

2.º Que es impracticable, en el caso de que se trata, la valoración de los daños ocasionados con la ocupación hasta que ésta termina, no pudiendo por lo tanto ser el pago anterior á dicha ocupación.

3.º Que si bien en este caso no es dado mantener las garantías que acaban de mencionarse y que sólo tienen aplicación cuando se trata de la ocupación perpétua, cabe, no obstante, ofrecer á los propietarios la seguridad de que los daños causados por la ocupación se limitan á lo estrictamente indispensable á la utilidad pública, haciéndose efectiva la responsabilidad de los encargados de la construcción y vigilancia de las obras.

4.º Que el pago de la indemnización debe hacerse efectivo inmediatamente después de terminadas las obras ó parte de ellas que ocasionen la ocupación temporal de cada finca, abonándose, de lo contrario, un premio por el retraso que pueda tener lugar, el cual en todo caso no debe exceder de un término dado.

5.º Que la tasación de los daños, cuando no exista convenio anterior á la ocupación, debe intentarse amigablemente, y cuando esto no sea asequible se acuda al Gobernador de la provincia, quien decidirá definitivamente oyendo al Ingeniero Jefe de la misma y á la Diputación provincial.

6.º Que no siendo dado graduar el valor de la propiedad sino en el concepto en que se explota ó aprovecha, no cabe dar valor á la piedra y otros materiales cuando su explotación no constituya una industria ejercida por el dueño de la finca en que radiquen, ó en ella haya empleado algún trabajo; debiéndose pagar únicamente la indemnización de los daños causados: y cuando se trate de piedra suelta apilada, debe abonarse el gasto de apilamiento.

7.º Por último, que siendo ménos urgente la prestación de los servicios de ocupación temporal y aprovechamiento de materiales, y también más determinados cuando se trata de la conservación, cabe hacer en este caso más eficaces las garantías del derecho de propiedad.

(Se continuará.)

F. L.

PUERTOS DEL MAR CANTÁBRICO.

(Continuación.)

PUERTO DE CASTRO-URDIALES.

Lámina 5.ª

En el extremo oriental de la provincia de Santander se halla situada la población de Castro-Urdiales, de 4.400 habitantes, que es cabeza de partido, y que posee 130 lanchas y 500 ó 600 hombres que se dedican á la pesca: puede decirse que monopolizan esta industria los marineros de Laredo y los de Castro; pues que es mucho menor la importancia que tiene en los demás pueblos de este litoral. Se halla situada esta población en el extremo de un trozo de costa que en línea recta corre próximamente de O. á E., desde Laredo á la punta del Ravanal. Desde esta punta la costa se inclina al S., quedando así abrigadas de los temporales reinantes la ensenada de Urdiales y la concha de Castro.

La primera está al E. de la punta del Ravanal, tiene la entrada muy abierta al NE., se interna al SO., y termina al E. en la especie de península ó cabo en que está asentada una parte de la población de Castro-Urdiales. Por su considerable abertura y por su fondo, que es de piedra, no se utiliza este fondeadero; y sin embargo, la sonda media es de 5 á 7 metros.

Siguiendo al E. y pasadas las puntas del Vijía y del castillo, extremidades al N. del cabo ó península de que acaba de hablarse, se encuentra la concha de Castro-Urdiales, que con más extensión y mayor braceaje tendría excelentes condiciones como puerto de refugio, tan necesario en aquella costa, y como puerto de espera para aguardar marea favorable para franquear la barra y entrar en la ría de Bilbao. En su estado actual sirve para barcos de cabotaje de poco calado que puedan entrar en la dársena cuando les sorprenden los vientos de travesía. La concha, considerándola limitada por la recta que une las puntas del castillo y de Cotoño, está abrigada, sobre todo en su parte occidental, de los vientos del tercero y cuarto cuadrante,

que son los más temibles en aquellas costas: el fondo está sembrado de piedras y restingas cubiertas de una ligera capa de arena.

