

# EL PROBLEMA DE LOS ATERRAMIENTOS EN EL PUERTO DE SAN ESTEBAN DE PRAVIA

Por ENRIQUE VERA GONZALEZ,

Ingeniero de Caminos y Licenciado en Ciencias Económicas

*El problema reseñado en el epígrafe se expone en el presente artículo de forma muy completa, haciendo historia desde la ya lejana fecha de su planteamiento hasta su verdadero enfoque, al que se llegó en los últimos años merced a las teorías y consejos de D. Ramón Iribarren, que hacen concebir esperanzas de resolución favorable.*

## 1. Introducción.

El puerto de San Esteban de Pravia (Asturias) está situado en la desembocadura del río Nalón: es el segundo puerto carbonero de España y embarca, aproximadamente, 1 300 000 Tn. de carbón al año; el resto del tráfico, tanto de entrada como de salida, carece de importancia.

El puerto de San Esteban ocupa, aproximadamente, el décimo lugar entre los españoles en cuanto al volumen de tráfico (toneladas cargadas y descargadas), variando este puesto, como es natural, de un año a otro. Sin entrar en la cuestión de los criterios para fijar la importancia de un puerto, e incluso sobre el carácter encomiástico o peyorativo de la palabra "importante", creemos que en principio, y salvo circunstancias muy especiales, los puertos deben clasificarse por el volumen de su tráfico y no por el valor de las mercancías manejadas (1). La actividad portuaria es una fase del transporte, y como éste, debe medirse por las toneladas transportadas, ya que la importancia de una actividad económica es el valor que añade, no el valor de la mercancía sobre la cual actúa.

Un puerto, como lugar de enlace de las comunicaciones terrestres y marítimas, necesita satisfacer tres condiciones: 1.ª Buen acceso por tierra. 2.ª Buen acceso por mar. 3.ª Tranquilidad en el interior del puerto para que los barcos puedan permanecer en las debidas condiciones y realizar las operaciones de carga y descarga.

El puerto de San Esteban de Pravia cumple perfectamente la primera condición (el ferrocarril Vasco-Asturiano, principal alimentador del puerto, baja sin una sola rampa desde las minas a San Esteban) y la tercera (la dársena de San Esteban es de máxima

tranquilidad, incluso en días de gran temporal); pero, en cambio, no cumple debidamente la segunda condición, ya que los aterramientos, como luego veremos, originan grandes disminuciones en los calados y con ello producen dificultades a la navegación.

## 2. Descripción del puerto.

Como se ve en la lámina 1.ª, la Dársena de San Esteban, en la cual, por medio de grúas y cargaderos, se llevan a cabo todas las operaciones de carga, se encuentra en la margen izquierda del Nalón, y separada de éste por un muro divisorio que deja un espacio, Boca de la Dársena, por donde entran los barcos en ella.

Para llegar a la dársena, los barcos tienen que recorrer un trayecto de unos 1 500 m. del río Nalón: este tramo, más o menos encauzado, constituye el Canal de Entrada. El origen de este canal de entrada es la desembocadura del Nalón y está protegido de los temporales del NO. por el Dique del Oeste.

Los temporales dominantes son los del NO., que con un *fetch* de 3 200 Km., producen olas de 9,00 metros de altura en alta mar; al puerto llegan con dirección N. 32º O. y 9,00 m. de altura de ola.

Los temporales del NE. con *fetch* de 500 Km. producen olas de 5,70 m. de altura en alta mar: al puerto llegan con dirección N. 12º E. y 5 m. de altura de ola.

Los fondos delante de la desembocadura y en sus alrededores, están constituidos por arena fina.

La carrera de marea es de 4,50 m.

El calado tipo del Canal de Entrada es de 10 pies en BMVE.

La superficie total de la Dársena es 21,5 Ha.

El calado nominal de Dársena y muelles es de 6 m. en B.M.V.E.

La cuenca del río Nalón es de unos 4 300 Km.² y en ella están situadas casi todas las explotaciones carboneras de Asturias, las cuales vierten al Nalón o sus afluentes los residuos de los lavaderos y los productos de las escombreras.

(1) Si se midiese la importancia de un puerto por el valor de las mercancías cargadas o descargadas, y si el Nizam de Hyderabad decidiera veranear en Cudillero, embarcando y desembarcando todos los años con todos sus cofres de joyas, resultaría que este puertecito asturiano sería uno de los más importantes de España.

