mayor precisión y seguridad para el reflote.





Desarrollar un algoritmo de cálculo capaz de evaluar la estabilidad de una embarcación en caso de varada, teniendo en cuenta las condiciones del buque ,con el objetivo de auxiliar en la toma de decisiones y maximizar la fiabilidad en las operaciones de desencalle.

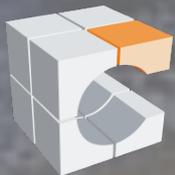


Muchas gracias.

paulabastos@poli.ufrj.br

martatapia@poli.ufrj.br

www.oceanica.ufrj.br/construa



CONSTRUA