La parte avanzada del abrigo occidental de la concha la forman las peñas de Santa Ana, que arrancan del continente, al SE. de la punta del castillo, edificación de planta rectangular con cuatro torres, estando situado en la del NE. el faro de quinto orden que lleva el nombre de la población.

Se ha dado siempre mucha importancia á la concha de Castro, y siendo muy pequeña la dársena y escaso el abrigo de aquélla, se ha tratado en varias ocasiones de crear en dicha localidad un puerto de refugio. Aunque se ideó hace muchos años formar el puerto sacando dos diques, uno de la punta del Castillo en dirección próximamente al NE., y otro desde la punta de Torrejon á sotavento, que con el primero cerraba el puerto dejando entre los dos una boca de 100 metros; modernamente sólo se ha tratado del establecimiento del primero de los dos diques citados.

La concha de Castro-Urdiales que, como se ha dicho, principia en la punta del Castillo de Castro, termina en la punta de Cotoño, mide entre éstas la distancia de 1.000 metros: en el espacio comprendido entre la recta que une dichas puntas y la costa, la sonda general es de 4 á 12 metros, y pueden fondear en ella buques hasta de 4 metros de calado.

En su extremo occidental está la población y la dársena de Castro, y en el opuesto desemboca el río, ó mejor dicho arroyo de Brazomar, cuya desembocadura, aunque de bastante anchura, está obstruida por las arenas que el oleaje aconcha en esta parte del saco, formando una extensa playa que por este lado disminuye sensiblemente su fondo.

Al O. de la concha, por ser la zona más abrigada y por hallarse allí situada la población y la dársena actual, se ha pensado siempre construir el puerto de Castro. La primera parte del abrigo lo forman la punta y las peñas de Santa Ana y el resto lo habrá de constituir un dique de mayor ó menor longitud, segun sea la mayor

ó menor extensión del fondeadero que se quiera poner á cubierto de la acción directa del oleaje.

Sobre esta base se estudió en 1855 un proyecto de modestas proporciones, que consistía en tapar los boquetes ó claros que existían entre las peñas de Santa Ana, y en su prolongación construir un dique ó rompeolas de 130 metros de longitud con rumbo S. 59° E., cuyo coste total se calculó en 1.120.000 pesetas en números redondos.

De este proyecto vamos á transcribir algunas de las apreciables consideraciones que su autor, hace 20 años, expuso en la memoria de este mismo proyecto en lo relativo al sistema de construcción del dique que se proponía.

Como las obras se habían de fundar á una profundidad máxima de 13 metros, y en una localidad en que las mareas aumentan periódicamente esta cantidad en 4^m,50, los sistemas de construcción aplicables puede decirse que se reducían á los dos siguientes:

1.º Construcción de grandes cajones con fondo.

2.º Construcción de escollera.

Se eligió para el rompeolas de Castro el sistema de escollera, que si bien presenta algunos inconvenientes bajo el aspecto de la estabilidad, pueden obviarse durante la construcción, ó al ménos disminuirse considerablemente su influencia.

Adoptado este método de construcción, puede aún suceder que en toda la altura de la obra se siga el mismo sistema, ó que sólo se haga de escollera hasta un punto de la línea descubierta por las mareas, reemplazándola desde aquí con mampostería ó sillería, colocada durante los intervalos de alta y baja mar.

Se propuso el segundo método, que además de favorecer la seguridad de la obra, era en el caso actual más económico que el empleo de escollera en toda la altura, segun resultó de la comparación de los presupuestos redactados en ambos supuestos. Este método favorecía también la seguridad de la construcción, pues que los mayores esfuerzos de las olas se verifican entre el nivel de alta y baja mar, y por lo mismo era

muy natural hacer en esta sección las obras lo más resistentes posible. Se había objetado contra esta idea el que las escolleras dividían las olas y amortiguaban así sus choques; la experiencia, decía el Ingeniero, ha venido, sin embargo, á demostrar lo contrario, y en un mismo dique (el de Cherbourg), durante una sola tempestad, resistieron bien las partes que estaban coronadas con mampostería, mientras que otras, compuestas sólo de escollera, fueron más ó ménos destrozadas por el mar.