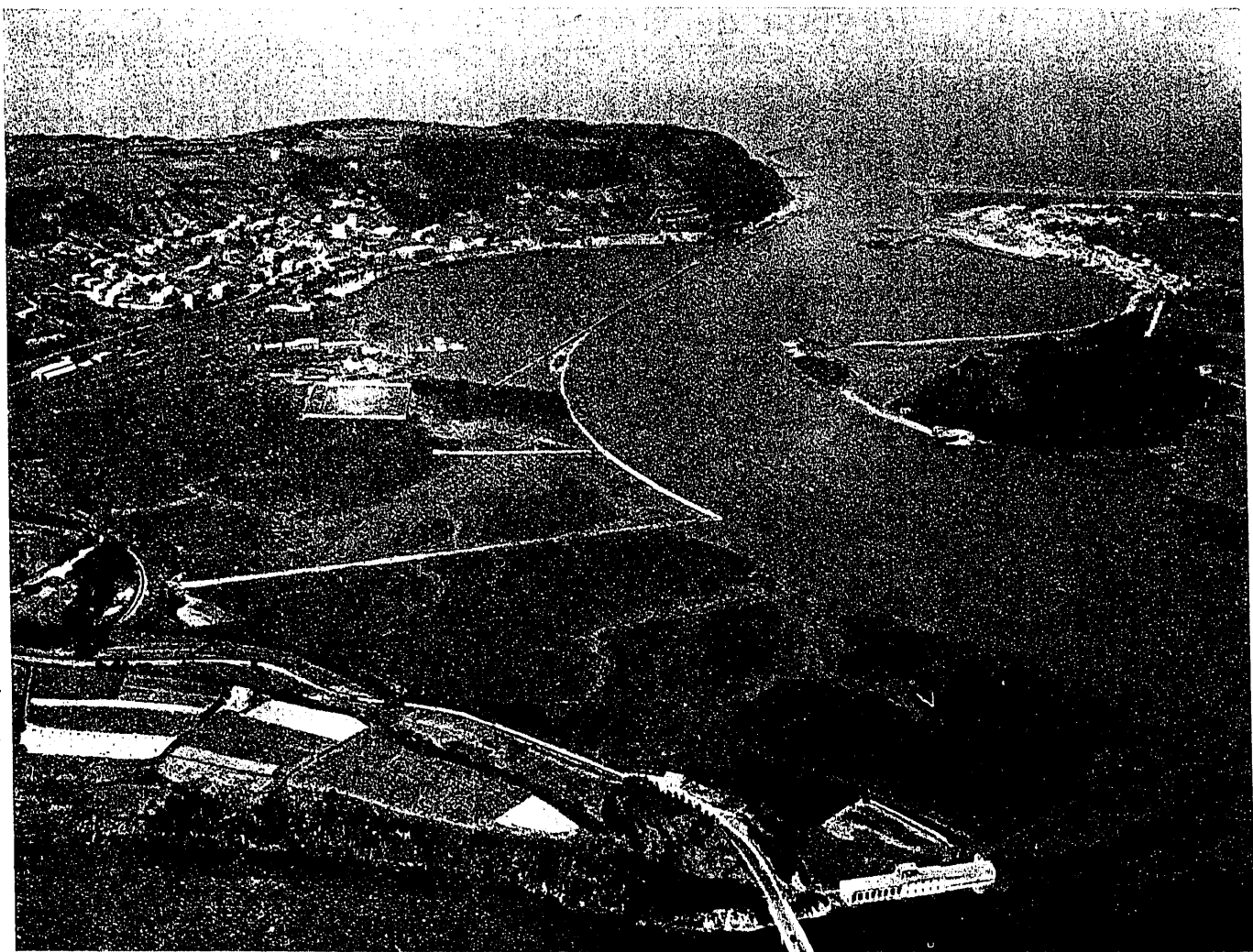


Fig. 1.ª — Vista general del Puerto desde aguas arriba del Nalón.

### 3. Historia sucinta del puerto.

Parece ser que en el siglo XVI la ría del Nalón tuvo un tráfico marítimo bastante intenso, que decayó después, intensificándose de nuevo a últimos del siglo XVIII y principios del XIX hasta el punto de que llegaban a entrar 1 500 buques al año. Existía el problema de la Barra, que, de cuando en cuando causaba bastantes víctimas entre los marineros y pescadores, pero no se había presentado la cuestión de los aterramientos de origen fluvial. Algunos escollos famosos en la historia del puerto y quitados hace muchos años, llamados Juan García, Lamparón, El Centenarín, etcétera, contribuían a hacer más difícil la entrada del puerto.

Más tarde disminuyó de nuevo la importancia de la ría del Nalón, debido especialmente al auge tomado por el puerto de Gijón, que empezó a ser el más importante de la región.

