

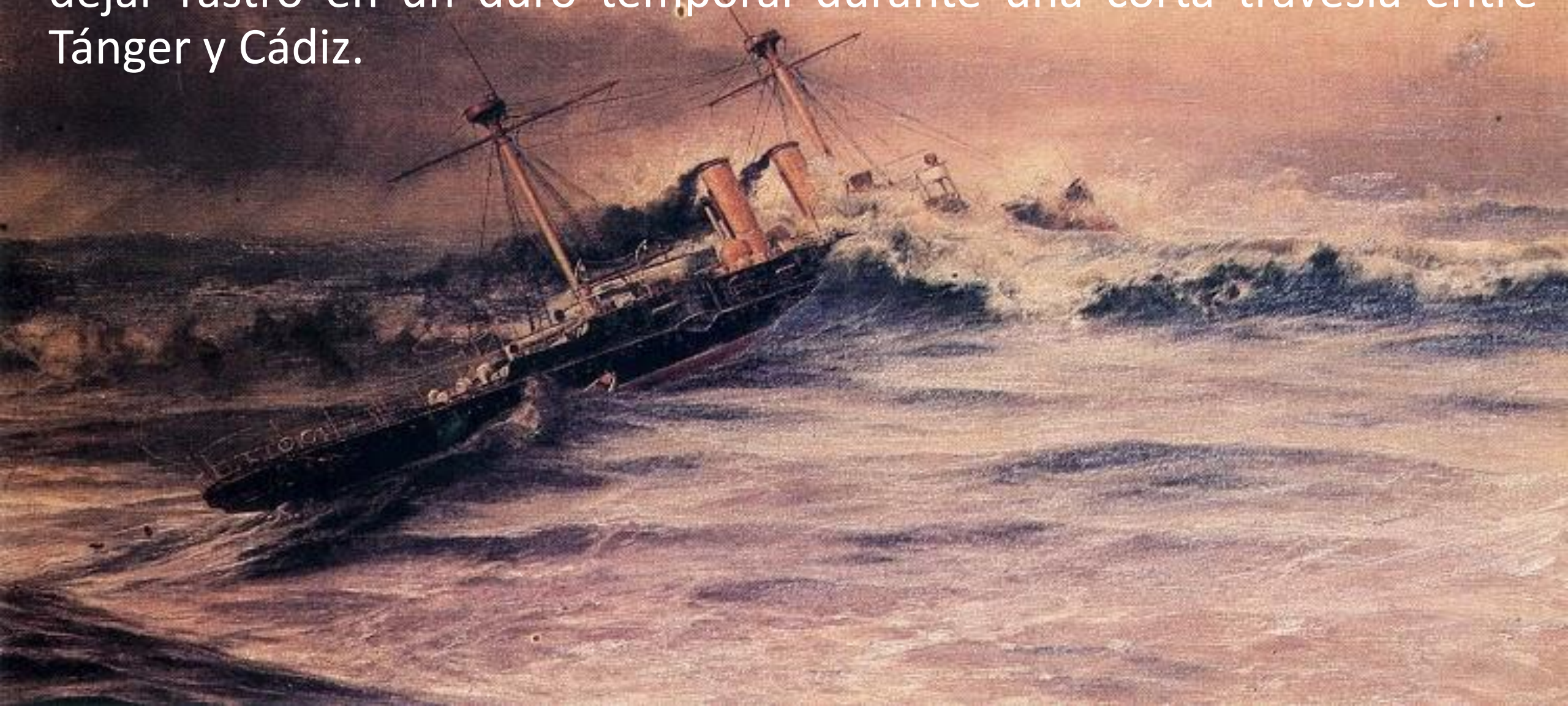
# Consideraciones sobre la estabilidad del Reina Regente

Guillermo Gefaell Chamochín – Ingeniero Naval  
Estefanía León Rama – Ingeniera Técnica Naval





El 10 de marzo de 1895, el crucero de la Armada Española "Reina Regente" y los 412 hombres de su dotación, desaparecieron sin casi dejar rastro en un duro temporal durante una corta travesía entre Tánger y Cádiz.





# Antecedentes

- En agosto de 1885 el Ministerio de Marina saca a concurso tres cruceros con cubierta protectriz, uno de primera, el “Reina Regente” y dos de tercera, los “Isla de Luzón” e “Isla de Cuba”, que se usarían como modelos para su reproducción en los arsenales de la Armada.
- Se presentaron tres ofertas, la del astillero francés Forges el Chantiers de la Méditerranée, y las de dos casas británicas Napier y James and George Thompson and Co. de Clydebank, Glasgow.
- En mayo de 1886 se decidió aceptar la propuesta de este último astillero, principalmente por la velocidad y autonomía teóricas ofrecidas, 20,5 nudos en pruebas y más de 12.000 millas.
- El “Reina Regente” fue proyectado por Sir John H. Biles, ingeniero de extraordinario prestigio y profesor de arquitectura naval de la Universidad de Glasgow.



# Antecedentes

- El concepto de diseño siguió el formato de la llamada Jeune École, un concepto de estrategia naval desarrollada durante el siglo XIX, que abogaba por el uso de unidades pequeñas, fuertemente armadas para combatir las flotas de acorazados.



- Actuó como supervisor de la construcción Sir Nathaniel Barnaby, uno de los mejores expertos en estabilidad aplicada al diseño naval.

## Antecedentes (2)

- El casco era ya de acero dulce, material que había sustituido al hierro a partir de 1873 en Francia y en 1880 en Inglaterra, tras haber este metal sustituido paulatinamente a la madera desde finales del siglo XVIII.

*F L* Flotación del buque a la salida de Tanger

*F' L'* Id. con los compartimientos inundados

→ Orificios por los que pasa el agua.

Id. que dan paso al agua a través de las cubiertas.

Agua que se supone llevaba el buque.

Compartimientos que se inundan (1.º caso) = 504,590 Ton.º

Id. id. id. además de los del caso anterior (2.º caso) = 149,420 Ton.º

Id. id. id. (3.º caso) = 962,854 Ton.º

Id. id. id. (4.º caso) = 1.052,592 "

1 Plataforma de cañones de 24 cm.

2 Compartimiento de cañones Nordenfeldt.

3 Carboneras centrales.

4 Id. laterales.

5 Compartimiento de torpedos.

6 Pañol de maquinistas.

7 Compartimientos de máquinas.

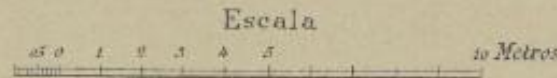
- La estructura del casco estaba dividida en dos partes principales: la primera era la inferior, hasta la cubierta protectriz inclusive, y la segunda era la superestructura sobre esta cubierta.





# CRUCERO "REINA REGENTE"

Hoja n.º 3



La cubierta protectriz estaba a 15 centímetros sobre la línea flotación normal en el centro, y a 1,80 metros por debajo de dicha flotación en los costados.

Cuaderna núm. 55

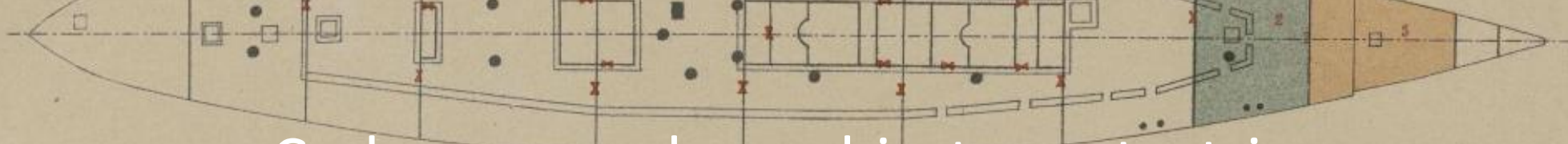
Cuaderna núm. 51.

Cuaderna núm. 63.

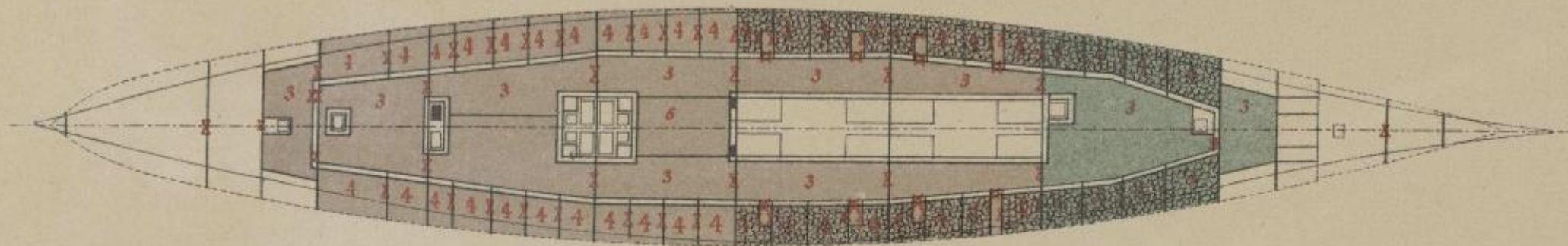


Entre ambas cubiertas se encontraba distribuido un espacio lleno de cofferdams y el costado estaba subdividido, por medio de mamparos transversales, en compartimientos de 20 unos metros cúbicos de capacidad, que eran estancos y destinados a carboneras, quedando así reducida el agua que podía entrar en caso de impactos.

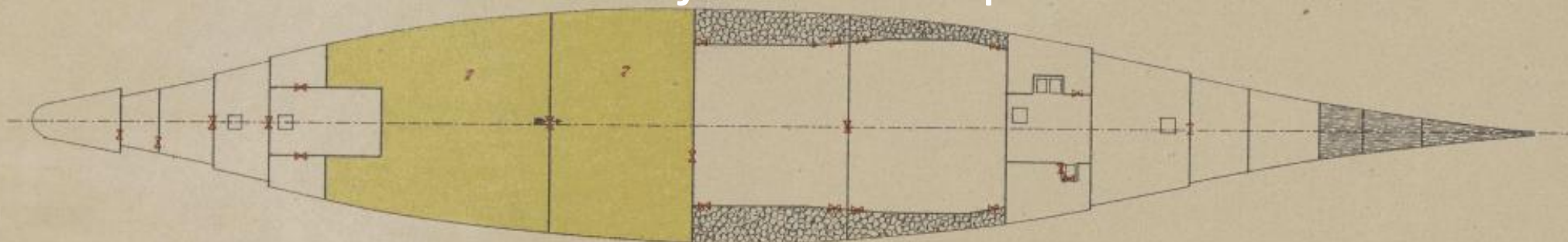
Novi Castelleja



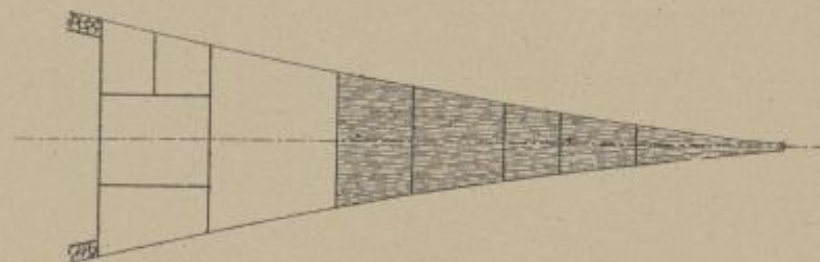
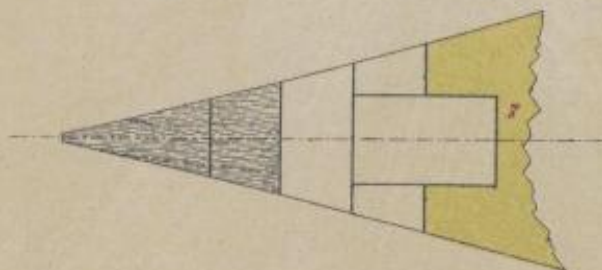
Carboneras sobre cubierta protectriz



Carboneras bajo cubierta protectriz



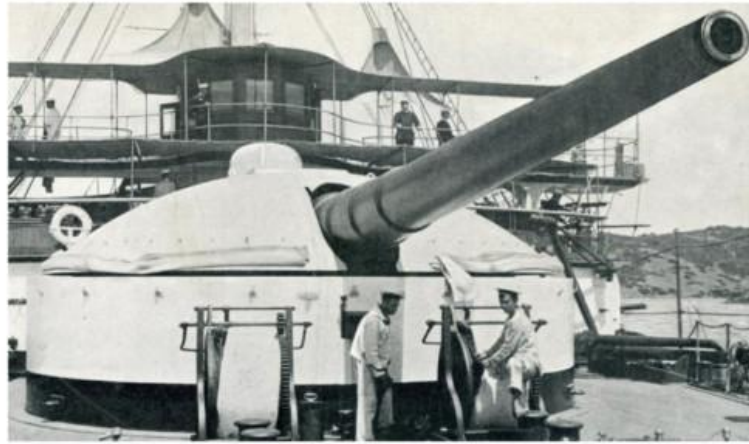
Piques de proa y popa o "trímenes"





## Antecedentes: Cambios al proyecto

- El aspecto más controvertido de su construcción fue el montaje en Ferrol de las piezas González Hontoria de 24 cm en lugar de las proyectadas piezas González Hontoria de 20 cm, con el consiguiente aumento de peso.