El nivel elegido para terminacion de la escollera en Castro, estaba 1^m,50 más alto que las baja-mares equinociales y al nivel de las baja-mares muertas. Se podía haberla terminado en aquéllas; pero en este caso los primeros trabajos de mampostería hubieran sido muy difíciles, y en ellos se hubiera perdido mucho tiempo, lo que equivale á decir que hubieran sido muy caros; con el punto elegido para division, y empezando los trabajos en época de mareas vivas, se podía disponer desde el primer día de cuatro horas y media de trabajo por marea, lo que facilitaba extraordinariamente la organizacion del servicio, y evitaba las pérdidas de tiempo, compensando de este modo el exceso de materiales debido al de la altura.

La total de la obra proyectada era de 1 metro superior al de las mayores mareas: en los grandes temporales que en general acompañan á éstas, las olas saltarian por encima de la obra, pero divididas por ella, la agitacion que comunicarian al fondeadero no sería temible para los buques anclados en él. Por razones de economía se adoptó para la construccion que habia de coronar la escollera la mampostería ordinaria con revestimiento de sillería por ambos paramentos y una capa de hormigon en la cresta.

Por las consideraciones precedentes se ve que el rompe-olas debia estar dividido, en cuanto á su altura, en dos partes: la primera desde el fondo hasta la línea 3 metros más baja que las pleamares de equinoccio, que se construiria de escollera; y la segunda desde esta línea hasta 1 metro más arriba de dichas pleamares de mampostería con revestimiento de sillería.

El cálculo, pues, de la seccion transversal debia dividirse en dos partes, porque la resistencia opuesta por cada una de estas dos construcciones es muy diferente.

Parecia natural empezar calculando la forma y dimensiones de la seccion de escollera que ha de formar la base de la construccion; sin embargo, en el caso actual se siguió el orden inverso, por las razones siguientes. El género de construccion adoptado para la superficie comprendida entre mareas permite considerarla para la resistencia como un solo bloque, que colocado sobre la escollera girase, sin romperse, sobre la arista interior de su base. En la escollera sucede todo lo contrario; las piedras arrojadas en monton, sin union alguna entre sí, han de resistir únicamente por su peso; por esta causa la dimension horizontal de la escollera ha de ser siempre mayor que la de la mampostería; pero hay aún otra razon para motivar este exceso de anchura en la escollera, y es la movilidad que en los primeros tiempos de inmersion se ha observado en todas las construcciones de este género, por más que su direccion haya estado confiada á los hombres más eminentes en la ciencia y que se hayan hecho los mayores sacrificios para asegurar desde luego su estabilidad; en apoyo de esta asercion, bastará citar los grandes movimientos que por espacio de cuarenta años ha estado experimentando el dique de Cherbourg en el Canal de la Mancha y los observados en el muelle Norte de Argel el mes de Enero de 1841, á pesar de estar todo construido con bloques de 10 metros cúbicos, que se habia creido hasta entónces estables, aún en las grandes tempestades.

Esta movilidad de las escolleras obliga á darlas un gran exceso de resistencia, y por esto se calculó primero la seccion de la mampostería, considerándola como un muro asentado sobre una base incompresible, dejando para despues la determinacion de las condiciones á que ha de satisfacer esta base para asegurar la incompresibilidad.

Dos son los efectos á que ha de resistir el muro de mampostería de que se trata.

1.º El efecto hidrostático debido á la diferencia de nivel que las olas ocasionarán momentáneamente en los dos paramentos.

2.º El efecto dinámico debido al choque de estas mismas olas : en este efecto está comprendido el causado por el viento, porque se supuso para el choque que el viento, encorvando el vértice de la ola, cambia la acción oscilante de las moléculas de agua de vertical en inclinada, en cuyo caso esta acción, combinada con la debida á la velocidad de traslación de la ola, producirá el efecto de que se habla.