A mediados del siglo pasado se inicia la historia moderna del puerto. En 1862 empezaron los estudios para mejorar el puerto de San Esteban, fruto de los cuales fué el proyecto de D. Pedro Pérez de la Sala (1868), que consistía fundamentalmente en regularizar y encauzar el Nalón desde Pravia, bastante aguas arriba, hasta la desembocadura. Con este encauzamiento, cuyo último tramo estaba constituido por el Dique viejo del Oeste (primera alineación del Dique actual), se creía poder aumentar la potencia de limpieza y con ello hacer desaparecer la Barra: de todas las obras proyectadas solamente se construyó el Dique viejo del Oeste, que fué terminado en 1908; con ello no se logró suprimir la Barra, que parece sólo desaparecía en riadas extraordinarias.

En 1904 se inauguró el ferrocarril Ujo-San Esteban, construido para transportar carbón de la cuenca del Caudal y embarcarlo por medio de tres cargaderos construidos en la orilla izquierda del Nalón.

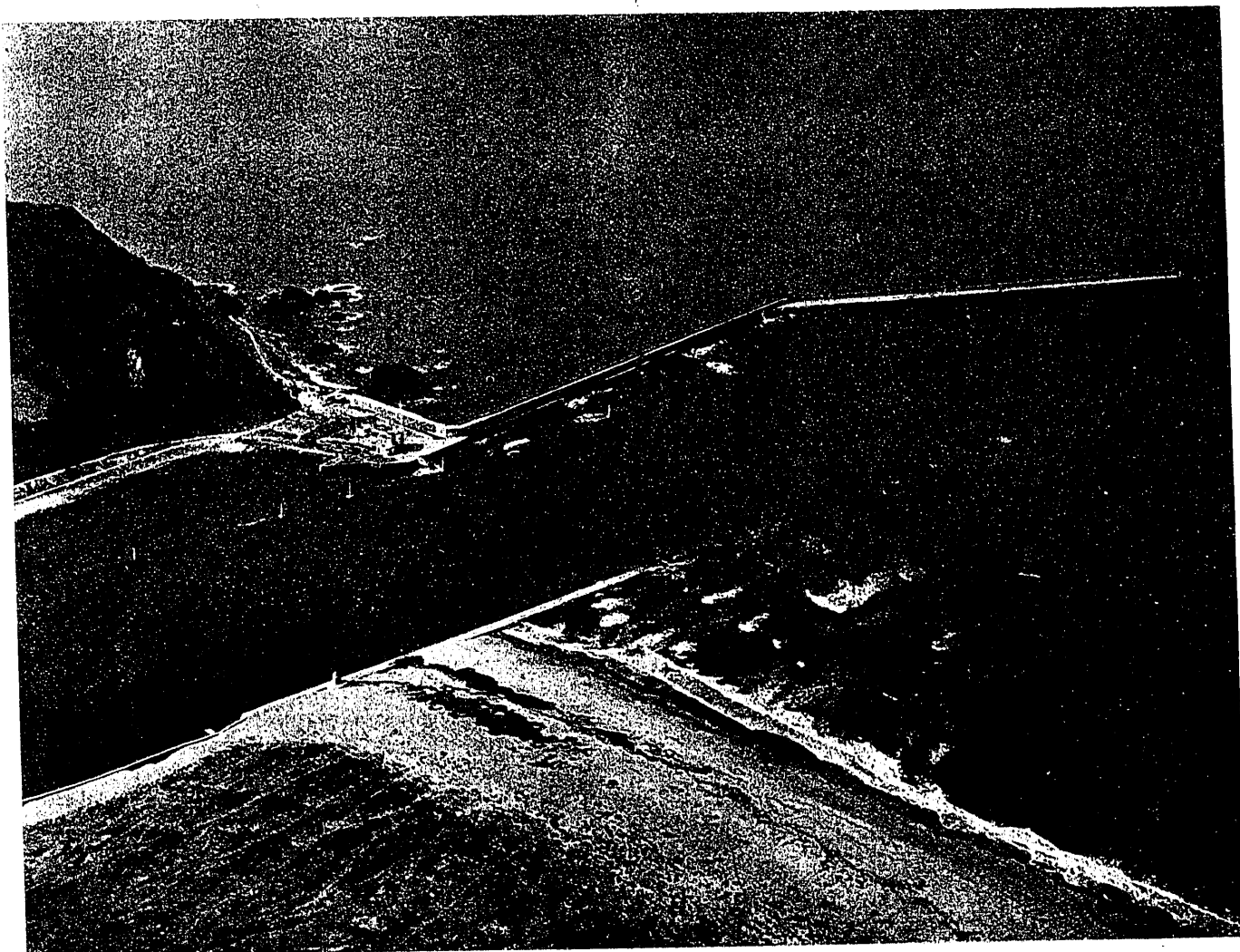


Fig. 2.<sup>a</sup> — Desembocadura del Nalón y Dique del Oeste.