Cañón González Hontoria de 24 cm en torre blindada.

- La pérdida del “Regente” supuso un cambio en la construcción, especialmente en la de los dos cruceros de la misma serie que se construían en España, el Alfonso XIII y Lepanto, a los que se instalaron los cañones principales de 20 cm y ya no de 24.



## Antecedentes: Problemas de estabilidad

- Su primer Comandante (tras el comandante de traslado de Glasgow a Ferrol), el C.N. D. Ismael Warleta, detalla en sus informes algunas observaciones aparentemente favorables en cuanto a su estabilidad (pequeños y lentos movimientos en fondeo y otras situaciones) y también dice:

*“En otras navegaciones observó balances que alcanzaron una amplitud total, o sea de babor a estribor, de 34º, agregando como observación propia que la bondad de los movimientos de balance unida a la facilidad de escorar, le hace sospechar que su estabilidad no es excesiva, en armonía con su altura metacéntrica”*



## Antecedentes: Problemas de estabilidad

- Su segundo Comandante, el C.N. D. José Pílon Esterling, propuso variar el emplazamiento de las anclas e indicó la conveniencia de sustituir los cañones de 24 cm por los de 20 a fin de aumentar la cantidad de carbón sin perjuicio del desplazamiento y calado del buque, que él consideraba excesivo:

*“Actualmente, con sólo 720 toneladas ha calado 6,90 y 7,00 metros, quedando muy sumergida la popa y afectando esta diferencia de 81 á 91 centímetros, á su andar, por su mayor desplazamiento é inmersión de las hélices, y algo también en su buen gobierno, efecto de que el exceso de peso de los cuatro cañones de 24 centímetros sobre los de 20, con sus montajes, pólvora y proyectiles, es de 90.700 kilogramos más de lo proyectado, y de aquí que no deba pasarse, y esto sólo en la buena estación, de las expresadas 720 toneladas, con las que desde luego se va en condiciones muy desventajosas.”*



## Antecedentes: Problemas de estabilidad

- Su tercer Comandante, el C.N. D. José María Paredes Chacón, observó en los viajes que hizo desde Cádiz a la Habana y New York, y de regreso a Cádiz, la necesidad de sustituir los cañones de a 24 centímetros por los de a 20, no sólo para obtener mayor radio de acción, sino principalmente para mejorar las condiciones marinerías del buque, de las que dudaba en algunos momentos, tal como refleja en el informe que emitió el 29 de Junio de 1893. Decía:

*“Como quiera que la mar á la salida de New-York era sumamente viva y ampollada por las corrientes que existían en aquellas costas, y de la que recibía el buque por su través de estribor embarcaba alguna, y sólo en momentos dados, y por venir más elevada, lo hacía simultáneamente por varios puntos.”*



## Antecedentes: Problemas de estabilidad

Y continuaba:

...para mejorar las condiciones marinerías del buque, ***que en algunos momentos llega a dudarse de ellas***....que como quiera que el buque monta una artillería superior en peso a la que se había calculado llevaría, le proporciona un ***“exceso de estabilidad”*** tal, que al que lo manda tiene siempre que preocuparle la idea de navegar atravesado a la mar, como esta sea de algunas proporciones. Entiende este Comandante... que ***“el exceso de estabilidad debe mirarse y considerarse por pesadez en sus movimientos de balance, que siempre observó lentos, notando un momento muerto antes de rehacerse.”***

Nota: Lo que notaba era que los movimientos del buque eran lentos y se “dormía” a las bandas, una señal clara de una baja altura metacéntrica inicial pero también una escasa curva de brazos de adrizamiento a grandes ángulos. Lo primero era conveniente en los buques de guerra para conseguir una adecuada ***estabilidad de plataforma*** para el combate con cañones. Lo segundo era peligroso.

# Antecedentes: Problemas de estabilidad

Resumiendo:

- . Se detectó exceso de calado (y por tanto desplazamiento) si se cargaba el buque con cantidades de carbón importantes pero siempre muy por debajo de las 1.200 teóricas, recomendándose no pasar de 720.
- . Se detectó una calidad de movimientos lentos y “durmiéndose” a las bandas, que implica una escasa curva de brazos adrizantes, una escasa estabilidad a grandes ángulos, que podemos colegir que ocurría con cargas de carbón importantes.
- . En el Informe de la Comisión se afirma que el proyectista y el constructor aprobaron la sustitución de los cañones de 20 por los de 24, por lo que se supone fue estudiado por ellos el impacto en la estabilidad de tal sustitución. Y recordemos que proyectista y el director de construcción se consideraban eminencias en la materia.



## El último viaje

- Su quinto y último comandante fue el C.N. Francisco Sanz de Andino Martí. El 9 de marzo de 1895 a 1130 horas, zarpaba de Cádiz el “Regente” rumbo a Tánger, llevando a bordo la embajada del Sultán de Marruecos, que en Madrid había mantenido conversaciones acerca de la revisión del Tratado de Marraquech de fecha 5 de marzo de 1894 que puso fin a la contienda hispano-marroquí.
- Tras desembarcar a la embajada, el 10 de marzo sobre las 1030 horas zarpó de vuelta a Cádiz para participar en la botadura del crucero “Carlos V”. Se suponía que debía entrar el día 11 en la engalanada ciudad, lista para celebrar otra incorporación en la Armada. Pero nunca llegaría a su destino.
- El 10 de marzo de 1895, a las pocas horas de salir de Tánger, el buque y los 412 hombres de su dotación desaparecieron sin casi dejar rastro en un duro temporal de componente Sur, fuerza 10, con mar de viento de esa dirección y mar de leva del Noroeste de unos 3,5 m. Ningún tripulante sobrevivió.

## La investigación del accidente

- A los pocos días del accidente se formó una Comisión formada por el C.F D. Fernando Villaamil y el Ingeniero Jefe D. José de Castellote, quienes redactaron un Informe sobre las causas de la pérdida del buque que se presentó ante una Junta presidida por el Ministro de Marina el 5 de febrero de 1986.
- Las conclusiones del Informe ratificadas por la Junta fueron:
  - Que el Reina Regente no tenía defecto alguno marineramente que le señalase como peligroso para las navegaciones asignadas a los cruceros de su clase.
  - Que su pérdida se debió a un inesperado y duro temporal que inundando compartimentos y cubiertas de proa le hizo zozobrar, habiendo quedado antes sin gobierno, por causas desconocidas.
  - Que era muy verosímil la suposición de que fuese el RR el buque que algunos habitantes de la villa de Bolonia (municipio de Tarifa) avistaron y creen naufragó cerca de su costa.
  - Que, en definitiva, tras lamentar las pérdidas humanas, la pérdida se debió a “causas inescrutables del destino”.



El Informe oficial sobre el accidente.

INFORME

*Acerca de las causas probables de la pérdida*

del

Crucero "Reina Regente"

"Informe sobre las causas probables de la pérdida del crucero Reina Regente" del Capitán de Fragata Fernando Vilaamil y el Ingeniero Jefe de 1ª Clase José Castellote. Editorial Sucesores de Rivadeneyra, Madrid, 1896.

GMm  
2513

# El Informe de Villaamil-Castellote

- El Informe se estructuró en ocho grandes grupos, a saber.
  - Condiciones del buque cuando se recibió de la casa constructora.
  - Modificaciones importantes desde el día de su entrega hasta la salida de Tánger.
  - Opiniones y juicios de sus Comandantes respecto a sus condiciones marineras y resoluciones de las autoridades superiores.
  - Crítica de tales opiniones tras hacer los cálculos y comparar al RR con otros buques similares.
  - *Estado de fuerza y vida* del crucero cuando salió de Cádiz, deduciendo cuales debían ser las condiciones a la salida de Tánger.
  - Características del temporal, según datos de los observatorios y de otros buques que navegaban en la zona.
  - Maniobras del RR que se conocen tras la salida de Tánger hasta que se perdió de vista por el vapor Mayfield a media travesía.
  - Hipótesis más racionales sobre las causas de la pérdida tomando en consideración las averías que pudo sufrir y la falta de estabilidad en caso de inundación de algunos compartimentos.



## El Informe de Villaamil-Castellote (Continuación)

- El Informe es un documento prolijo en el que se investiga a fondo una posible pérdida de estabilidad por inundación, tras estudiar y descartar un hipotético fallo estructural. Debido a las limitaciones de tiempo de esta exposición nos centraremos en el estudio de estabilidad, que se puede resumir como sigue:
  - Se expone de inicio la **información relacionada con la estabilidad constante en el historial del buque tras su entrega, sorprendentemente escasa, tan solo unas hidrostáticas (asumimos que con trimado cero) y tres curvas de brazos adrizantes para otros tantos casos de carga.**
  - Se manifiesta que las modificaciones habidas tras la entrega fueron de menor magnitud e importancia, desde el punto de vista de la estabilidad, salvo la sustitución de los cañones de 20 cm por los de 24 cm.
  - Se manifiesta que el único defecto importante encontrado es **un exceso de calados respecto a los proyectados, en todas las condiciones de carga.**
  - Se hacen de lado las opiniones de tres Comandantes relativas a ser un buque “blando”, en virtud de que el estudio de estabilidad hecho por el constructor para el cambio de los cañones de 20 por los de 24 no indicaba problemas.

TABLA DE DESPLAZAMIENTOS Y ESTABILIDAD.

ALTURA de las secciones horizontales sobre la línea cero.	DESPLAZAMIENTO correspon- diente en toneladas.	DESPLAZAMIENTO por centímetro en el canto alto de cada sección en toneladas.	DESPLAZAMIENTO por centímetro entre cada dos secciones en toneladas.	ÁREAS de las superficies sumergidas de la cuaderna maestra.	SECCIONES HORIZONTALES.		CENTROS DE PRESIÓN.		ALTURAS de los metacentros latitudinales sobre centros de carena.	ALTURA de los metacentros longitudinales sobre centros de carena.
					Áreas.	Distancias de los centros de gravedad a la per- pendicular de popa.	Distancias a la per- pendicular de popa.	Alturas sobre la línea cero.		
m				m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m	m	m	m	m
3.0	1.900	8.57	»	38	832	48.47	49.87	1.72	5.37	173.7
4.0	2.810	9.32	9.1	53.30	913	48.25	49.46	2.30	4.3	140
5.0	3.760	9.79	9.5	69	960	47.84	48.97	2.87	3.5	115.1
5.1	3.860	9.84	10	70.30	961	47.80	48.92	2.925	3.43	113.4
5.2	3.960	9.87	10	71.80	964	47.75	48.87	3.98	3.37	111.3
5.3	4.060	9.90	10	73.50	967	47.69	48.82	3.035	3.3	109.2
5.4	4.160	9.93	10	75	970	47.63	48.78	3.090	3.24	107.4
5.5	4.260	9.96	10	76.30	973	47.59	48.75	3.145	3.18	105.5
5.6	4.361	9.99	10.1	77.90	975	47.52	48.71	3.2	3.12	103.8
5.7	4.462	10.01	10.1	79.50	977	47.46	48.67	3.255	3.06	101.8
5.8	4.563	10.03	10.1	81	979	47.40	48.64	3.31	3	100
5.9	4.664	10.05	10.1	82.60	980	47.35	48.61	3.365	2.95	98.2
6.0	4.765	10.07	10.1	84.20	981	47.29	48.59	3.42	2.90	96.4
6.1	4.866	10.09	10.1	85.70	982	47.23	48.57	3.475	2.85	95
6.2	4.967	10.10	10.1	87.20	984	47.17	48.54	3.53	2.80	93.4
6.3	5.068	10.12	10.1	88.70	985	47.10	48.51	3.585	2.75	91.6
6.4	5.169	10.13	10.1	90.20	986	47.04	48.49	3.64	2.70	90
6.5	5.270	10.14	10.1	91.80	987	46.98	48.48	3.695	2.65	88.6
6.6	5.372	10.15	10.2	93.30	988	46.90	48.45	3.75	2.60	87
6.7	5.474	10.16	10.2	94.80	989	46.84	48.43	3.805	2.55	85.4
6.8	5.576	10.17	10.2	96.50	991	46.77	48.41	3.86	2.50	83.8
6.9	5.678	10.18	10.2	98.10	992	46.70	48.40	3.915	2.45	82.4
7.0	5.780	10.19	10.2	99.70	993	46.63	48.39	3.97	2.40	80.9

Relación del volumen de obra viva al paralelepípedo circunscrito, 0<sup>m</sup>,519.

Idem id. al prisma, 0<sup>m</sup>,570.