Si se pudiera conocer en cada localidad la altura de las olas en las más fuertes tempestades, y sus velocidades de traslación, nada sería más sencillo que calcular, por medio de las fórmulas que da la mecánica, los efectos de que se trata; pero estos datos no han podido tomarse hasta ahora en ninguna localidad con precisión, y no se tiene de ellos ninguna apreciación exacta : no habiendo podido hacer en este puerto observaciones de este género, se tomaron los datos que suministraban otras análogas.

Segun Sganzin, la altura ordinaria de las olas en el golfo de Gascuña es de 6 á 7 metros, siendo aún mayor en las grandes tempestades.

La velocidad oscilante de las moléculas de agua ha sido hallada de 20 metros por segundo en la bahía de San Juan de Luz por el ingeniero de puentes y calzadas Vionnuis.

La velocidad de traslación de las olas no ha sido medida en ninguna localidad; su existencia ha sido negada en la teoría de las ondas del coronel Emy, que no admitía más que la velocidad oscilante de las moléculas; á pesar de la autoridad que el talento del autor daba á esta teoría, en la actualidad es admitido por los ingenieros que las olas, al ménos en las costas, están animadas de una velocidad de traslación que ocasiona la destrucción de las obras de mar.

Experiencias hechas en Cherbourg y en Argel han demostrado que el esfuerzo de una ola por metro cuadrado, en virtud de su velocidad de traslación, es superior á 4.000 kilogramos.

Las olas al chocar contra una costa vertical ó

muy inclinada se lanzan en chorros verticales de una altura enorme; la velocidad de traslación de estas olas debe medirse por la correspondiente á esta altura : en este puerto, la altura á que el agua del mar se lanza en las grandes tempestades excede de 20 metros.

Las dificultades, ó por mejor decir, la imposibilidad que ha habido hasta ahora de calcular exactamente el esfuerzo de las olas ha sugerido al ingeniero inglés Stervenson la idea de medir directamente este esfuerzo en cada localidad por medio de un aparato de su invención.

Las experiencias hechas con este aparato, cuyas apreciaciones no pueden ponerse en duda, dan, en el faro de Bell-Rok, presión máxima obtenida durante un invierno 16.732 kilogramos por metro cuadrado. En la isla de Skerrywne, al Oeste de Escocia, donde la violencia de las olas es extraordinaria, la presión máxima observada fué de 30.415 kilogramos por metro cuadrado, habiéndose elevado sólo á 26.615 el resultado más próximo.

Comparando estas enormes cifras con la presión hidrostática, que no se eleva sino á 1.000 kilogramos próximamente por cada metro de altura de las olas, se conoce que el efecto más temible en las obras de mar es el debido á la impulsión de las olas.

En oposición al resultado que se acaba de deducir, debe observarse que obras de mar calculadas para no resistir más que el esfuerzo hidrostático, han resistido durante muchos años todos los demás esfuerzos de las olas; entre ellas puede citarse, como la más notable, el muro de recinto del Havre, construido hace más de cincuenta años.

Los ingenieros que han construido obras hidráulicas están muy discordes en calcular los esfuerzos á que éstas han de resistir; así, si se estudian las obras construidas en los puertos, tanto de Europa como de América, se verá que en los rompeolas, aún no tomando en cuenta sino los construidos con objeto exclusivo de abrigar una rada ó puerto, los espesores en la cresta varían entre términos muy diferentes.

El breakwater de Plymouth, en el canal de la

Mancha, destinado sólo á abrigar la rada, tiene en la cresta un espesor de 13^m,75.

El breakwater de Delaware, en los Estados-Unidos, que tiene el mismo objeto, mide un espesor en la cresta de 9^m,75.

El muelle aislado de Celtz tiene 12 metros de anchura.

Los muelles construidos por Telford en Escocia tienen de 3,60 á 10 metros de espesor en el vértice.