Hacia 1910 se construyó la Dársena (muelles y muro divisorio).

En esta época empezó a presentarse el problema de los aterramientos fluviales.

De 1928 a 1944 se construyó la prolongación del Dique del Oeste (segunda alineación del Dique actual), con lo que se mejoraron las condiciones de abrigo de la entrada, pero se agravó el problema de la Barra.

En ese mismo período se ejecutaron las obras de encauzamiento del Canal de Entrada, y entre ellas, el dique del Este (último tramo del encauzamiento de la margen derecha).

Desde hace muchos años se realizan dragados intensivos para mantener los calados. Antes de 1936 se dragaban unos 600 000 m.<sup>3</sup> anuales; después de 1939, la media fué de 700 000 m.<sup>3</sup> al año; desde 1951, el ritmo de dragado es de 950 000 m.<sup>3</sup> anuales, habiéndose rebasado ampliamente esta cifra en varios años, especialmente en 1952 y 1956.

#### 4. El problema de los aterramientos.

El problema fundamental del puerto de San Esteban de Pravia es el de los aterramientos; de su importancia dan idea los volúmenes anuales de dragado indicados en el apartado anterior.

Dos causas dan origen a los aterramientos: la acción del mar y los arrastres del río Nalón, producidos especialmente por los lavaderos y escombreras de las minas de carbón.

Prescindiendo de los pequeños dragados que se llevan a cabo en San Juan de la Arena para que pueda descargarse la pesca, y que se elevan a unos 30 000 metros cúbicos anuales, los dragados se realizan en la Dársena, Boca de la Dársena, Canal de Entrada y Barra; bajo este último concepto entendemos en sentido amplio, aunque quizá impropio, la zona de la desembocadura del Nalón desde el punto en que tiene

importancia la acción de las olas hasta el morro del Dique del Oeste.

Es preciso separar los volúmenes dragados en cada una de esas zonas para poder estudiar su importancia y sus causas.

El volumen correspondiente a la Dársena es fácil de separar: se eleva a 200 000 m.<sup>3</sup> anuales, que últimamente ha venido realizándose por campañas de 400 000 m.<sup>3</sup> cada dos años.

Los aterramientos que se producen entre P.80 (Boca de la Dársena) y P.124 (Morro del Dique del Oeste) tienen lugar durante todo el año (aunque en verano en cantidad nula o muy pequeña) y hay que sacarlos a medida que se producen. El volumen anual medio dragado en los últimos años es el siguiente:

|                     |                                  |
|---------------------|----------------------------------|
| P. 80 a P. 88 ..... | 150 000 m. <sup>3</sup> anuales. |
| P. 88 a P.106 ..... | 250 000 » »                      |
| P.106 a P.114 ..... | 100 000 » »                      |
| P.114 a P.124 ..... | 250 000 » »                      |

Estos aterramientos se deben a causas marítimas y fluviales (acción de las olas y arrastres del río), pero no es fácil separar los volúmenes correspondientes; además, puede muy bien darse el caso de que los arrastres fluviales se depositen en la desembocadura y no sigan adelante, debido a la acción de las olas que les impiden avanzar e incluso les hacen retroceder; en este caso, aunque el origen del material sea fluvial (y alguna vez se ha estimado en un 20 por 100 la proporción de este material en la desembocadura), la causa del aterramiento es marítima.

En principio puede considerarse que todos los aterramientos que se producen desde Puerto Chico (P.106) hasta el Morro del Dique del Oeste (P.124) tienen causa marítima. Las razones que nos hacen suponer que los aterramientos marítimos comienzan en P.106, son las siguientes:

1.<sup>a</sup> La prolongación de la línea de PMVE de la playa de los Quebrantos es precisamente el P.106; parece lógico aceptar que la acción de las olas llega igual a un lado u otro del dique del Este.

2.<sup>a</sup> Efectivamente, se comprueba que cuando hay temporal las olas llegan con todo su efecto hasta ese perfil.

3.<sup>a</sup> La zona próxima al P.106 es donde menos dragado hay que realizar, es decir, parece marcarse un punto de mínima en los aterramientos, que muy bien puede deberse a que es el punto límite de acción de cada una de las dos causas (marítima y fluvial). Esto se ve fácilmente en la figura 3.<sup>a</sup>, en la que se indican los metros cúbicos dragados entre cada dos perfiles.

Más difícil, aunque quizá de menos interés, es separar los volúmenes correspondientes a la Boca de la Dársena y al Canal de Entrada, ya que, verdaderamente, aquélla es una parte de éste y los aterramientos tienen el mismo origen fluvial con un mecanismo de sedimentación parecido.

