

Ramón Iribarren: Un antes y un después en el diseño de diques de escollera. El dique de abrigo del puerto de A Coruña

Alfredo Díaz Sánchez
Carlos Alberto Figueroa Álvarez

El dique de abrigo del Puerto de A Coruña es sin duda, tanto por presupuesto como por duración de los trabajos, la obra portuaria más importante jamás realizada en la ciudad desde la construcción de la Torre de Hércules.

Esta obra hizo posible un desarrollo espectacular del Puerto y por consiguiente de la ciudad. Cuando el Puerto de A Coruña veía limitada su expansión debido a que la costa situada a partir de la playa de San Diego estaba totalmente expuesta a la acción del oleaje, el dique vino a proporcionar una zona abrigada y de fondeo mucho mayor. Esta circunstancia favoreció un desarrollo tal que favoreció que el puerto coruñés se convirtiese en el primero de España en tráfico de pesca fresca y en uno de los más importantes a nivel nacional en tráfico de crudo.

A principios de los años 40 la Junta de Obras del Puerto de A Coruña ve la necesidad de disponer de un elemento de abrigo que lo protegiese de los temporales del N y del NO. Éstos se dejaban notar cada vez más en las labores portuarias puesto que el aumento progresivo de calado debido a sucesivos dragados provocaba que la marejada penetrase cada vez más en los espacios de manipulación de mercancías.

Se puede afirmar que en un primer momento la principal motivación para la construcción del dique fue la de proporcionar un resguardo a las actividades de la cada vez más numerosa flota pesquera que tenía como base al puerto coruñés. De esta forma, se barajó incluso la posibilidad de habilitar un dique exento

(ver figura 1) que protegiese exclusivamente al nuevo puerto pesquero que se pensaba construir en la playa de San Diego. Esta opción fue rechazada puesto que además de proporcionar abrigo a una parte reducida del espacio portuario, era susceptible de convertirse en un estorbo para las maniobras de los buques en futuras ampliaciones.

De esta manera se optó por la realización de un gran dique que arrancase de la costa y proporcionase



Figura 1
Propuesta de dique exento. Proyecto de Puerto Pesquero. Eduardo García de Dios Linares. (1945). Autoridad Portuaria de A Coruña. Elaboración propia

una zona de abrigo y fondeadero a la totalidad del óvalo de la bahía coruñesa. Se pensó en un principio en el Castillo de San Antón como punto de apoyo para el inicio del dique (propuesta de E. Vila). Sin embargo (afortunadamente) se decidió que este punto de partida estuviese localizado en la llamada Peña de las Ánimas, situada al Sur del Pedrido Grande, unos 400 m más mar adentro que la solución del Castillo de San Antón. Esta nueva ubicación, al mismo tiempo que resolvía el problema del fondeadero, dotaba a éste de una mayor amplitud.

Como ya hemos indicado anteriormente, la construcción de esta obra resultó bastante azarosa. Baste decir que los trabajos se iniciaron el 10 de noviembre de 1948 y se finalizaron casi veinte años después, teniendo lugar la recepción definitiva de las obras el 16 de febrero de 1967. En la concepción y posterior construcción tuvo una importancia vital el ingeniero vasco D. Ramón Iribarren Cavanilles, eminente figura y uno de los más grandes investigadores en el campo de la ingeniería marítima a escala mundial.

La figura de Ramón Iribarren

Este artículo pretende no sólo describir las influencias del profesor Iribarren en la concepción del dique coruñés, sino también destacar y dar a conocer la labor de un hombre que contribuyó como pocos al desarrollo de la construcción de todo tipo de obras marítimas. Fue un pionero en este terreno, y sus técnicas fueron reconocidas ampliamente a nivel internacional, mientras que pensamos que en España no goza del prestigio que realmente se merece.