La mayor parte de estas obras tienen un exceso de resistencia enorme, y sólo así se concibe tanta diversidad en los espesores en obras que, por otra parte, se encuentran casi en las mismas condiciones; pero si se atiende á que muchas de ellas han sido dirigidas por ingenieros distinguidos, y que en algunas, tal como el breakwater de Plymouth, sus proyectos han sido modificados con arreglo á lo que dictaba la experiencia durante los años invertidos en su construcción, es necesario deducir que en obras expuestas á la acción de las olas, se debe suponer que á falta de datos especiales en la localidad, que ya se ha visto cuán difícil es tomar con toda exactitud, la obra deberá resistir el máximo esfuerzo conocido de las olas.

En esta hipótesis se supuso que el esfuerzo debido á la presión hidrostática y al choque era de 26.000 kilogramos por metro cuadrado; suponiendo también que este esfuerzo se verifica simultáneamente en toda la altura de la mampostería, porque en las pleamares las olas de un temporal llegarán al vértice de la obra y la agitación hacia el fondo irá mucho más abajo que su arranque; y además se supuso que este esfuerzo se verifica á un mismo tiempo en toda la longitud del rompeolas y normalmente á su paramento exterior, todo lo cual no siempre se verifica, ni tenía lugar en el caso de que se trata.

La forma adoptada para los paramentos expuestos á las olas por los diferentes constructores varía mucho entre sí; sin embargo, se pueden dividir todas ellas en tres grupos principales: paramentos planos, verticales ó muy poco inclinados.

Paramentos muy inclinados reunidos por una curva en su vértice.

Paramentos cóncavos (sistema de Emy).

El segundo sistema tiene el inconveniente de facilitar la ascension de las olas, que en los grandes temporales caerian en el caso actual en forma de catarata por la parte interior, y podrian perjudicar al rompeolas.

El método de Emy tiene el inconveniente de dirigir la ola reflejada hacia el fondo, y en el caso actual sería muy temible que en los temporales no produjera socavaciones y movimientos en la escollera.

Por éstas razones se adoptó el sistema de paramentos planos poco inclinados, aunque exige un empleo mayor de materiales. La inclinación adoptada es en ambos paramentos la de un octavo, que es la más generalmente usada en este género de construcciones.

Se hizo además otra suposición que tendía á aumentar los esfuerzos y que, por consiguiente, da un exceso más en la anchura del muro. Se supuso únicamente para el cálculo que el paramento exterior opuesto á las olas era vertical, con lo que el esfuerzo de éstas sería un máximo, y determinando en este caso el espesor en la cresta, resultó éste de 6 metros, de modo que la sección transversal del rompeolas en la parte descubierta por las mareas era un trapecio que tenía 4 metros de altura y 6 por 7 sus lados.

Como ya se ha indicado, en todas las obras de escollera construidas se han observado, sobre todo en los primeros tiempos de inmersión, movimientos muy notables. Todos los esfuerzos de los ingenieros se han dirigido á prevenir estos movimientos; para conseguirlo se ha intentado dar á las escolleras la misma forma que en cada localidad afectan los bancos de cantos rodados y de arena que los temporales arrojan sobre la costa: se esperaba que afectando así las obras la misma forma que tenían naturalmente estas masas, el mar no las destruiría, de la misma manera que no altera la figura tomada por aquéllas en virtud de sus esfuerzos.

Los resultados no han correspondido á esta esperanza, los movimientos han continuado, y las escolleras han variado de forma á cada temporal; esto al ménos puede decirse de las cons-

truidas con materiales pequeños. La explicacion de estos movimientos no es difícil: los esfuerzos del mar no sólo varían de intensidad con las tempestades, sino también de dirección según el viento que producen aquéllas; en este caso es claro que la forma conveniente en un temporal dado deja de serlo en otro diferente.

Los movimientos de las escolleras son debidos á los esfuerzos que las olas producen sobre ellas: estos esfuerzos se sabe que son los mayores en las capas superiores y que van disminuyendo hácia el fondo. Muchos observadores han asegurado que estos esfuerzos se reducen á cero á 5 metros más abajo de las bajamares de aguas vivas, y según esto, hasta este punto las escolleras se arreglarán en su talud conforme al que tomarían los materiales de que están formadas en un agua tranquila, y sus movimientos serían nulos.