Para distinguir la Boca de la Dársena del Canal de Entrada, utilizaremos el siguiente criterio: según se explica en el apartado 7.<sup>o</sup>, cuando el caudal del río es normal o incluso con ligeras crecidas, existe, en la hinchante de marea, una línea de separación que

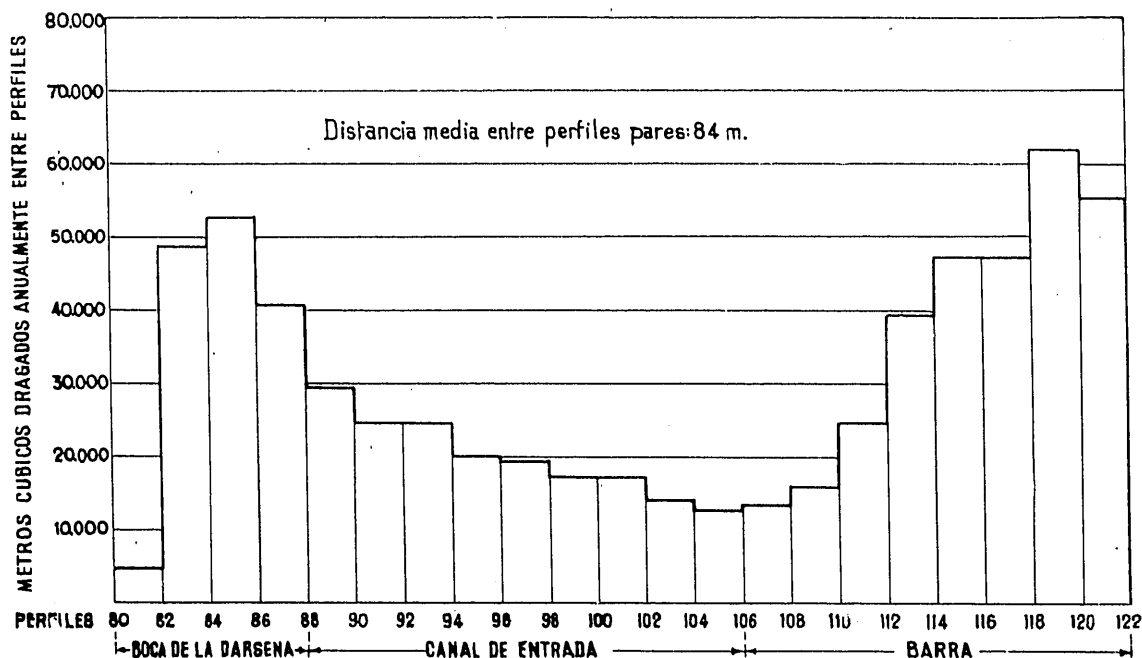


Fig. 3.<sup>a</sup>— Distribución media de los dragados efectuados en la Boca de la Dársena, Canal de Entrada y Barra.

marca el límite superior de avance de las aguas del mar; esa línea avanza hacia aguas arriba y con el río normal llega, poco antes de pleamar, al lugar indicado en la figura 5.<sup>a</sup>, es decir, aproximadamente al P.88, y con el río ligeramente crecido se establece algo más aguas abajo. Por ello podemos considerar ese perfil como límite entre la Boca de la Dársena y el Canal de Entrada; entonces, y siempre que no haya grandes riadas, el Canal de Entrada estará ocupado en pleamar por el agua bastante limpia del mar, y en cambio la Boca de la Dársena estará siempre llena de agua sucia del río; como en el punto de pleamar las velocidades se anulan o disminuyen mucho, se comprende que la Boca de la Dársena estará en peores condiciones que el Canal de Entrada.

Examinando la figura 3.<sup>a</sup> se ve que precisamente en el P.88 disminuye bruscamente la intensidad de los aterramientos, lo cual parece confirmar que dicho perfil divide dos zonas que deben considerarse separadamente.

En resumen tendremos:

|                          |                         |
|--------------------------|-------------------------|
| Barra .....              | 350 000 m. <sup>3</sup> |
| Canal de Entrada .....   | 250 000 »               |
| Boca de la Dársena ..... | 150 000 »               |
| Dársena .....            | 200 000 »               |

Parece que una determinada proporción, por ejemplo, un 20 por 100, de los aterramientos producidos de P.88 a P.106, son de origen marítimo; la explicación es que, especialmente cuando la Barra tiene poco calado, la hinchante de marea y el oleaje hacen penetrar parte del material de la Barra bastante aguas arriba.

Los aterramientos de la Dársena tienen lugar paulatinamente. Los de la Barra, Canal de Entrada y Boca de la Dársena se producen, en general, repentinamente; los calados disminuyen, a veces, 2 m. en tres o cuatro días, como consecuencia de un temporal o de una crecida; especialmente en la Darsenilla de Tolvas, y debido a la formación de remolinos, en unas horas entran algunos miles de metros cúbicos, que disminuyen el calado rapidísimamente.