Idem id. del área de la cuaderna maestra al paralelogramo, 0<sup>m</sup>,910.

Idem id. del área de flotación al paralelogramo, 0<sup>m</sup>,655.

La perpendicular del medio está en la cuaderna 60.

BRAZOS DE PALANCA DE LOS PARES DE ESTABILIDAD PARA DIVERSAS INCLINACIONES.

ÁNGULOS DE INCLINACIÓN.	BRAZOS DE PALANCA.		
	A.	B.	C.
10°	0 <sup>m</sup> ,100	0 <sup>m</sup> ,115	0 <sup>m</sup> ,110
20	0,225	0,265	0,245
30	0,375	0,425	0,390
40	0,560	0,605	0,420
50	0,590	0,650	0,385
60	0,560	0,565	0,285
70	0,345	0,400	0,145
79	»	»	»
80	0,160	0,205	»
87	»	»	»
89	»	»	»

VALORES DE  $\rho - a$ .

Condición A.....	0 <sup>m</sup> ,619
» B.....	0,765
» C.....	0,616

Las pruebas de velocidad fueron verificadas en las condiciones siguientes:

### Desplazamiento.

PESOS EN LAS PRUEBAS.

Según contrato.

	TONELADAS.
Peso del casco y arboladura.....	1.799
Cubierta protectriz.....	710
Máquinas principales.....	1.040
Idem auxiliares.....	53,12
Botes.....	24,5
Anclas y cadenas.....	83,9
Armamento, carbón, etc., según contrato.....	927,15
TOTAL.....	4.638,1



## El Informe de Villaamil-Castellote (Cont.)

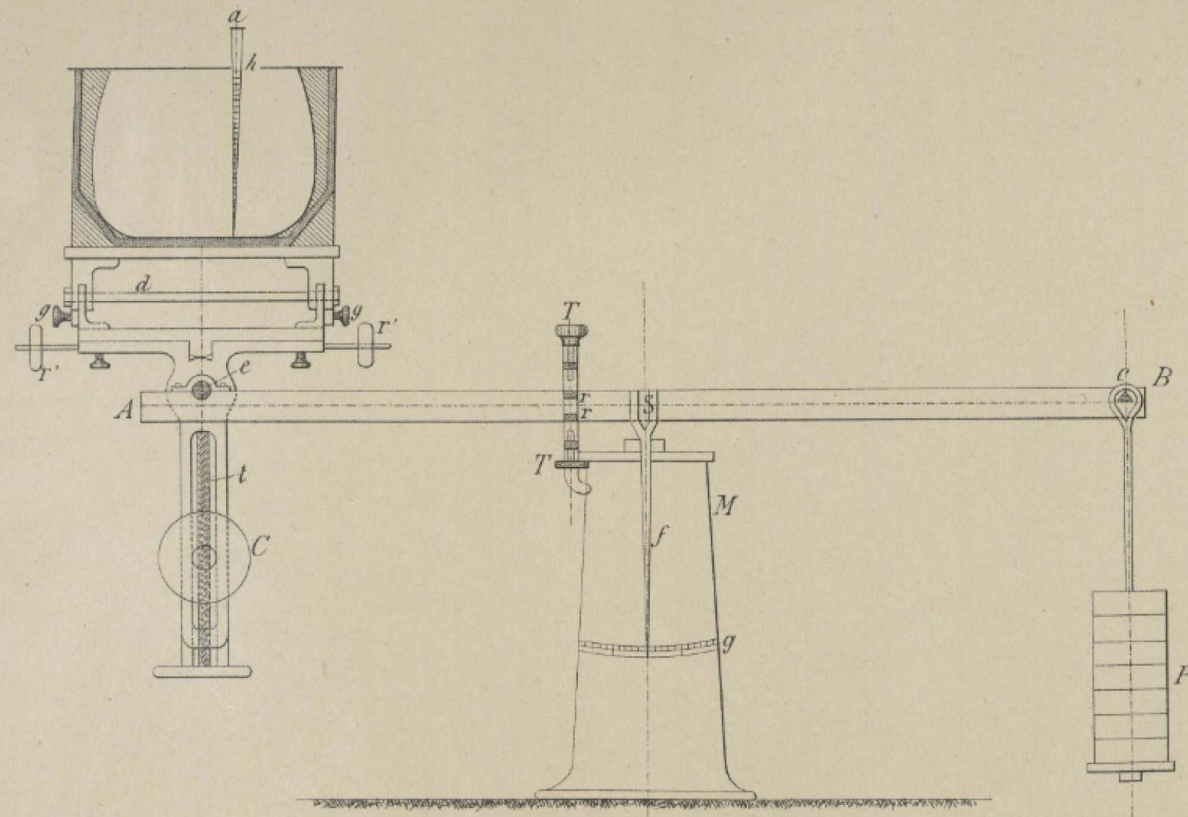
- Se deja de lado la escasa información de estabilidad de que se disponía y se hace un prolijo estudio de estabilidad basándose en los cruceros Alfonso XIII y Lepanto, en construcción siguiendo el prototipo Reina Regente.
- Se parte de una experiencia de inclinación efectuada en el Alfonso XIII el 22 de junio de 1895, con el buque todavía en construcción y a falta de la incorporación de numerosos e importantes pesos y por otro lado con la presencia a bordo de pesos relacionados con la construcción y ajenos al rosca.
- Se listan prolijamente tales pesos, con sus centros de gravedad, resultando unos totales de unas 380 toneladas de pesos faltantes, a los que añade unas 61 toneladas por la diferencia de incremento del calibre de los cañones de 20 a 24 y se retiran unas 87 toneladas de pesos ajenos al rosca. Teniendo esto en consideración se tendría un desplazamiento en rosca de unas 3.884 toneladas
- Añadiendo pesos de carbón tripulación, víveres, torpedos, munición, aguas en tanques, etc, se llega a un desplazamiento en carga, que en el historial se califica como siendo el “normal”, de unas 4.740 toneladas.

## El Informe de Villaamil-Castellote (Cont.)

- Al no haber en el historial el detalle de pesos de tal condición “normal”, la Comisión hace una serie de suposiciones y correcciones que le llevan a determinar que el desplazamiento en rosca era de 3.992 t frente a las 3,986 t constantes en el historial, con solamente una diferencia de 6,5 cm en la posición vertical del centro de gravedad.
- A partir de aquí y sabiendo el estado de carga a la salida de Cádiz, constante en el parte de guardia de la Escuadra, determina que a la Salida de Tánger el RR desplazaba 4.950 t con un calado medio de 6,183 metros y una altura del centro de gravedad de 5,413 m según el Historial.
- Como para calcular la estabilidad en diferentes condiciones de carga e inundación hace falta desarrollar una panoplia de tablas o curvas de carenas rectas (hidrostáticas) y carenas inclinadas (curvas KN), para diferentes calados, escoras y asientos, que en aquellos días del cálculo a mano eran terriblemente tediosas y de gran consumo de tiempo, los autores recurrieron a la ayuda de un artilugio existente en el Arsenal de Ferrol, una “balanza de estabilidades” desarrollada por el Inspector de 2ª Clase de Ingenieros de la Armada, D. Pablo Seoane. Para utilizar este artilugio era preciso hacer un modelo en negativo del casco, lo que implica que se conocían las formas del RR (pág. 39).



# Croquis de la balanza para determinar la estabilidad.



*Nové Castelleto*

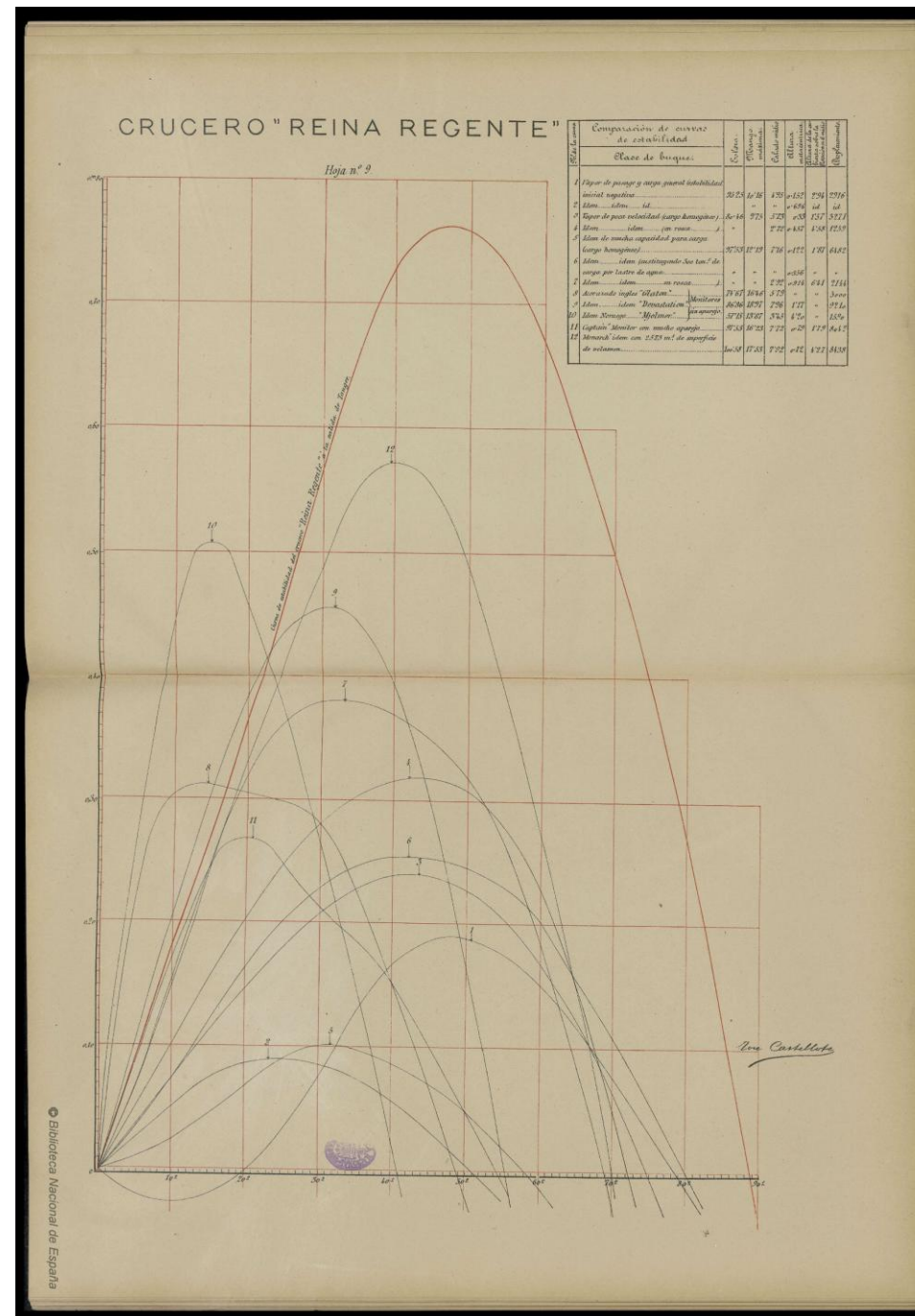
## El Informe de Villaamil-Castellote (Cont.)

- Con estas curvas e información construyen la curva de brazos adrizantes de Reina Regente en el momento de salida Tánger, que comparan con las de otros buques similares, resultando ser la mejor de todos ellos con diferencia.
- Armados de tal curva de estabilidad transversal y tras hacer una serie de estudios y consideraciones sobre los movimientos de balance y cabezada, así como descartar un embarrancamiento o colisión con otro buque, llevan a cabo el estudio del efecto que tendrían eventuales inundaciones en los compartimentos del buque.
- Inician con la suposición de inundación de los espacios de los cañones Nordenfelt de proa, que iban en los costados del casco bastante cercanos a la flotación y con cierres no estancos, la plataforma bajo los cañones de 24 cm de proa y las carboneras centrales y laterales entre cuadernas 81 y 98, suponiendo los espacios completamente llenos y un peso total de agua embarcada de 504,59 toneladas
- Consideran también el efecto adicional de un viento de 90 km/h, que consideran el más duro sufrido, actuando lateralmente sobre el buque con sus velas aferradas.
- Resultado: La curva de estabilidad remanente aún era bastante buena y era difícil que el barco zozobrase.