La experiencia adquirida durante la construcción del dique de Cherbourg ha hecho conocer que la agitación del mar se propaga á profundidades mucho mayores que la ya citada, si bien yendo disminuyendo.

Los taludes observados en todas las escolleras construidas hasta el día, después de haberse consolidado, son las siguientes.

En las escolleras construidas con bloques de 10 á 15 metros cúbicos, los taludes por ambos lados han sido de 1,5 á 2 de base por 1 de altura en toda la longitud, y esto independiente de la profundidad, lo cual se explica por la inmovilidad que estas masas adquieren desde su inmersión.

Cuando los materiales empleados en estas obras son pequeños, es decir, desde 0^m,2 á 1 metro cúbico, los taludes interiores no difieren de los arriba expresados, pero los exteriores, ó expuestos á la acción directa de las olas, se dividen en dos partes; en la superior, ó zona de acción de las olas, el talud es por 1 de altura de 3 á 11 de base, según el volumen de los materiales; en la parte inferior, ó fuera de la agitación de las olas, los taludes se sostienen á 1 y 2 de base.

En la actualidad está reconocido por todos los

constructores que la estabilidad de las escolleras desde los primeros tiempos de inmersión no se adquiere sino empleando bloques de grandes dimensiones, éstas han sido llevadas hasta 15 metros cúbicos, pudiéndose decir que las escolleras construidas con bloques de 10 metros cúbicos adquieren la estabilidad al año de inmersión.

El grave inconveniente de las escolleras construidas con estos bloques es su subido precio en casi todas las localidades: en el proyecto de que se trata, el metro cúbico de los materiales de estas dimensiones costaba 24,5 pesetas, puesto ya en obra, mientras que el metro cúbico del resto de la escollera sólo salía á 10 pesetas, término medio, á pesar de que en este caso se dispone á precios muy arreglados de un cemento natural muy enérgico.

Por esta consideración habían de emplearse en la escollera las piedras que suministran las canteras del país del volumen de 0,4 á 1,5 metros cúbicos; pero para prevenir los movimientos y deterioros que habría de sufrir necesariamente, se pensaba revestir el talud exterior con una capa de bloques de 10 metros cúbicos desde la parte superior hasta 6 metros más abajo de las bajas mares equinocciales. El sistema, pues, hubiera sido mixto, el cual, produciendo el efecto de asegurar pronto la estabilidad de la obra, no tiene el inconveniente del inmenso gasto de las escolleras de grandes bloques, porque la masa general se compone de piedras de menores dimensiones.

A pesar de que en el talud exterior se proponía una capa de grandes bloques, y que por lo tanto se podía, para la inclinación del talud, considerar á toda la escollera como formada con materiales de estas dimensiones, se supuso que los bloques sólo hacían oficio de revestimiento, y se dió al talud exterior una inclinación general de 3 por 1, y al interior la de 1,5 por 1.

Con objeto de atenuar en lo posible en la mampostería y sillería los pequeños movimientos que pueda sufrir la escollera, se dejaban, como se hace siempre en estas obras, anchos retallos al pié de aquélla; al exterior de 4 metros y al interior de 2.

Tales son las condiciones de la obra que en aquella época se proyectaba, la cual no se llevó á cabo, y el Gobierno dispuso que se redujesen las que en la concha de Castro se ejecutasen desde luégo, á cerrar los espacios libres que mediaban entre las peñas de Santa Ana, de cuyas obras nos ocuparemos en el artículo siguiente.

M.

MECANICA APLICADA.

RESÚMEN DE UNA MEMORIA DE MR. MAURICE LEVY SOBRE LA APLICACION DE LA TEORÍA MATEMÁTICA DE LA ELASTICIDAD AL ESTUDIO DE LOS SISTEMAS ARTICULADOS, FORMADOS DE VARILLAS (VERGES) ELÁSTICAS.