Como orientación podemos suponer que casi todos los aterramientos de la Barra y una pequeña parte de los del Canal de Entrada, en total cerca de 400 000 metros cúbicos anuales, se deben a causa marítima, y el resto, algo más de 550 000 m.<sup>3</sup>, a causa fluvial.

### 5. Los aterramientos marítimos.

Como dijimos antes, la causa de los aterramientos producidos de P.106 a P.124, es marítima y debida

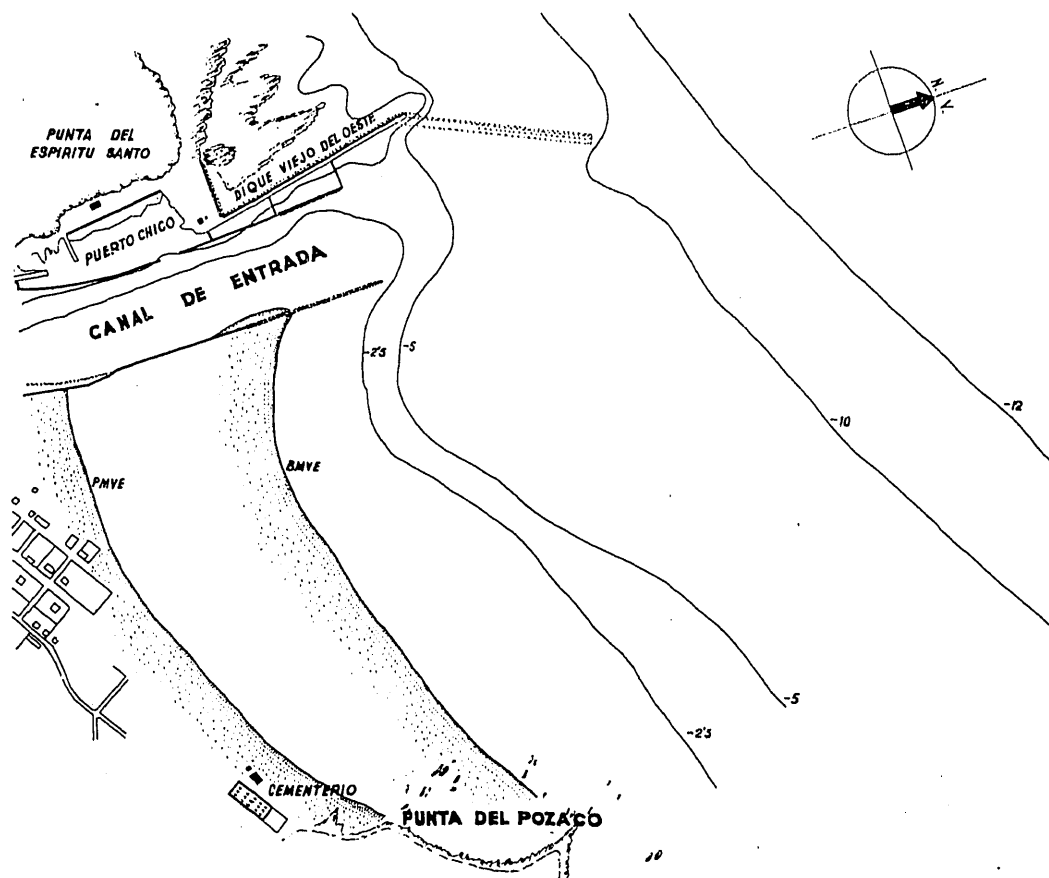


Fig. 4.<sup>a</sup> — La Entrada del Puerto en 1923.

a la acción de las olas. A la Barra que siempre se formó en la desembocadura del río Nalón, debido principalmente a la acción normal o casi normal de las olas, vino a sumarse el efecto producido por la prolongación del Dique del Oeste. Con los temporales dominantes del NO., con olas de 9,00 m., se pone en marcha el mecanismo de transporte de arena de la zona agitada a la abrigada, que examinaremos en el apartado siguiente, y deja la desembocadura en el lamentable estado indicado en la lámina 1.ª. Los temporales del NE. contribuyen a llevar la arena aún más aguas arriba.

Comparando la lámina 1.ª y la figura 4.ª, se ve claramente el movimiento de la playa y de las batimétricas producido por el resguardo del Dique, cosa que incluso se notaba a medida que avanzaba su construcción. Fuera de la línea Morro del Dique del Oeste-Punta del Pozaco, es decir, de la línea de alimentación del temporal NO., los fondos, excepto en una pequeña zona en que han subido poco más de un metro, son prácticamente los mismos que antes de la prolongación del Dique. Ello es natural, ya que los fondos dependen del equilibrio general de la costa; de los muchos millones de metros cúbicos de acarreo llevados por el río y vertidos en los trabajos de dragado, muy pocos se han depositado cerca de la desembocadura; la mayor parte han sido esparcidos por la acción del mar hasta muy lejos de la plataforma costera (1).