Ramón Iribarren (Irún, 1900 – Madrid, 1967) fue un investigador excepcional, observador de la naturaleza y gran matemático. Sabía traducir en fórmulas los fenómenos que observaba, para luego, en el laboratorio (elemento que él consideraba fundamental en sus estudios) reproducir en modelo reducido los fenómenos que le interesaban. Su sueño era disponer de un gran laboratorio que complementase el *modelo reducido a gran escala*, como él denominaba a sus pequeños puertos de Guipúzcoa.

En 1929 fue nombrado Ingeniero Director del Puerto de Guipúzcoa. Como consecuencia de sus primeros estudios fue designado Profesor de Puertos en la Escuela de Madrid, lugar en donde desempeñó

la cátedra de la asignatura hasta 1961. Al mismo tiempo que profesor de la Escuela fue nombrado Consejero Especialista de la Sección de Puertos del Consejo de Obras Públicas como representante de la Junta de Investigaciones Técnicas, cargo en el que desarrolló una intensa y eficaz labor al dictaminar los Planes de obras de los principales proyectos de la casi totalidad de los puertos españoles (entre ellos el coruñés), que en gran parte fueron modificados como consecuencia de sus informes con resultados satisfactorios. Para complementar su labor en el Grupo de Puertos creó en 1944 el Laboratorio de Puertos, dependiente entonces de la Escuela y hoy del CEDEX.

Estaba en posesión de la Gran Cruz de Alfonso X el Sabio y de las Encomiendas del Mérito Civil y del Mérito Aéreo; era Caballero de la Legión de Honor francesa, Académico de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales y Miembro de la Academia de Marina de Francia, formando parte como representante de nuestro país de la Comisión Permanente de la Asociación Internacional de los Congresos de Navegación y del Comité Internacional para el estudio de las fuerzas de oleaje.

Cada una de sus publicaciones en revistas tanto nacionales como extranjeras, así como cada participación en un Congreso de Navegación eran seguidas con sumo interés y respeto por parte de todas aquellas personas relacionadas con la ingeniería portuaria.

EL PROYECTO PRIMITIVO

El proyecto original fue redactado en el año 1946. En éste se pretenden resolver especialmente los problemas de fondeadero y de protección a la flota que hemos comentado con anterioridad.

El dique proyectado arranca de la costa en la zona de La Maestranza y se apoya en la Peña de las Ánimas siguiendo una alineación Este-Sudeste quedando su extremo a unos 1.000 m del bajo conocido como la Guisanda (ver figura 3). En este punto aparece por primera vez la figura del profesor Iribarren pues tanto la alineación como la longitud del dique fueron previamente consultadas al ingeniero vasco de modo que la obra resultante protegiese suficientemente al puerto pesquero y al fondeadero. Cabe destacar que el morro del dique se prolongó algo más debido a que los ingenieros del puerto no habían tenido en

cuenta los temporales del Norte que eran los que, sin producir una altura de ola mayor que los del Norte Noroeste, penetraban en mayor medida en el saco de la ría provocando una mayor agitación.

En cuanto a las características más relevantes del mismo destacamos que el calado medio ronda los 15 m y tiene una longitud de 1.336 m (ver figura 2), estando ésta dividida en dos tramos. Los primeros 336 m se corresponden al tramo entre el arranque y la Peña de las Ánimas y los restantes 1.000 m son los situados entre ésta y el morro. Forma un ángulo de $116^{\circ} 27'$ respecto al Norte verdadero. Esta orientación estaba diseñada para permitir el acceso de un buque tipo de 200 m de eslora y 20.000 Tm de registro bruto, con un radio de giro de 600 m (correspondiente a 3 esloras).