La mayor parte de las construcciones de madera ó de metal están formadas de piezas rectas rígidas, unidas entre sí de modo que se hallen sometidas solamente á fuerzas elásticas, dirigidas en sentido de sus longitudes respectivas. Frecuentemente la Estática pura basta para calcular estas fuerzas elásticas; otras veces el número de ecuaciones que suministra es inferior al de las fuerzas desconocidas. En este último caso se recurre habitualmente, ora á hipótesis más ó menos arbitrarias, ora á la aplicacion de ciertos principios (hipotéticos tambien) de la Resistencia de materiales.

Me propongo indicar de una manera general en qué caso bastan los principios de Estática para resolver el problema, en qué caso son insuficientes dichos principios, y demostrar que para esto último los más elementales de la teoría matemática de la elasticidad, permiten, sin recurrir á hipótesis alguna, y de una manera sencilla, completar las indicaciones suministradas por la Estática.

Del método que voy á exponer, y del cual haré algunas aplicaciones, derivan algunas consecuencias interesantes relativamente al célebre problema de los sólidos de igual resistencia.

Hé aquí la regla general á que he venido á parar.

Dada una figura (plana ó no) formada por barras articuladas en sus extremidades, y en cuyos puntos de articulacion hay aplicado un sistema cualquiera de fuerzas que los mantienen en equilibrio, para encontrar las tensiones que se desarrollan en las diversas barras se empieza por escribir que cada punto de articulacion está separadamente en equilibrio bajo la accion de las fuerzas

exteriores que á él están aplicadas y de las tensiones de las barras, en número cualquiera, que en él se reunen. Si por este procedimiento se obtienen tantas ecuaciones distintas cuantas sean las tensiones desconocidas, el problema queda resuelto sin otro auxilio que los principios de Estática pura (1). Si resultan K ecuaciones ménos que las necesarias, se puede asegurar que la figura geométrica formada por los ejes de las barras contiene K líneas sobrantes, es decir, K líneas más que el número necesario para definirla; que, por consiguiente, entre las longitudes de las líneas que la componen, esto es, entre las longitudes de las barras existen necesariamente K relaciones geométricas (éste es un problema de Geometría elemental). Escribanse estas relaciones; diferénciense considerando como variables todas las longitudes que entran en ellas; reemplácense las diferenciales por letras que representen los alargamientos elásticos de las barras, reemplácense á su vez estos alargamientos elásticos por sus expresiones en funcion de las tensiones y de los coeficientes de elasticidad de las barras (2); se obtendrán así K nuevas ecuaciones, á las cuales deberán satisfacer estas tensiones y que con las ecuaciones suministradas ya por la Estática, formarán un total igual al número de tensiones que se trata de determinar.

Conocidas las tensiones, se deducen (esto no es otra cosa que una cuestion de Geometría elemental) los alargamientos elásticos de las barras; y por consiguiente, las alteraciones de los ángulos que ellas forman entre sí, en una palabra, la nueva forma que afectará la figura despues de haber sufrido la deformacion elástica. Conocida esta forma se podrán deducir las componentes segun los ejes de coordenadas de los desplazamientos elásticos de cada uno de los puntos del sistema.

Con el auxilio de los desplazamientos se pueden expresar las sujeciones, si las hay, á las cuales la figura deberia estar sometida; tales como la necesidad de que ciertos puntos permanezcan fijos ó se muevan sobre superficies dadas, etc.; y encontrar las reacciones de los apoyos.