En la misma época en que se construía la prolongación del Dique del Oeste, se ejecutó el Dique del Este, y esto ha podido dar lugar al error de creer que este dique del Este era la causa del empeoramiento de la Barra. Quizá haya un pequeño efecto, limitado en intensidad y extensión, originado por el dique del Este; dificulta el estrangulamiento de la corriente del río y evita que se llegue a una situación de estrechez y calado relativamente grande, como existe en la zona contigua al Dique del Oeste.

La Barra propiamente dicha se forma aproximadamente entre P.110 y P.114; el calado de equilibrio es de unos 3 pies en B.M.V.E., pero muchas veces queda reducido a 1 ó 2 pies, e incluso en algunas ocasiones ha llegado a ser de 1 pie por encima de la B.M.V.E.

## 6. El transporte de arena de la zona agitada a la zona abrigada.

Como dijimos anteriormente, y se deduce claramente de la lámina 1.ª, estamos ante un caso típico de transporte de arena de la zona agitada a la zona abrigada, problema cuyo esclarecimiento debemos al

(1) Parece que este es el caso general cuando los acarreo no son excesivos y la acción del mar es intensa. En el caso contrario, en que hay muchos acarreo y la acción del mar no es muy grande, los temporales y corrientes son incapaces de esparcir los sedimentos depositados en la desembocadura, y se forma un delta.

Ingeniero D. Ramón Iribarren, que igual que en otros asuntos de técnica marítima, ha sido el primero en abordar científicamente.

Sin embargo, creemos que la causa de ese transporte no es una corriente transversal originada por la diferencia de sobreelevación. Parece que no puede existir una corriente que en todos los puntos se dirija hacia la zona abrigada, pues fallaría la condición de continuidad (el caudal que entra debe ser igual al que sale); pero sobre todo, puede demostrarse que la diferencia de sobreelevación no es causa de un desequilibrio que origine una corriente hacia la zona abrigada, sino que precisamente es la condición necesaria para que haya equilibrio dinámico transversal (1). Aun en el caso en que no fuera así, el nivel

(1) Aproximadamente puede demostrarse del siguiente modo:

La ecuación del equilibrio transversal es:

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y_0} = - \frac{d^2 x}{dt^2} \frac{\partial x}{\partial y_0} - \frac{d^2 y}{dt^2} \frac{\partial y}{\partial y_0} + \left( g - \frac{d^2 z}{dt^2} \right) \frac{\partial z}{\partial y_0}$$

En donde:

$$x = x_0 + r \sin \varphi;$$

$$y = y_0 + \frac{L}{\pi} \frac{dh}{dy_0} \frac{r}{h} \cos \varphi;$$

$$z = z_0 - r' \cos \varphi - \frac{\pi h^2 K}{2L}$$

(ya que el plano XY debe ser horizontal),

$$\frac{P}{\rho g} = z_0 - \frac{\pi h^2 K}{2L} + \frac{\pi r^2}{2KL} + \left( \frac{r}{K} - r' \right) \cos \varphi;$$

$$T = \sqrt{\frac{\pi L K}{g}}$$

Sustituyendo, suponiendo que  $h$  es función lineal de  $y_0$ , y despreciando términos de tercer grado, la ecuación del equilibrio transversal quedaría así:

$$g \left[ - \frac{dh}{dy_0} \frac{\pi h K}{L} + \frac{dh}{dy_0} \frac{\pi r^2}{KLh} + \frac{dh}{dy_0} \left( \frac{r}{hK} - \frac{r'}{h} \right) \cos \varphi \right] =$$

$$= \frac{dh}{dy_0} \frac{\pi^2}{T^2} \frac{r^2}{h^2} \sin^2 \varphi + \frac{\pi^2}{T^2} \frac{L}{\pi} \frac{dh}{dy_0} \frac{r}{h} \cos \varphi +$$

$$+ \frac{dh}{dy_0} \frac{\pi^2}{T^2} \frac{r'^2}{h} \cos^2 \varphi - g \frac{dh}{dy_0} \frac{r'}{h} \cos \varphi - g \frac{\pi h K}{L} \frac{dh}{dy_0}$$

Simplificando, queda:

$$\frac{\pi g}{L K h} \frac{dh}{dy_0} (r^2 - r'^2) \cos^2 \varphi = 0.$$

Es decir, se cumple prácticamente dicha ecuación, ya que siempre suponemos que ese término es despreciable (pág. 314 de *Oleaje y diques*, de Iribarren).