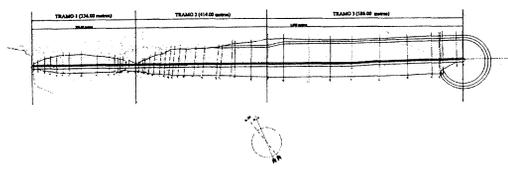


Figura 2
Planta de dique de abrigo. Proyecto de dique de abrigo. Eduardo García de Dios Linares (1946). Autoridad Portuaria de A Coruña. Elaboración propia

De esta forma el acceso al puerto tiene lugar por dos entradas denominadas Canal de Punta Herminia y Canal del Seijo Blanco (ver figura 3), estando ambas comprendidas entre el Bajo de las Yacentes y las puntas de la costa que les dan nombre. El Canal de Punta Herminia tiene la ventaja de permitir el acceso al puerto incluso en las condiciones de mar más desfavorables.

La definición del peso de los bloques y la inclinación a conferir a cada uno de los taludes constituyen las variables de diseño más importantes en este tipo de obras de defensa. El parámetro que va a condicionar cada una de estas variables es la altura de ola a la que se va a ver sometido el dique. El Profesor Iribarren en su artículo *Una fórmula para el cálculo de los diques de escollera* (1938) describe una nueva metodología para estimar la propagación del oleaje

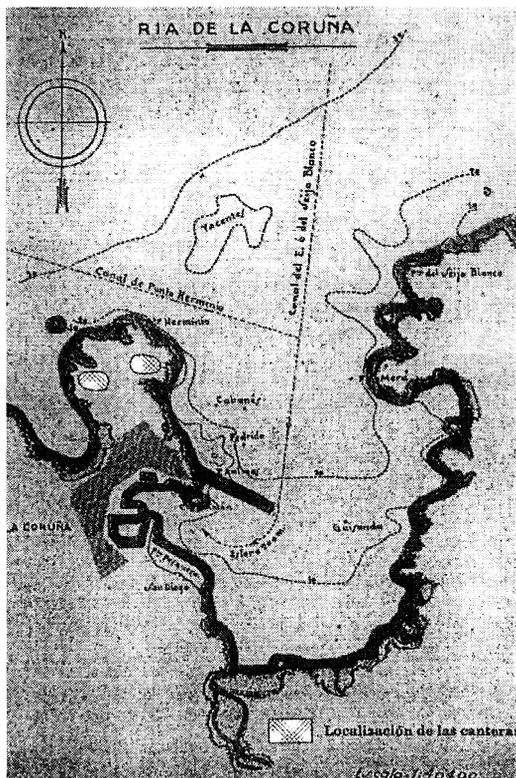


Figura 3
Plano de situación y carteras. Proyecto de Puerto pesquero (1945)

desde el mar abierto hasta la costa que permite calcular la altura de ola que para un temporal determinado se produce en un punto dado. Este método se conoce con el nombre de *Método de los Planos de Oleaje*. La trascendencia de esta nueva técnica en el campo de las obras marítimas fue enorme. Técnicos de países como Francia, Estados Unidos, Portugal, Colombia, Venezuela, etc., la adoptaron rápidamente como herramienta básica de cálculo para este tipo de construcciones. La vigencia de este método se mantiene en nuestros días y dada su claridad conceptual se sigue enseñando en las escuelas de Ingeniería para formar nuevas generaciones de profesionales.

Iribarren proporcionó también una fórmula (ec. 1) que ligaba estas alturas de ola de diseño con el peso de los bloques o los taludes que era necesario confe-

rir a cada uno de los mantos, quedando de esta forma completamente definido el problema.

$$P = \frac{N \cdot A^3 \cdot d}{(\cos \alpha - \text{sen } \alpha)^3 \cdot (d - 1)^3} \quad (\text{ec. 1})$$

siendo:

P: peso de los cantos o bloques (en Kg).

N: coeficiente que depende del tipo de material que constituya la escollera (natural o bloques artificiales).

A=2h: altura total de la ola *que revienta* (que rompe) sobre el dique, (en m).

d: peso específico del material de los cantos (en Tm/m³).

α: ángulo con la horizontal del talud del dique.

La aplicación de esta metodología al dique del puerto coruñés dio como resultado la necesidad de dividir la sección transversal del mismo en dos tramos de características diferentes que se corresponden con los anteriormente citados.