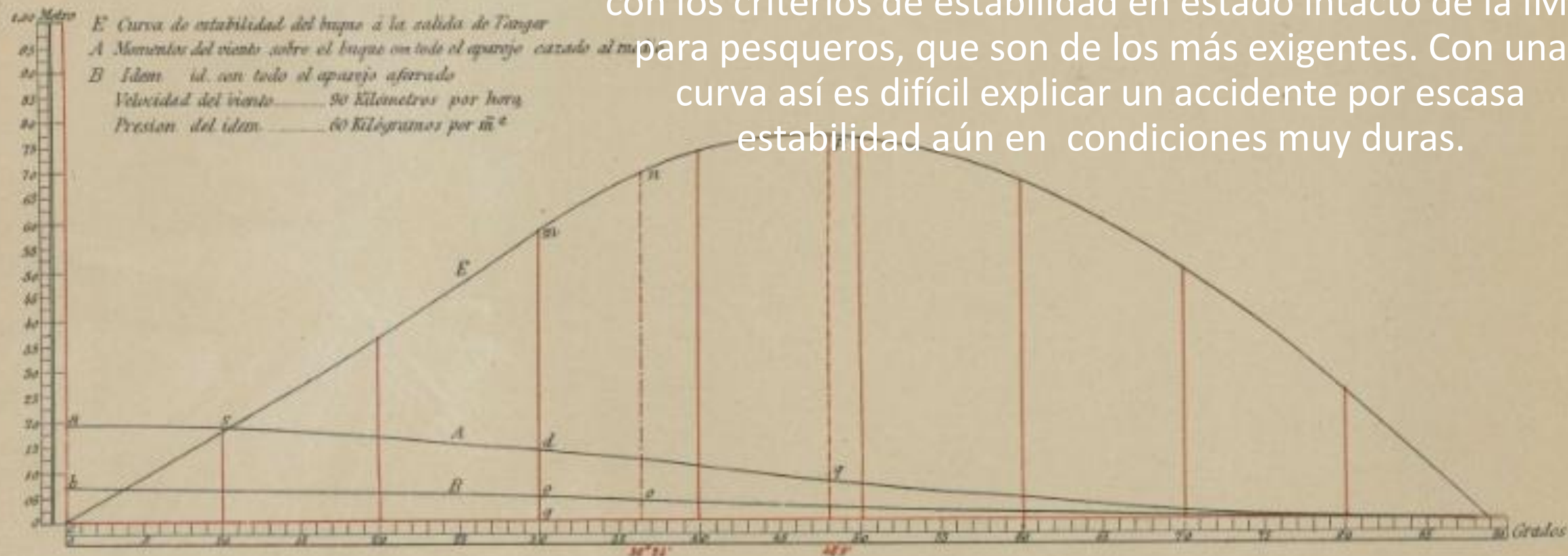
Curva de brazos adrizantes deducida por Castellote para la salida de Tánger, comparada con las de varios buques similares.

Como se aprecia es con diferencia la mejor de todas ellas, con un GZ máximo del orden de 0,75 m a unos 47 grados, alto GMo y un ángulo de anulación del GZ de casi 90 grados. Una curva excelente, pero que conllevaría movimientos rápidos de balance, poco aptos para el combate naval con artillería, contradiciendo lo que manifestaron sus Comandantes.



Misma curva de brazos adrizantes GZ en una representación más habitual, con el eje de abcisas ampliado y el de ordenadas disminuido respecto a la anterior



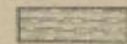

Es una curva con la que se cumple ampliamente incluso con los criterios de estabilidad en estado intacto de la IMO para pesqueros, que son de los más exigentes. Con una curva así es difícil explicar un accidente por escasa estabilidad aún en condiciones muy duras.

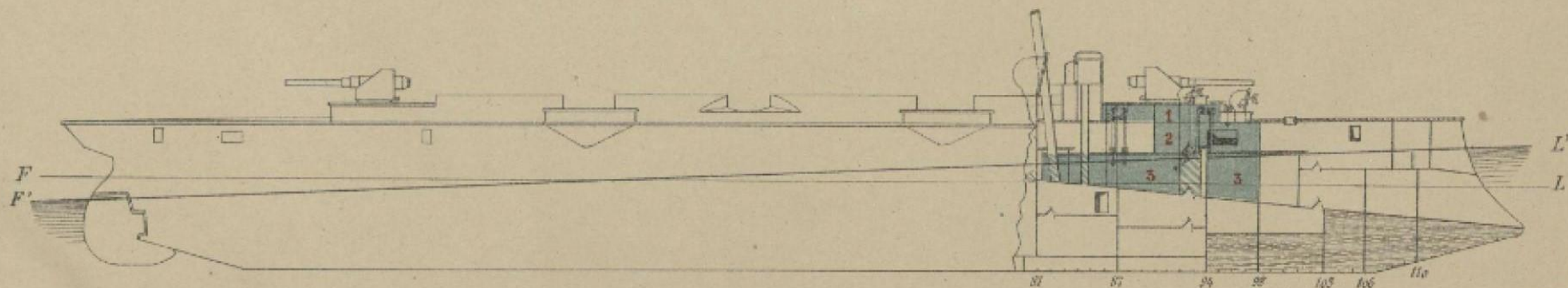


Amé Castellote



# Caso 1º

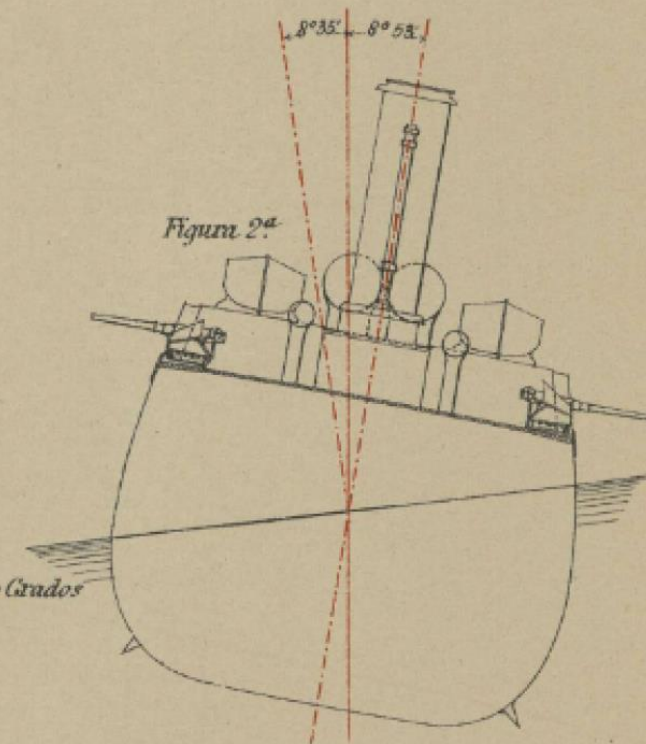
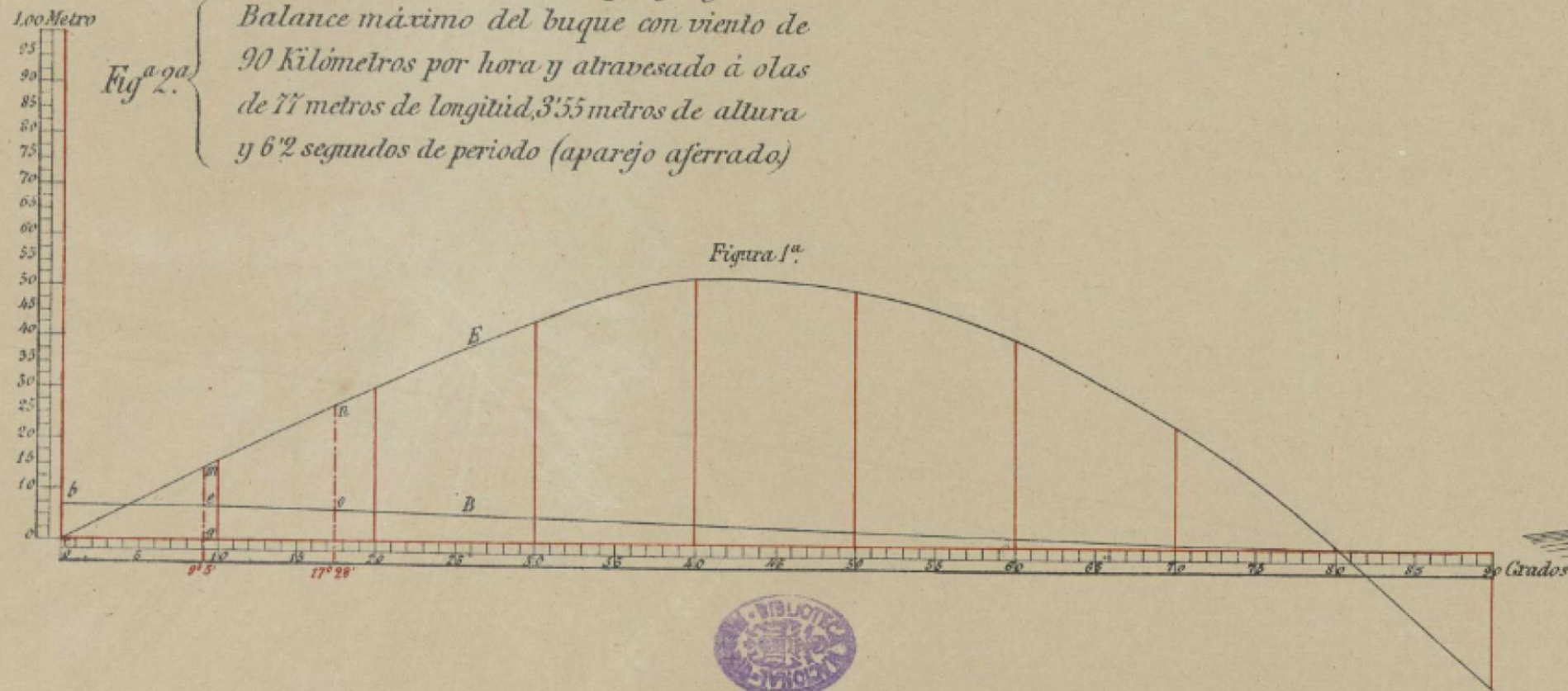
-  Orificios por los que pasa el agua.  
 Id. que dan paso al agua á través de las cubiertas.  
 Agua que se supone llevaba el buque.  
 Compartimientos que se inundan (1º caso) = 504,590 Tons.  
*F L*..... Flotación del buque á la salida de Tünger  
*F' L'*..... Flotación con los compartimientos inundados  
*1*..... Plataforma de cañones de 24 <sup>c</sup>/<sub>m</sub>.  
*2*..... Compartimiento de cañones Nordensfeldt.  
*3*..... Carboneras centrales.  
*4*..... Id. laterales.





# Buque con compartimientos inundados (1.<sup>er</sup> caso)

Fig.<sup>a</sup> 1.<sup>a</sup> { E Curva de estabilidad  
B Momentos del viento con el aparejo aferrado.  
Balance máximo del buque con viento de  
90 Kilómetros por hora y atravesado a olas  
de 11 metros de longitud, 3.55 metros de altura  
y 6.2 segundos de periodo (aparejo aferrado)



Doni Castellose



## El Informe de Villaamil-Castellote (Cont.)

- Sigue el informe considerando inundaciones cada vez más extensas, llegando a considerar los espacios inundados en el Caso 1 más la sala de torpedos de proa y todas las carboneras centrales y laterales sobre la cubierta protectriz (Caso 3º), e incluso las cámaras de máquinas (Caso 4º)
- Resultado: La estabilidad remanente aún era lo suficientemente buena para resistir sin grandes problemas al viento de mayor intensidad del temporal, 90 km/h y los balances de unas olas de 77 metros de longitud, 3,55 metros de altura y 6,2 segundos de período de altura incidiendo por el costado, que son las que estima que pudo causar el viento de componente sur. Las de mar de fondo tenían una altura similar pero una longitud de onda bastante mayor.

# Caso 4º

*F L* Flotacion del buque á la salida de Tanger

*F' L'* Id. con los compartimientos inundados

→ Orificios por los que pasa el agua.

Id. que dan paso al agua á través de las cubiertas.

Aqua que se supone llevaba el buque.

Compartimientos que se inundan (1º caso) = 504,590 Ton.<sup>s</sup>

Id. id. id. además de los del caso anterior (2º caso) = 149,420 Ton.<sup>s</sup>

Id. id. id. (3º caso) = 962,854 Ton.<sup>s</sup>

Id. id. id. (4º caso) = 1.052,592 „

1 Plataforma de cañones de 24  $\frac{1}{2}$ m.

2 Compartimiento de cañones Nordenfeldt.

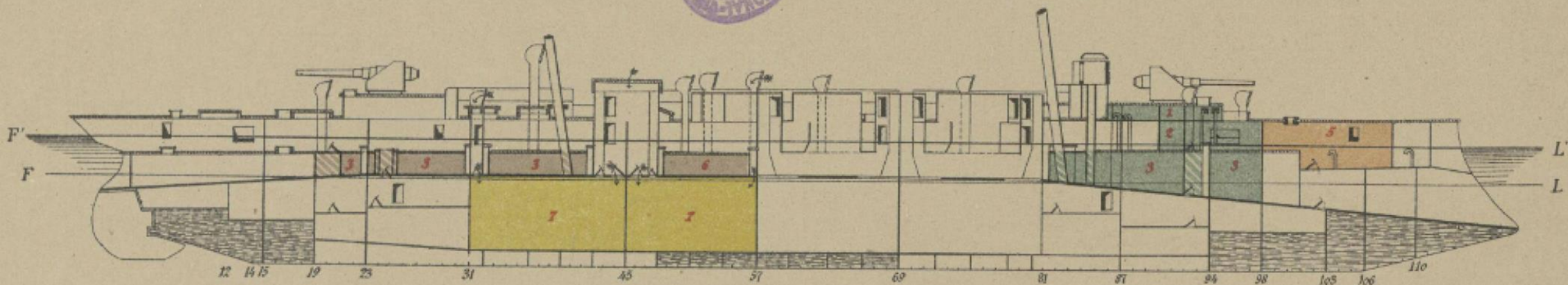
3 Carboneras centrales.