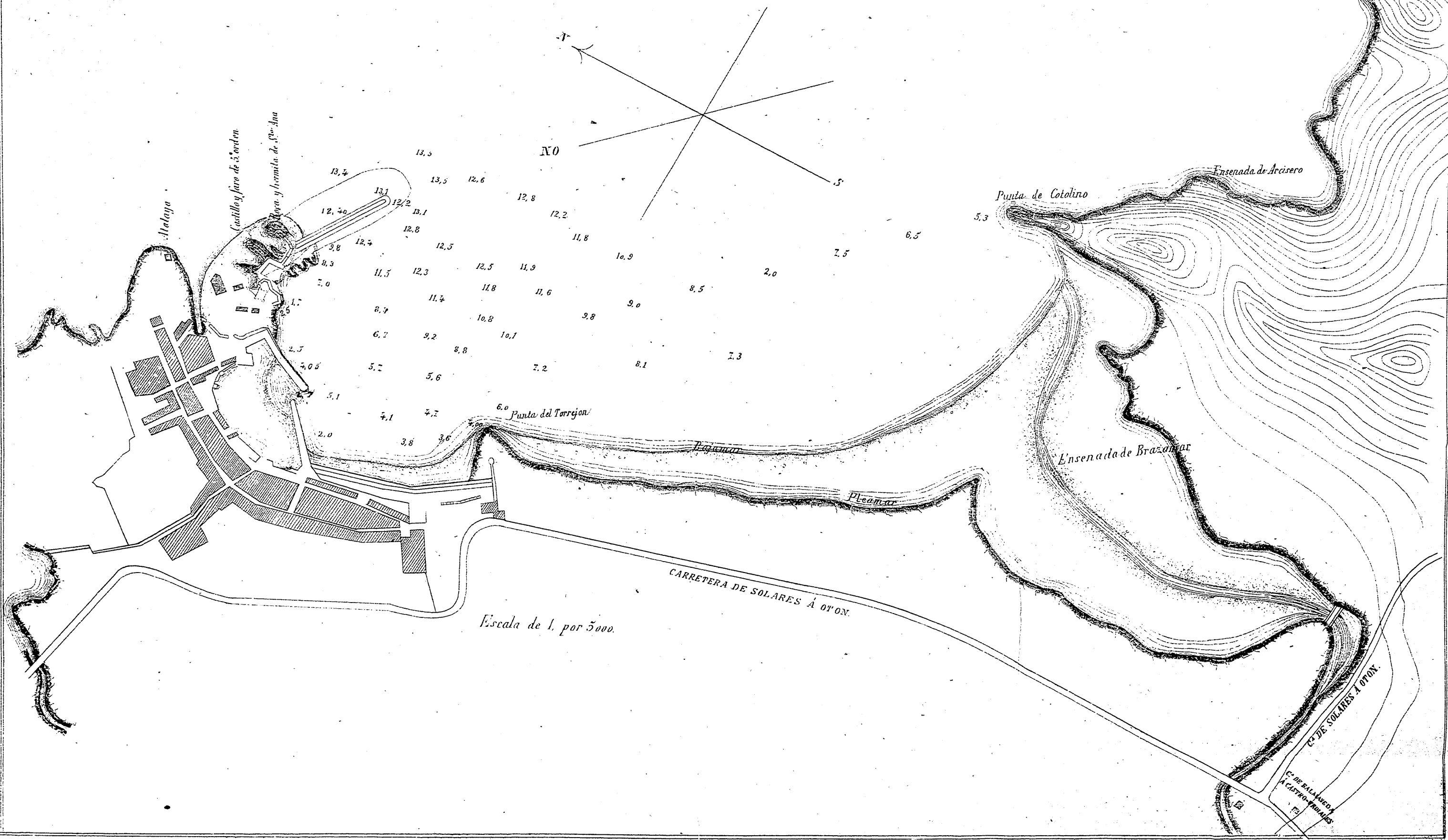
Del mismo modo, obtenidas las proyecciones sobre tres ejes de los desplazamientos elásticos en

(1) Lamé le ha examinado en este caso particular (*Leciones sobre la teoría matemática de la elasticidad*).

(2) Por medio de la fórmula elemental que expresa que el alargamiento de una barra por unidad de longitud es igual á su tension por unidad de superficie, multiplicada por la inversa del coeficiente de elasticidad de la barra.

PUERTO DE CASTRO-URDIALES.

Punta del Miño



Escala de 1. por 5000.

CARRETERA DE SOLARES A OYON.

CARRETERA DE SOLARES A OYON.

CARRETERA DE SOLARES A OYON.