Los distintos tipos de escollera empleados en las secciones transversales según el peso de los bloques son:

Tabla 1

DENOMINACIÓN	PESO MÍNIMO
Escollera sin clasificar	150 Kg.
Escollera de 3ª	1.000 Kg.
Escollera de 2ª	2.500 Kg.
Escollera de 1ª	3.000 Kg.

Se preveía un espaldón de sección trapezoidal de mampostería ordinaria y una coronación de sillería de 4,50 m de altura. Su coronación (a cota +5,00 m sobre la P.M.V.E.) y base tienen una anchura de 2,50 m y de 3,40 m respectivamente.

Para el primero de los tramos, la altura de ola de cálculo obtenida después de aplicar el mencionado *Método de los Planos de Oleaje* (ver figura 4) resultó ser de 3 m, lo cual condujo al diseño de los bloques del manto exterior con un peso de 2.500 Kg, con un talud de 2 x 1 (ver figura 5). A ambos lados del espaldón se disponían en las escolleras bermas de 3,00 m y 2,00 m en la parte exterior e interior respectivamente.

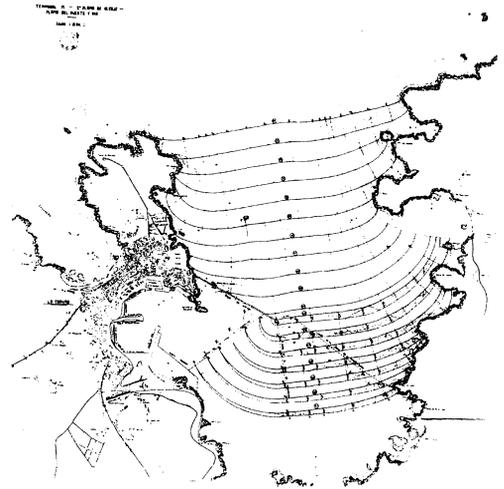


Figura 4 Planos de oleaje para temporal del N. Proyecto de Puerto pesquero. Enrique Molezún Núñez. (1947)

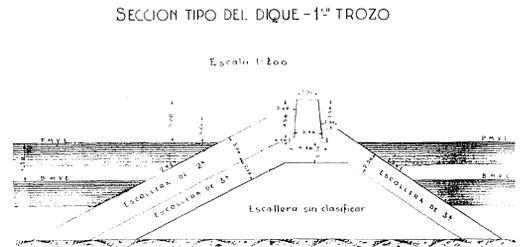


Figura 5 Sección tipo del primer tramo del proyecto primitivo. Proyecto de dique de abrigo. Eduardo García de Dios (1946). Autoridad Portuaria de A Coruña

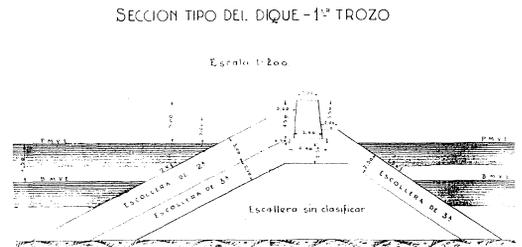


Figura 6 Sección tipo del segundo tramo del proyecto primitivo. Proyecto de dique de abrigo.s (1946).

Los 1.000 m restantes estaban sometidos por contra a una ola de cálculo de 4m, con lo que se dispuso un manto exterior de bloques de escollera de primera, con un talud de 2,5 x 1 (ver figura 6). En el cambio de taludes en la zona sumergida se ha dispuesto una berma de 4,00 m con objeto de ofrecer un sólido apoyo al manto principal. Las bermas habilitadas en este segundo tramo son de 4,00 m y 2,00 m en la parte exterior e interior respectivamente.

El morro del dique se terminaba prolongando la escollera de forma circular enlazando la del talud exterior con la del interior. Se desestimó la terminación del mismo en forma de martillo por no resultar ventajoso en términos de superficie de fondeo sin conseguir por otro lado mejoras notables en el abrigo.