4 Id. laterales.

5 Compartimiento de torpedos.

6 Pañol de maquinistas.

7 Compartimientos de máquinas.

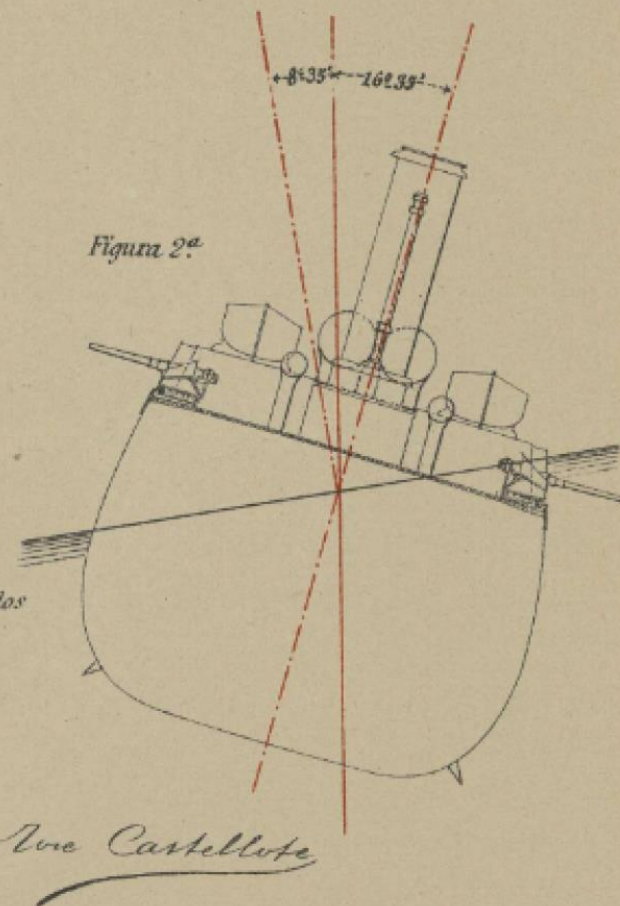
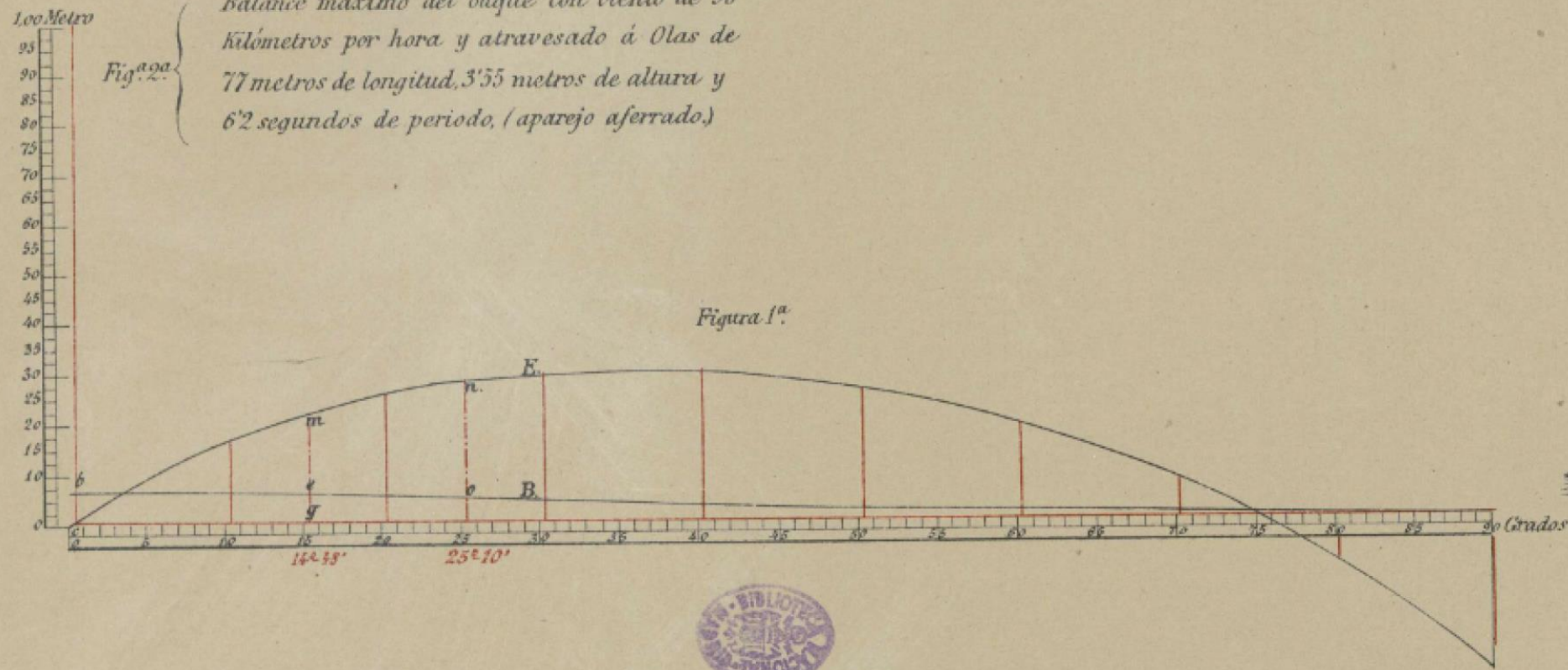




# Buque con compartimientos inundados (4º caso)

Fig.<sup>a</sup> 1.<sup>a</sup> { E. Curva de estabilidad.  
B. Momentos del viento con el aparejo aferrado.

Fig.<sup>a</sup> 2.<sup>a</sup> { Balance máximo del buque con viento de 90  
kilómetros por hora y atravesado á Olas de  
77 metros de longitud, 3'55 metros de altura y  
6'2 segundos de periodo, (aparejo aferrado.)



# El Informe de Villaamil-Castellote (Final)

- En vista de que no parece que el buque tenga una estabilidad peligrosa en tales suposiciones, los autores siguen añadiendo inundaciones bajo la cubierta protectriz (calderas y otros espacios) hasta que se sobrepasa la flotabilidad del buque, por lo que se hundiría simplemente por peso excesivo. Esto resulta poco o nada probable.
- Para finalizar estudian qué pasa si se trasladan 500 toneladas de agua desde el centro de gravedad del buque a la cubierta principal para los tres primeros casos de inundación estudiados, con lo que (¡por fin!) se consigue que la curva de viento sobrepase a las de brazos adrizantes en el tercer caso, que es el de los compartimentos de proa inundados más todas las carboneras centrales y laterales sobre la cubierta protectriz. Esto supone que se habrían embarcado unas 1.617 toneladas de agua y de ellas 500 sobre cubierta principal. Una auténtica hecatombe, solo creíble si el buque estaba sin gobierno y la tripulación incapaz de poder contener las inundaciones ni achicar. Una hipótesis plausible pero que se nos antoja muy improbable.
- Si no pasó así ¿Qué pudo haber pasado? ¿Era la estabilidad en estado intacto del Reina Regente tan buena como lo refleja la curva que dedujeron los autores del Informe? Cabe cuestionarlo. En nuestra opinión hay otra posibilidad hacia la que apuntan las opiniones de sus Comandantes. Veamos.

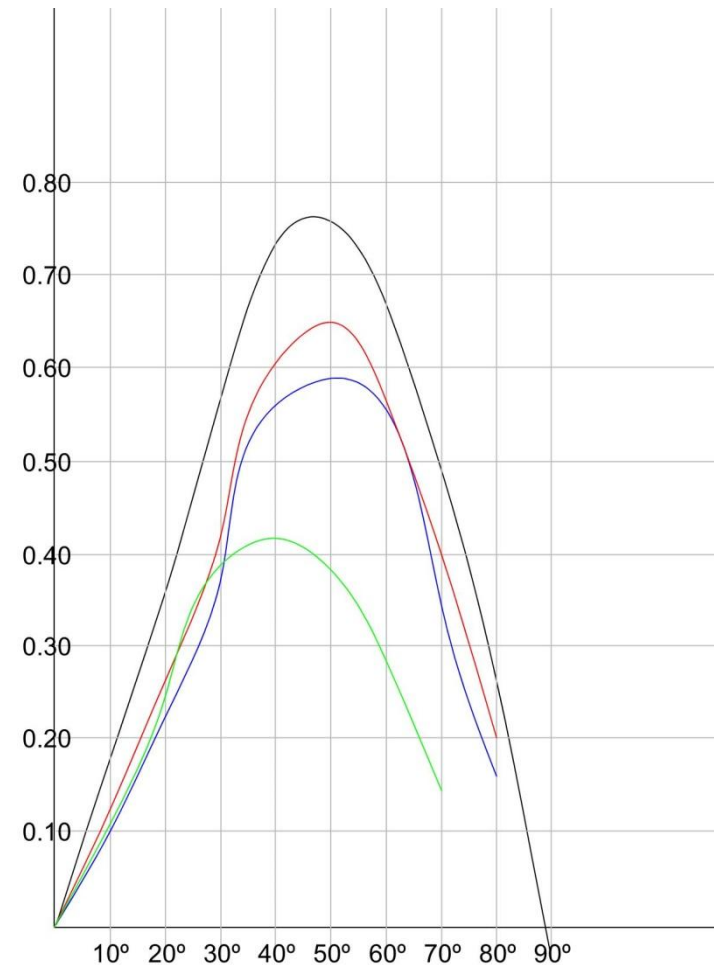


# Hipótesis basada en las curvas del Historial.

- Villaamil y Castellote inician su Informe con los datos de estabilidad constantes en el Historial del buque, pero como son escasos deciden no utilizarlos y efectuar un nuevo y completo cálculo basándose en la experiencia de estabilidad realizada al Alfonso XIII en junio del 86, teóricamente gemelo de del Reina Regente, corrigiendo por pesos faltantes y sobrantes, añadiéndole además la diferencia de pesos entre los cañones de 24 y los de 20. A partir del rosca así obtenido estiman la condición de carga a la salida de Tánger.
- La curva de brazos adrizantes que obtuvieron para esa condición era excelente, como vimos y resultaba difícil que el RR se hundiera aún con serias inundaciones. Pero si comparamos tal curva con las de los tres casos de carga que constan en el Historial, podemos apreciar que no parecen corresponderse con la de Castellote y que a partir de cierto calado cuanto más cargado iba el buque, más baja era su curva de brazos adrizantes.
- Esta reducción de las curvas de brazos adrizantes con el incremento de desplazamiento a partir de un cierto calado se debía a la reducción de manga en la parte alta de los costados (tumblehome en inglés).

# Comparativa de curvas GZ

Castellote (en negro) versus  
las tres curvas del Historial  
(de colores).



HOJA N°2 CASTELLOTE SALIDA TANGER

PAGINA 13 ROSCA

PAGINA 13 DESPLAZAMIENTO NORMAL

PAGINA 13 DESPLAZAMIENTO CARBON LLENO

DESP.= 4950 t

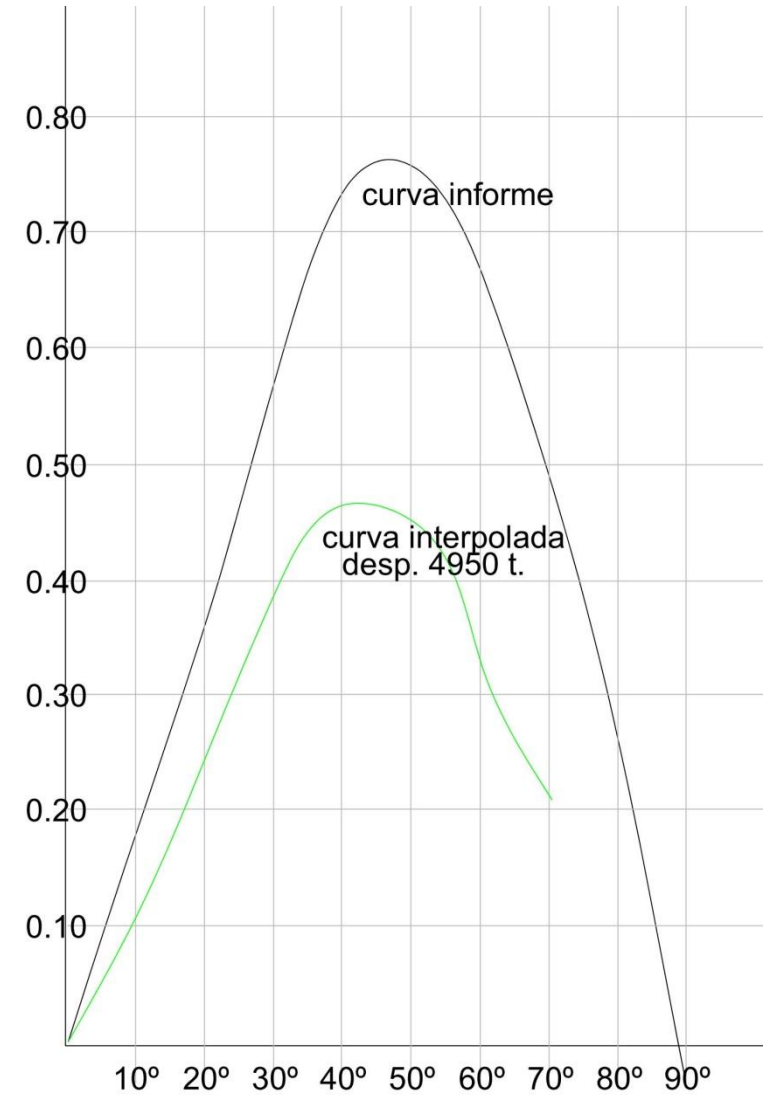
DESP.= 3986 t

DESP.= 4740 t

DESP.= 5620 t

Interpolando grosso modo las curvas B y C del Historial para obtener una hipotética curva para las 4.950 toneladas de salida de Tánger....

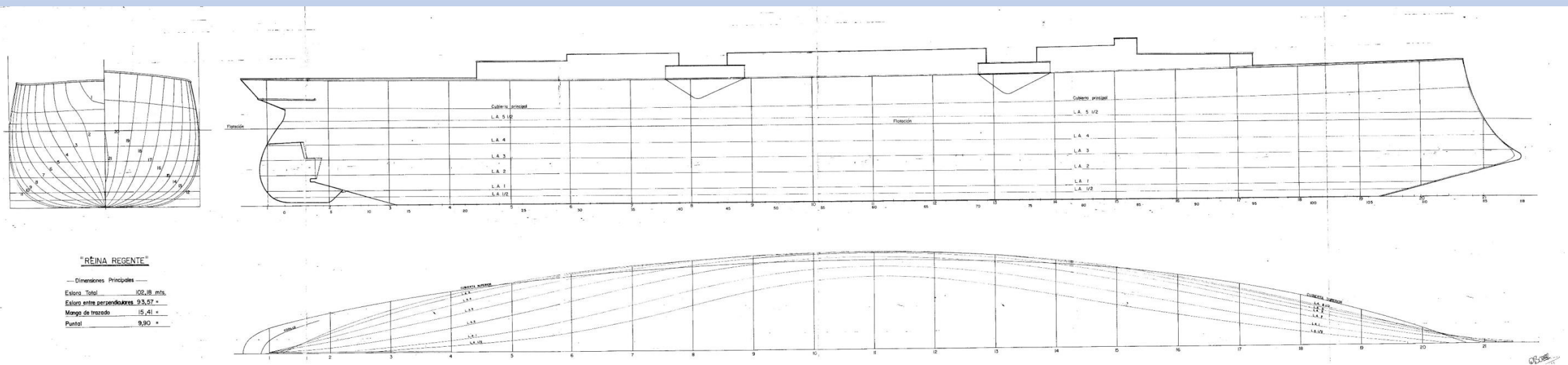
....vemos que es mucho más baja y de menor área que la que obtuvo Castellote para ese desplazamiento.





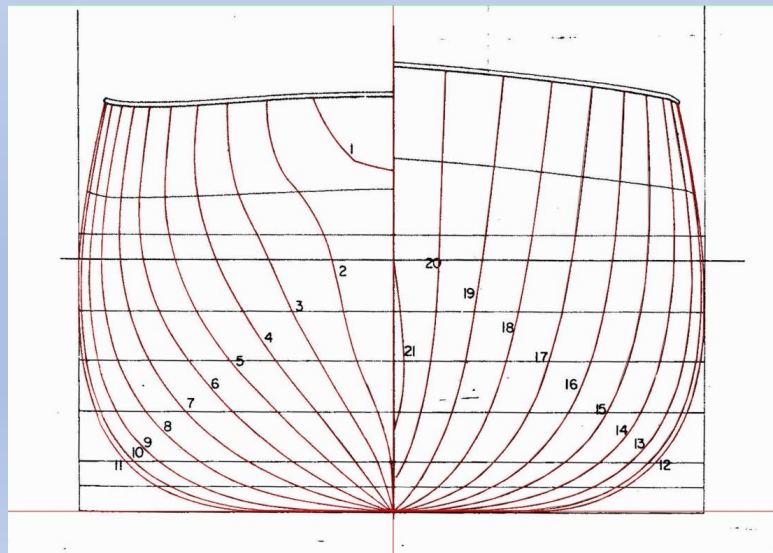
# Cálculos a partir de un Plano de Formas.

Este aproximado análisis de las curvas del Historial nos hace sospechar que la curva de estabilidad real del Reina Regente a la salida de Tánger en realidad no era tan buena como la dedujo Castellote, pero para comprobarlo necesitábamos disponer de un Plano de Formas sobre el que trabajar. Juan Carlos Mejías Taverro, aquí presente, tuvo la amabilidad de proporcionarnos copia de uno que hay en el Museo Naval de Madrid, en el que consta el nombre de “Reina Regente”.



## Cálculos a partir de un Plano de Formas (Cont.)

- La manga (15,41 m) y el puntal (8,90 m y no 9,90 m) en el plano coinciden bastante bien con los del Historial, pero hay una pequeña diferencia en la eslora entre perpendiculares, que en el Historial consta como siendo de 93,57 m, mientras que midiendo en el plano obtenemos 93,09 m. Esto podría deberse a una deformación al hacer fotocopias, escaneos, etc., o bien a que nosotros estamos aplicando la definición actual de eslora entre perpendiculares, que tal vez no coincida con la que se usaba a finales del XIX. Decidimos trabajar con este plano de formas, digitalizando la caja de cuadernas y obteniendo las hidrostáticas y curvas KN para varios trimados.





# Cálculos a partir de un Plano de Formas (Cont.)

## Buque: REINA REGENTE

### Tabla de Hidrostáticas

Trimado: .000 M

CAL (M)	VOL (M3)	DES (TM)	XCC (M)	ZCC (M)	AFL (M <sup>2</sup> )	XCF (M)	SMO (M <sup>2</sup> )	KML (M)	KMT (M)	TPC	MCT	CB	CM	CF	CP
5.000	4001.29	4101.32	45.103	2.843	1029.82	43.610	1620.90	132.926	6.338	10.56	51.62	.560	.884	.721	.634
5.100	4104.54	4207.15	45.064	2.899	1033.58	43.561	1641.76	130.705	6.326	10.59	52.00	.564	.886	.724	.636
5.200	4208.14	4313.35	45.026	2.954	1037.23	43.516	1662.57	128.559	6.316	10.63	52.37	.567	.888	.726	.639
5.300	4312.11	4419.91	44.988	3.009	1040.80	43.472	1683.37	126.502	6.309	10.67	52.74	.570	.889	.729	.641
5.400	4416.42	4526.83	44.951	3.065	1044.35	43.428	1704.17	124.535	6.305	10.71	53.11	.573	.891	.731	.643
5.500	4521.08	4634.11	44.915	3.120	1047.74	43.387	1724.92	122.616	6.302	10.74	53.46	.576	.892	.734	.645
5.600	4626.05	4741.71	44.879	3.175	1050.74	43.344	1745.61	120.722	6.298	10.77	53.79	.578	.894	.736	.647
5.700	4731.31	4849.59	44.844	3.230	1053.43	43.302	1766.27	118.879	6.295	10.80	54.10	.581	.896	.738	.649
5.800	4836.82	4957.74	44.810	3.285	1056.05	43.258	1786.91	117.109	6.293	10.83	54.41	.584	.897	.740	.651
5.900	4942.58	5066.15	44.776	3.340	1058.57	43.214	1807.55	115.400	6.292	10.85	54.72	.587	.898	.741	.653
6.000	5048.58	5174.80	44.742	3.395	1060.95	43.173	1828.17	113.753	6.292	10.88	55.02	.589	.900	.743	.655
6.100	5154.81	5283.68	44.709	3.449	1057.36	42.865	1848.52	109.328	6.292	10.84	56.82	.592	.901	.740	.657
6.200	5261.24	5392.77	44.677	3.504	1059.36	42.833	1868.72	107.840	6.293	10.86	57.12	.594	.902	.742	.659
6.300	5367.86	5502.05	44.646	3.559	1061.23	42.803	1888.92	106.403	6.295	10.88	57.42	.597	.903	.743	.661
6.400	5474.65	5611.51	44.615	3.613	1063.01	42.772	1909.11	105.015	6.298	10.90	57.72	.599	.904	.744	.662
6.500	5581.61	5721.15	44.584	3.667	1064.71	42.739	1929.31	103.680	6.303	10.91	58.01	.601	.905	.746	.664
6.600	5688.74	5830.96	44.554	3.722	1066.50	42.700	1949.56	102.437	6.309	10.93	58.34	.604	.906	.747	.666
6.700	5796.03	5940.93	44.525	3.776	1068.08	42.664	1969.77	101.211	6.315	10.95	58.64	.606	.907	.748	.668
6.800	5903.47	6051.05	44.496	3.830	1069.50	42.629	1989.99	100.023	6.322	10.96	58.94	.608	.908	.749	.669
6.900	6011.03	6161.31	44.467	3.884	1070.91	42.590	2010.25	98.911	6.329	10.98	59.26	.610	.909	.750	.671
7.000	6118.73	6271.70	44.439	3.938	1072.28	42.548	2030.52	97.834	6.338	10.99	59.58	.612	.910	.751	.673

## Cálculos a partir de un Plano de Formas (Cont.)

- Comparando las carenas rectas para trimado cero con las del Historial para 5,90 m de calado, que dice ser la condición en completo armamento, vemos que el plano de formas refleja un casco algo más lleno, con un desplazamiento un 10% mayor que el del Historial y mayores coeficientes de bloque, prismático y de flotación. Los centros de carena y de flotación más retrasados para casi igual área y coeficiente de la maestra, nos indican que nuestro casco es más lleno en el semicuerpo de popa que el del Historial. Sin embargo la posición vertical del CC es bastante coincidente.

REINA REGENTE												
CALADO 5,9 m												
	DES (t)	TPC (t)	AM (m2)	AFL (m2)	XCF (m)	XCC (m)	ZCC	CB	CP	CM	CF	
HISTORIAL	4664,000	10,050	82,600	980,000	47,350	48,610	3,365	0,519	0,570	0,910	0,655	
PLANO FORMAS	5058,890	10,840	81,840	1057,420	43,284	45,020	3,337	0,586	0,652	0,899	0,740	
DIF. PF - H	394,890	0,790	-0,760	77,420	-4,066	-3,590	-0,028	0,067	0,082	-0,011	0,085	
Nota: Suponemos el origen de coordenadas en el eje del timón.												

- No sabemos si este plano se usó para realizar la maqueta que también está en el Museo Naval, o se derivó de ella, pero de haber sido así es posible que se partiera de la maestra cuya sección aparece en el Informe de la Comisión y luego se aproximaran, a partir de otros buques de la misma tipología, las formas del casco.



## Cálculos a partir de un Plano de Formas (Cont.)

- Introducimos ahora en el programa de arquitectura naval los datos de la experiencia de estabilidad que se realizó al Alfonso XIII:

Calado a proa:	3,878 m
Calado a popa:	5,673 m
Peso escorante:	13,235 toneladas
Longitud péndulo:	4,60 metros
Distancia de traslado:	11,398 m
Desvio medio:	0,153 m

- Y con esto obtenemos un desplazamiento y posición del CdG del buque en la experiencia, que comparamos con los del Informe:

DESPLAZAMIENTO (t)			Xg (m)				Zg (m)		
INFORME	PLANO	DIF.	INF.	PLANO	DIF.	INF.	PLANO	DIF.	
3.530	3.927,61	397,61	46,3	42,6	-3,7	5,94	5,85	-0,09	

- Como vemos sí hay bastante diferencia en desplazamiento, unas 400 t, pero poca en la posición vertical del centro de gravedad.

# Cálculos a partir de un Plano de Formas (Cont.)

- A continuación añadimos los pesos indicados en la pág 35 del Informe, sin consumibles (pesos faltantes del rosca).