Uno de los motivos principales para que se optase por una solución tipo escollera antes que por una tipo paramento vertical fue la existencia de magníficas canteras de granito en las proximidades de la obra (Península de la Torre) (ver figura 3). Además, la sección en escollera presenta un comportamiento mucho mejor frente a la reflexión del oleaje. Estas canteras podrían proporcionar sin ningún tipo de problemas los tamaños de bloques necesarios para las secciones tipo anteriormente definidas.

El transporte de esta piedra se realizaba mediante un ferrocarril de vía estrecha de unos 3 Km de longitud que se construyó expresamente para este fin (ver figura 7). La descarga del material desde los vagones del ferrocarril se efectuaba mediante grúas eléctricas montadas sobre orugas, depositándolo sobre gánguiles o bateas que posteriormente lo transportaban hasta el punto de colocación.

Sin embargo, existía una porción de bloques que era necesario colocar con un mayor cuidado y precisión para reproducir los taludes y las cotas que estaban definidos en proyecto para cada manto. Esta colocación se realizaba mediante grúas sobre carriles (ver figura 8). El porcentaje de cada tipo de escollera (tabla 1) que debía ser colocado en obra mediante grúa variaba desde un 10% para la escollera sin clasificar hasta más de un 60 % para la escollera de primera.

El ritmo normal de ejecución de las obras sufrió un retraso considerable en los primeros años debido sobre todo a las dificultades encontradas para la explotación de las canteras, debido fundamentalmente a instalaciones militares que hubo necesidad de trasladar.

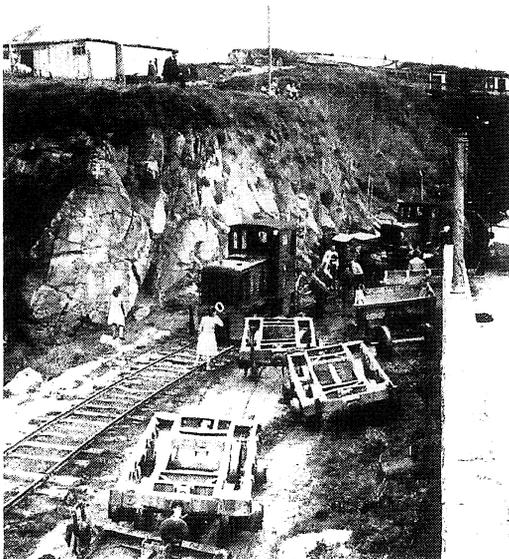


Figura 7
Ferrocarril de cantera. Archivo Foto BLANCO



Figura 8
Guía sobre carriles. Archivo Foto BLANCO

PROYECTO REFORMADO

La publicación entre los años 1950 y 1954 de diversos artículos, en los que el profesor Iribarren revisa y afina la formulación propuesta en el año 1938 para el cálculo de los diques de escollera, hace necesario el reconsiderar los cálculos efectuados en la sección transversal del dique para adaptarlos al nuevo procedimiento. Esto da una idea de la influencia que el profesor Iribarren tenía en el mundo de la ingeniería marítima y portuaria, pues con la simple publicación de sus estudios, una obra tan importante en presupuesto como el dique de abrigo coruñés se paralizó y se modificó de acuerdo con las innovaciones aportadas. Circunstancias como ésta eran las que convertían a las teorías del ingeniero vasco casi en una Norma de Cálculo.

El resultado de las investigaciones del profesor Iribarren así como sus posteriores revisiones fueron recogidas en su *Tratado de Obras Marítimas*, publicado en 1954 y convertido a partir de entonces en manual de referencia para innumerables puertos españoles y extranjeros.