RESUMEN.					
NOMBRES.	Pesos en kilogramos.	Abscisas referidas a la pte. de popa.	Momentos horizontales.	Ordenadas referidas a la línea cero.	Momentos verticales.
Boque al hacer la experiencia.....	3,559,000,000	46,2971	163,428,763,000	5,9445	20,984,085,000
Cuadro núm. 1.....	61,192,000	56,565	3,461,376,540	6,321	386,781,700
Idem id. 2.....	18,172,000	42,365	769,859,740	10,011	181,913,010
Idem id. 3.....	76,282,000	35,204	1,946,423,760	6,779	374,797,490
Idem id. 4.....	107,100,000	67,143	7,150,989,400	9,063	970,617,000
Idem id. 5.....	54,500,000	44,987	1,083,479,800	13,035	319,353,000
Idem id. 6.....	41,320,000	36,538	1,509,774,116	8,220	338,855,464
Idem id. 7.....	71,879,000	34,682	2,492,919,473	4,280	307,676,432
Aumento por 4 cañones, montajes y mangleles de 24 sobre los de 20 centímetros.....	60,600,000	46,690	2,829,414,000	12,672	767,923,200

- Y descontamos las 86,845 toneladas de pesos ajenos al rosca que se indican en el cuadro 8 de la página 34. Obtenemos con ello lo siguiente:

Peso en rosca (t)		Xg (m)	Zg (m)
Plano	4.281	43	6,120
Informe	3.992	.-	5,701
Historial	3.986	.-	5,766

- Nuestro barco desplaza en rosca unas 290 toneladas más que el del Informe y con un centro de gravedad casi 42 cm más alto. Esto es una diferencia notable.

## Cálculos a partir de un Plano de Formas (Cont.)

- Añadimos ahora los pesos indicados en la pág. 37 como carga existente en el buque a la salida de Cádiz, según el parte de guardia la Escuadra, que asumimos como muy parecido al de salida de Tánger por ser corta la travesía.

Para determinar la disposición del buque á la salida de Tánger se ha partido de la última noticia que se tiene de su estado de carga, que es el parte de guardia de la Escuadra, correspondiente al día 8 de Marzo del año 1895, parte que da las noticias siguientes:

Existencia de carbón.....	546,25	toneladas.
Agua potable.....	52,976	»
Idem en trímenes.....	311,214	»

Con estos datos, y con 26,7 toneladas de víveres,

- Definiendo los tanques de proa y popa que los autores denominan “trímenes”, resultan contener unas 238 y 77 toneladas de agua dulce respectivamente, que suman 315 t, cifra muy parecida a la de 311,24 t que se indica en la página 37 del Informe.



## Cálculos a partir de un Plano de Formas (Cont.)

- Con lo anterior y con las posiciones de los diferentes pesos según el plano de disposición general constante en el Informe, componemos la siguiente tabla:

Denominación	Peso (t.)	Xg (m)	Zg (m)
carbón (carboneras bajas y laterales altas entre cuadernas 57-84)	402,00	54,95	5,12
carbón (carboneras laterales altas entre cuadernas 84-92)	144,00	70,20	7,42
agua potable proa	26,50	77,65	4,45
agua potable popa	77,07	7,89	2,31
agua trámenes proa	238,12	81,53	2,36
agua trámenes en popa	77,23	7,139	2,25
viveres	26,70	69,11	3,26

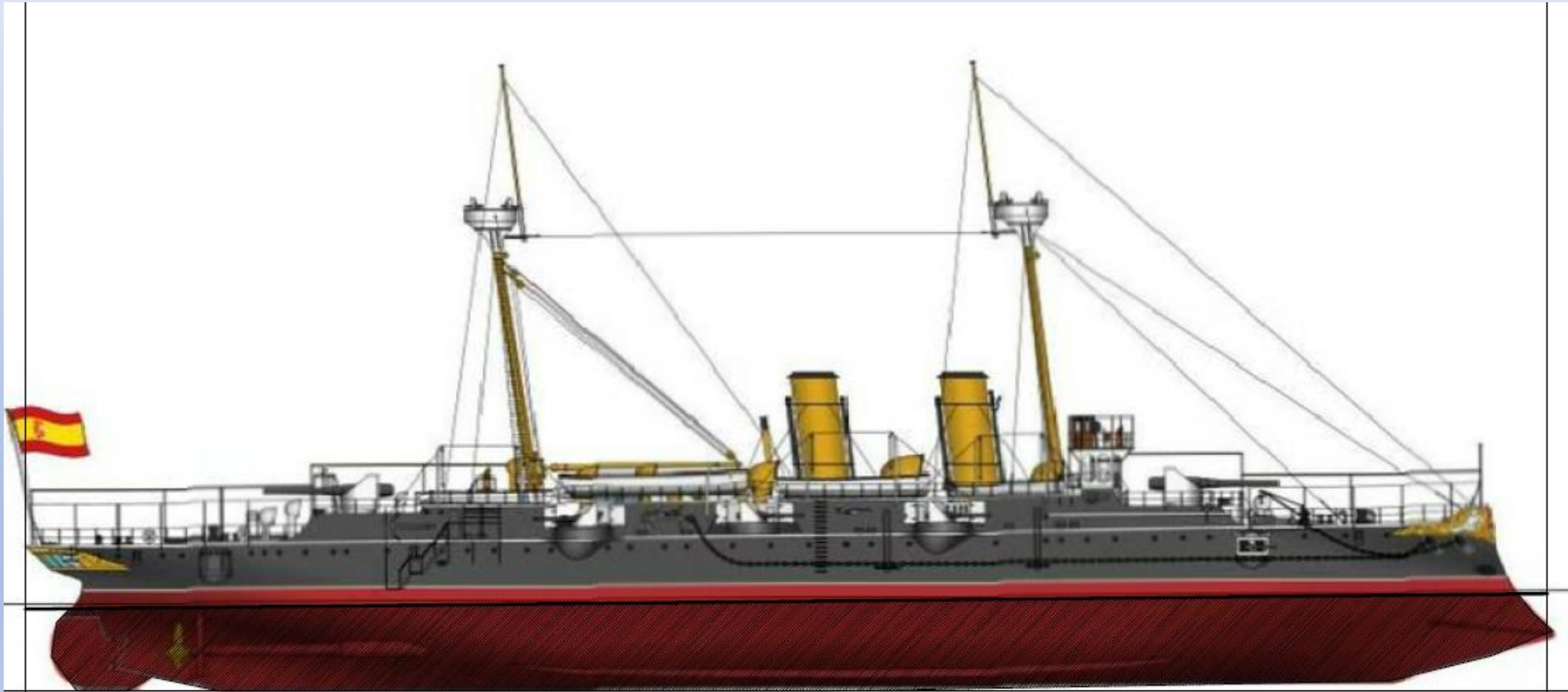
- Y con esto obtenemos una condición de carga en la SALIDA DE TÁNGER, que comparamos con la del Informe.

	Despl. (t)	Xg (m)	Zg (m)	Calado medio
plano	5.217,85	45,94	5.822	6,074
informe	4.950	.-	5,413	6,183
diferencia	267,85		0,409	-0,109

- Vemos también aquí un mayor desplazamiento y una notable mayor altura del centro de gravedad, aunque un calado algo menor (debido a lo más lleno de nuestras formas)

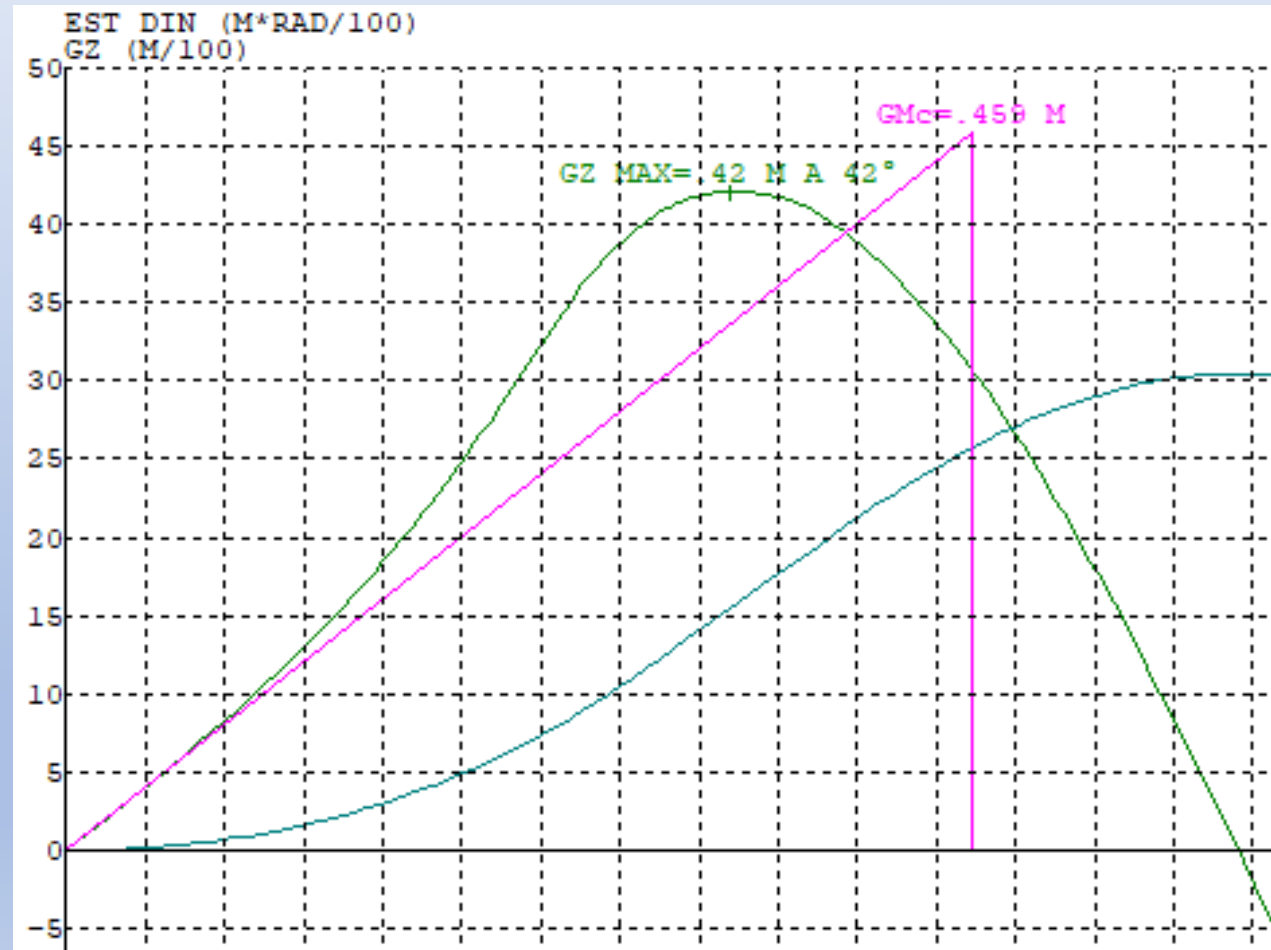
# Cálculos a partir de un Plano de Formas (Cont.)

Flotación a la salida de Tánger.



# Cálculos a partir de un Plano de Formas (Cont.)

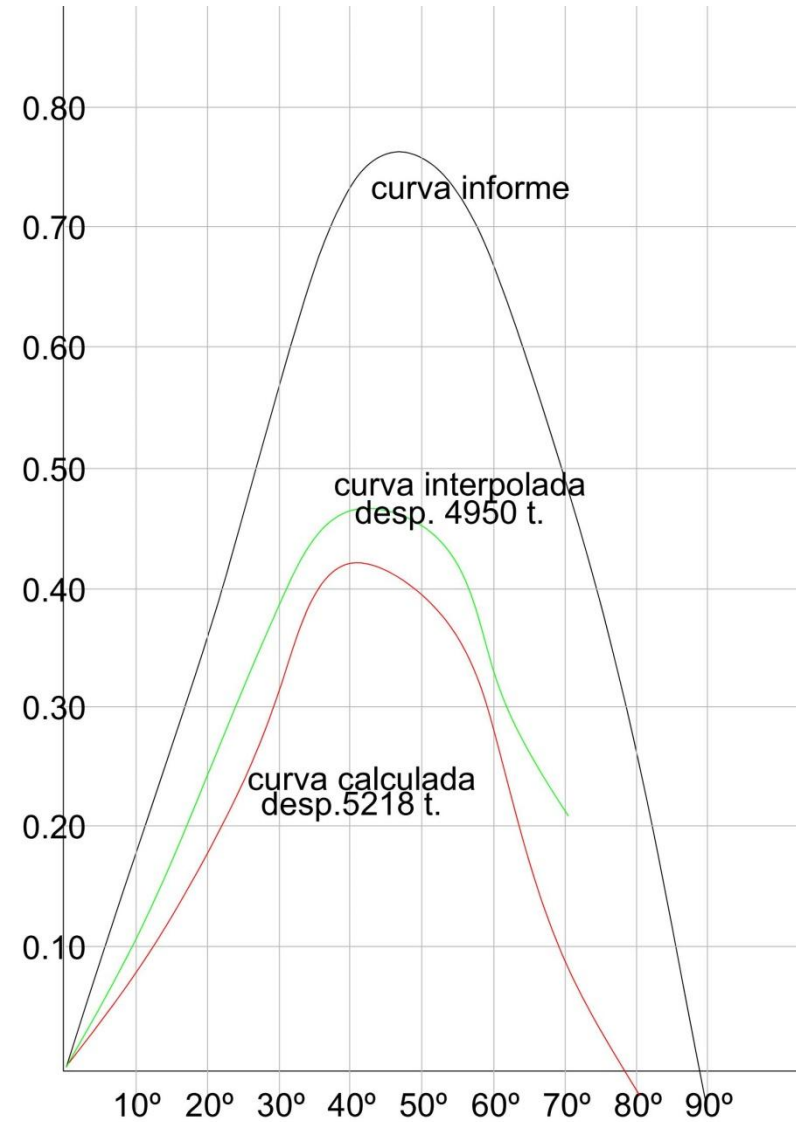
Curva de brazos adrizantes la salida de Tánger.





## Comparando curvas

La curva de GZ que obtenemos a partir del plano de formas se parece más a la curva que obtuvimos interpolando entre las curvas del Historial, que a la curva deducida por los autores del Informe, siendo sensiblemente menor el GZ máximo, lo que nos indicaría que el Reina Regente podría no tener tan buena estabilidad como en el Informe se establece.

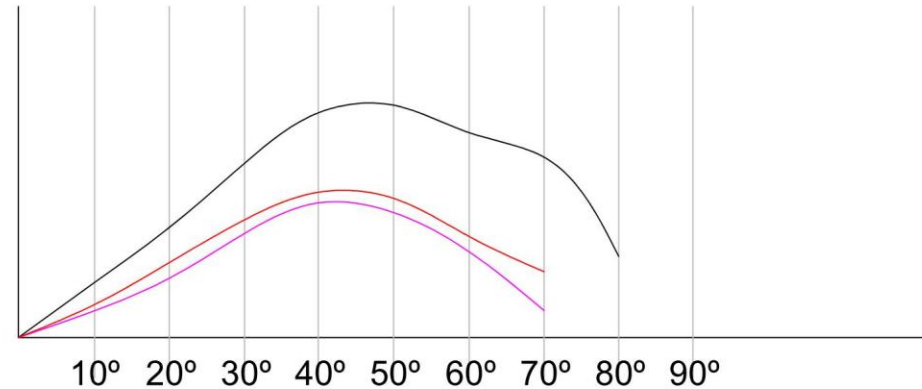


## Comparando curvas (2)

Como lo que adriza a un barco es el momento adrizante, que es el producto del brazo adrizante por el desplazamiento, comparamos también las curvas de brazos, porque nuestro desplazamiento es algo más alto que el considerado por Castellote.

Vemos que, en cualquier caso nuestra curva de momentos también es mucho más próxima a la interpolada entre las del Historial que a la curva de Castellote.

### CURVAS DE MOMENTOS ADRIZANTES



HOJA Nº2 CASTELLOTE SALIDA TANGER

CURVA INTERPOLADA:

CURVA CALCULADA

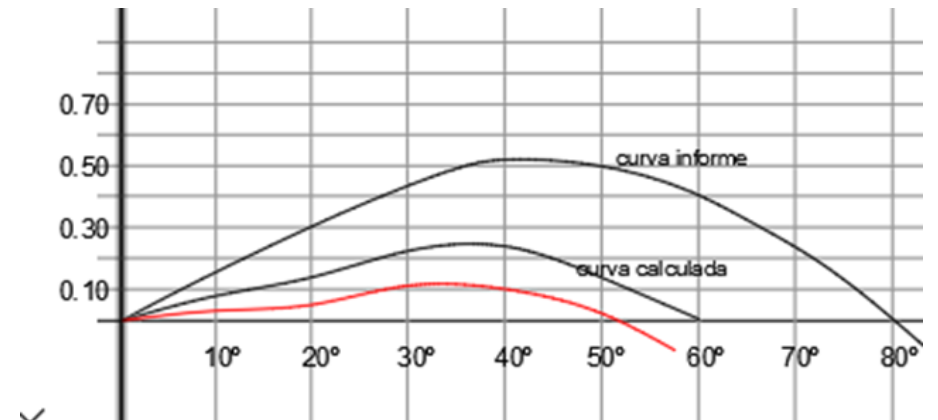
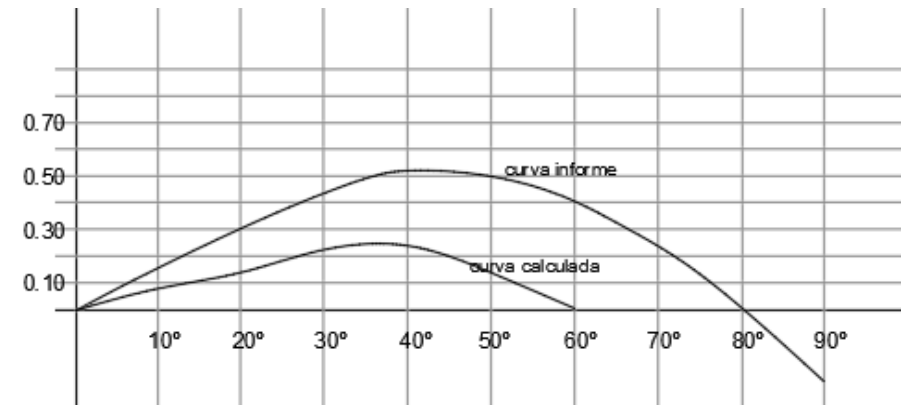
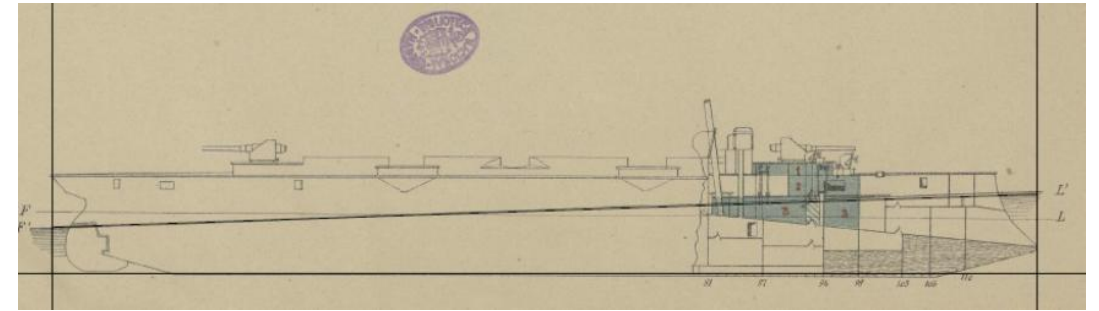
DESP.= 4950 t

DESP.= 4950 t

DESP.= 5218 t

# Y en inundación....

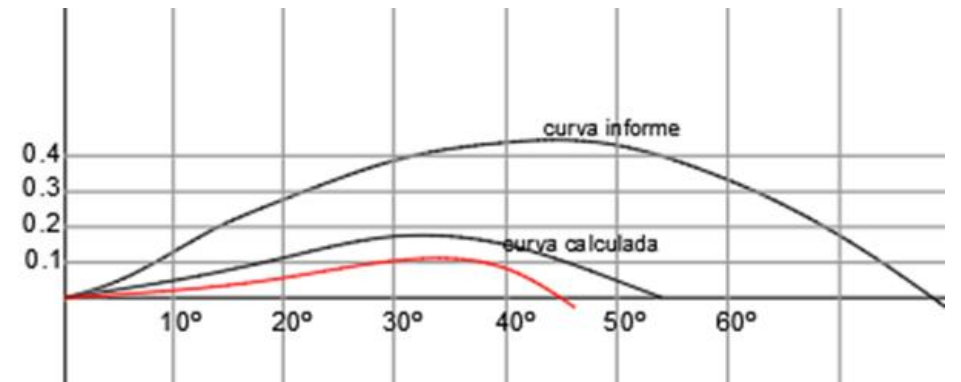
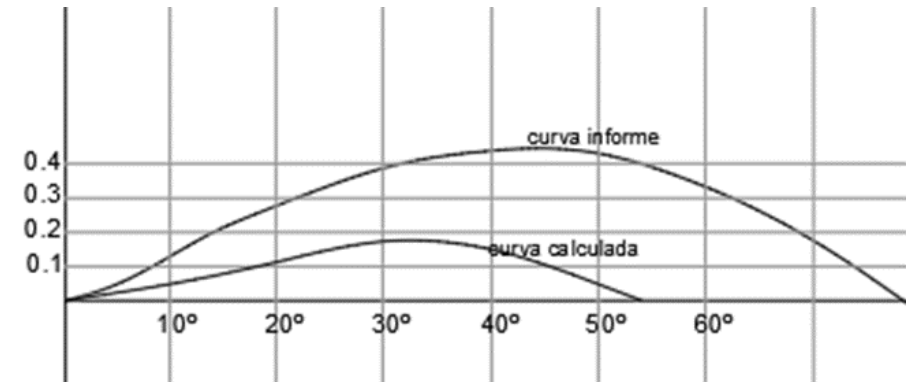
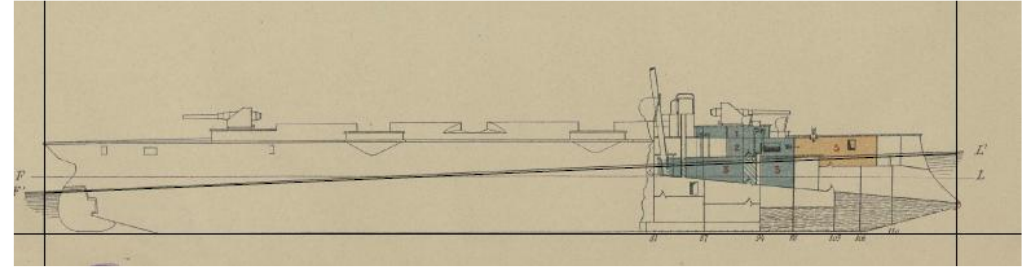
- En el primer supuesto de inundación del Informe encontramos que el buque flota trimando por proa prácticamente por la misma flotación que dice el Informe pero la curva de GZ es sensiblemente más baja, con un brazo máximo de 0,243 m a 30,2 grados. Esto ya es peligroso.
- Y si consideramos que el Comandante para corregir el trimado hacia proa hubiese decidido vaciar el trínmen de proa.....





## Y en inundación....(2)

- En el segundo supuesto de inundación del Informe, la curva, tras la inundación, ya ni siquiera alcanza un GZ máximo de 0,20 m, anulándose a unos 53 grados.
- Igual que antes, si se hubiese decidido vaciar el trínmen de proa.....



# Conclusión

- Puede que el Reina Regente a la salida de Tánger no tuviese tan buena estabilidad como se deduce en el Informe de la Comisión. Esto explicaría lo manifestado por varios Comandantes en diversas navegaciones.
- De haber sido así, si debido a su escaso francobordo y presencia de aberturas sin el suficiente grado de estanqueidad, al enfrentarse a la mar de fondo a la salida de Tánger embarcó realmente agua en varios compartimentos de proa, la estabilidad se vería seriamente reducida, quedando en una situación muy peligrosa, independientemente de si perdió o no el gobierno y/o la propulsión.
- Pero también el riesgo sería elevadísimo si, hipotéticamente, para evitar el asiento hacia proa el Comandante hubiese decidido vaciar el trínem de proa, independientemente de si siguió navegando en demanda de Cádiz como si decidió dar popa a la mar de fondo y arrumbar hacia Algeciras.
- La estabilidad residual sin lastre en proa sería completamente insuficiente para afrontar condiciones incluso mas benignas que las reinantes de temporal duro (fuerza 10) con trenes de ondas de fondo y de viento, de más o menos parecidas alturas y direcciones más o menos transversales, que además podrían haber dado lugar a olas de interferencia mucho más altas. Una combinación mortal.

Esto es un primer encaje ¿Qué nos queda por hacer?

- Para tratar de tener una visión más confiable de nuestra hipótesis habría que tratar de corregir el plano de formas, afinando sobre todo las formas del semicuerpo de popa para que coincidan lo mejor posible sus hidrostáticas con las del Historial y así tener una mejor aproximación a las formas reales del Reina Regente.
- Pero para hacer esto el trabajo es largo y tedioso, por lo que tendrá que esperar a mejor oportunidad.
- Muchas gracias.