La principal aportación de estas correcciones a la teoría original la constituye el hecho de considerar las sobreelevaciones en la altura de ola que incide sobre el dique debido a la presencia del talud del mismo. Iribarren propuso una expresión para evaluar estas sobreelevaciones basándose en la hipótesis de que la energía del oleaje permanece prácticamente constante al abordar súbitamente un talud de pendiente pronunciada como es el de un dique de escollera. Estos aumentos en la energía del oleaje que ha de soportar el dique (como consecuencia de la mayor altura de ola de cálculo que arroja el nuevo método), colocan a los tamaños de bloque obtenidos en el proyecto primitivo en una situación de inseguridad frente al temporal de diseño. Por lo tanto, se hace necesario el volver a recalcular tanto los pesos mínimos de cada tipo de escollera como la pendiente que forman cada uno de los taludes dando lugar a la redacción de un proyecto reformado.

Previamente era necesario conocer el tamaño máximo que podían proporcionar las canteras de las que se extraía la piedra. Realizados los ensayos y observaciones sistemáticas tanto en las canteras que se venían utilizando como en otras próximas que podrían usarse, se llegó a la conclusión de que no era posible obtener en condiciones económicamente admisibles cantos de tamaño superior a las 4 o 5 toneladas, que eran las previstas ya en el proyecto primitivo.

Por otra parte, las instalaciones y transportes mediante el ferrocarril de cantera de los que se disponía no tenían capacidad para mover pesos superiores a las 9 o 10 toneladas, por lo que el transporte para esos tamaños máximos de 4 o 5 toneladas se efectuaba sin mayor dificultad. Si por el contrario, los tamaños sobrepasaban estos límites, el manejo se haría mucho más complicado y se deberían aportar más medios auxiliares y modificar el ferrocarril de cantera. Todo esto redundaría en elevar todavía más el precio de la escollera.

Por estas razones se fija en 4 o 5 toneladas el peso mínimo de los cantos de las escolleras de mayor peso. Una vez conocidos estos límites hay que jugar con los taludes que se confieren a los distintos mantos para obtener un tamaño de bloque que encaje dentro de las posibilidades de las canteras.

Con el fin de economizar el empleo de material se opta por dividir la planta del dique en tres tramos en lugar de los dos del proyecto primitivo, pasando el tramo de 1.000 m a separarse en dos de 416 m y 586 m. Teniendo en cuenta la sobreelevación producida por el talud en la altura de ola, se obtienen los siguientes valores de altura total de ola *que revienta* sobre el dique:

Tramo 1: 3,6 m, frente a los anteriores 3,0 m.

Tramo 2: 5,1 m, frente a los 4,0 m del proyecto anterior.

Tramo 3: 5,7 m, ampliamente superiores a los 4,0 m de antes.

Con estas nuevas olas de cálculo se procedió a recalcular las secciones tipo del dique utilizando la fórmula de Iribarren (ec. 1), teniendo en cuenta los pesos de bloque que las canteras podían ofrecer así como la recomendación del *Tratado de Obras Marítimas* de no sobrepasar taludes de 3×1 . Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Tramo 1: Escollera de 2ª con talud $2,5 \times 1$.

Tramo 2: Escollera especial (4.500 Kg) con talud 3×1 , que aparece como una nueva unidad de obra en este proyecto reformado.

Tramo 3: Escollera especial con talud $3,5 \times 1$. En este caso no fue posible ajustar el tamaño de bloque con el talud de forma que cumplierse ambos límites (peso menor de 5.000 Kg y pendiente de talud mayor de 3×1) por lo que se optó por sobrepasar la pendiente recomendada. Además, se suprimió la berma de cuatro metros que existía en el cambio de taludes en el proyecto del 46. La disposición geométrica de estas secciones se puede apreciar en las figuras 9-11.

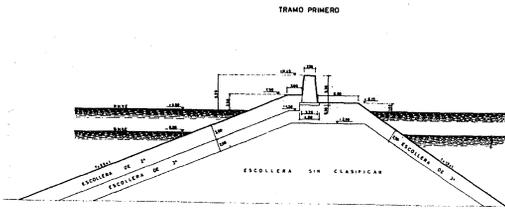


Figura 9
Sección tipo primer tramo del proyecto reformado.
Proyecto reformado de dique de abrigo. Enrique Molegón
Núñez. (1956). Autoridad Portuaria de A Coruña

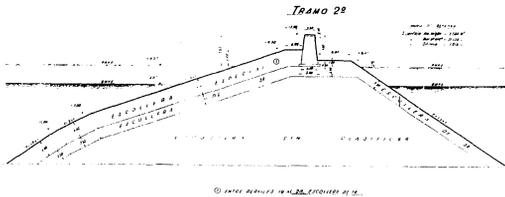


Figura 10
Sección tipo segundo tramo del proyecto reformado.
Proyecto reformado de dique de abrigo. Enrique Molegón
Núñez. (1956). Autoridad Portuaria de A Coruña

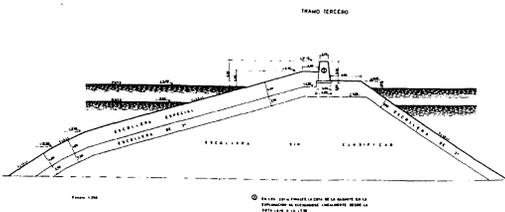


Figura 11
Sección tipo tercer tramo del proyecto reformado.
Proyecto reformado de dique de abrigo. Enrique Molegón
Núñez. (1956). Autoridad Portuaria de A Coruña

De todo lo aquí expuesto se deduce la importancia que tuvo la nueva formulación de Iribarren en la configuración definitiva del dique de abrigo del Puerto de A Coruña, que se sumó a la larga lista de obras marítimas españolas y extranjeras que se vieron influenciadas en su proceso de diseño por las investigaciones de tan destacado ingeniero.

BIBLIOGRAFÍA

- Proyecto de Dique de Abrigo.* 1946. Eduardo García de Dios Linares. Autoridad Portuaria de A Coruña.
- Proyecto de Puerto Pesquero.* 1945. Eduardo García de Dios Linares. Autoridad Portuaria de A Coruña.
- Proyecto de Puerto Pesquero.* 1947. Enrique Molegón Núñez. Autoridad Portuaria de A Coruña.
- Proyecto Reformado del Dique de Abrigo.* 1956. Enrique Molegón Núñez. Autoridad Portuaria de A Coruña.
- Proyecto de Terminación del Dique de Abrigo.* 1965. Félix Calderón Gaztelu. Autoridad Portuaria de A Coruña.
- Proyecto Reformado del Modificado del Dique de Abrigo.* 1967. Félix Calderón Gaztelu. Autoridad Portuaria de A Coruña.
- Una fórmula para el cálculo de los diques de escollera.* 1938. Ramón Iribarren Cavanilles. Publicado en 1949 en el Bulletin of the Beach Erosion Board-Office, Chief of Engineers-Washington, D.C.
- Generalización de la fórmula para el cálculo de los diques de escollera y comprobación de sus coeficientes.* 1950. Ramón Iribarren Cavanilles; Casto Nogales Olano. Revista de Obras Públicas.
- Nueva confirmación de la fórmula para el cálculo de los diques de escollera.* 1953. Ramón Iribarren Cavanilles; Casto Nogales Olano. Revista de Obras Públicas.
- Otras comprobaciones de la fórmula para el cálculo de los diques de escollera.* 1954. Ramón Iribarren Cavanilles; Casto Nogales Olano. Revista de Obras Públicas.
- Fórmula para el cálculo de los diques de escolleras naturales o artificiales.* 1965. Ramón Iribarren Cavanilles. Revista de Obras Públicas.
- Revisión de los parámetros de la fórmula de Iribarren para diques de escollera. Influencia de la duración y del período en la probabilidad de fallo.* 1978. Miguel Ángel Losada Rodríguez; Luis A. Giménez Curto. Revista de Obras Públicas.
- El Puerto es un Proyecto Permanente. Evolución del Puerto-Ciudad de La Coruña.* 1998. Juan Román Acinas García. Universidade da Coruña.