En cambio, si no hubiera diferencia de sobreelevación, el término  $g \frac{dh}{dy_0} \frac{\pi h K}{L}$  quedaría sin compensar y no habría equilibrio transversal.

Esta demostración no es absolutamente exacta, pero es muy suficiente para nuestro fin.

Como se ve, la razón de todo ello es que en el movimiento oscilatorio transversal, las fuerzas de inercia no son puramente armónicas, sino que tienen, además una componente constante que equilibra la diferencia de sobreelevación.

medio en movimiento se establecería en cada punto de modo que existiese dicho equilibrio transversal.

Creemos que la causa de este transporte de arena puede muy bien ser la siguiente:

Tanto si la ola está rota como si no lo está, pero muy especialmente en el primer caso, la arena del fondo se levanta en mucha mayor proporción cuando pasa la cresta ( $\varphi = 0$ ), ya que entonces las velocidades en el fondo son máximas, como se ve estudiando la ola en segunda aproximación; la mayor parte de la arena levantada está en suspensión desde entonces,  $\varphi = 0$ , hasta un momento que podemos estimar intermedio entre

$$\varphi = \frac{\pi}{4} \text{ y } \varphi = \frac{\pi}{2}.$$

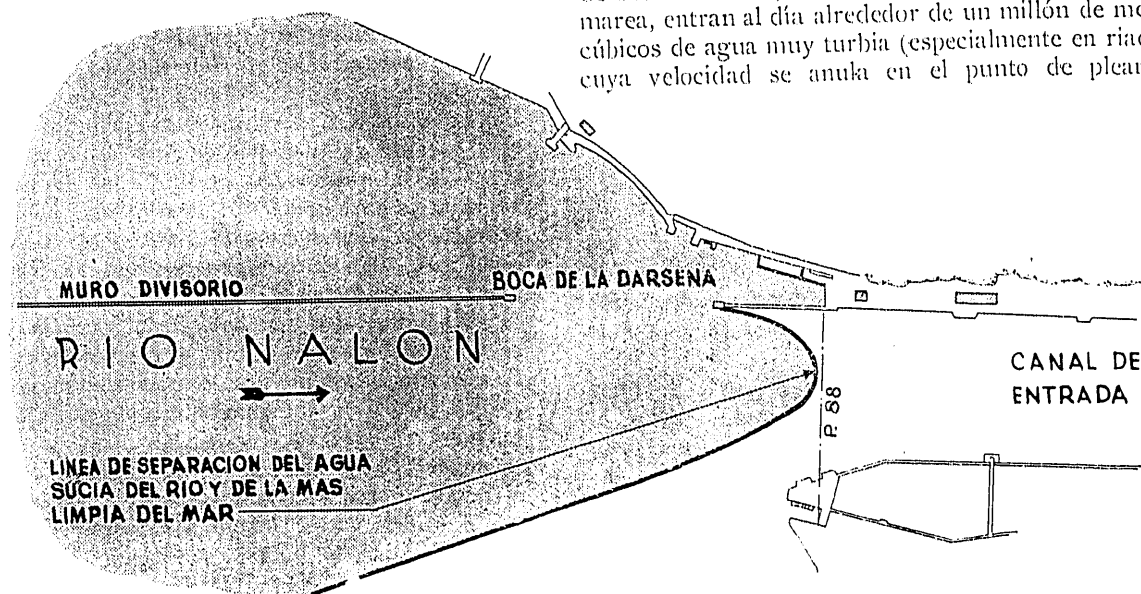


Fig. 5.ª — Situación de la Boca de la Dársena en pleamar, con río normal.

Fácilmente se ve en la fórmula del movimiento oscilatorio transversal que, durante todo ese tiempo, la velocidad transversal

$$v_y = - \frac{L}{T} \frac{dh}{dy_0} \frac{r}{h} \sin \varphi$$

es negativa, es decir, dirigida hacia la zona abrigada, y en esta dirección arrastra la arena en suspensión y allí se deposita. En el semiperíodo siguiente, la velocidad del movimiento oscilatorio transversal está dirigida hacia la zona agitada, pero entonces el transporte de arena es menor, por ser menor la altura de ola y, sobre todo, por tener lugar después de pasar el seno, es decir, cuando hay menos arena en suspensión.

En resumen, el movimiento oscilatorio transversal arrastra la arena hacia la zona abrigada y en el semiperíodo siguiente no puede volver toda al lugar donde estaba.

Por tanto, la arena se va depositando en la zona abrigada y aquí irá subiendo el fondo. El equilibrio definitivo teórico tendrá lugar cuando la pendiente transversal del fondo sea tan grande que se compense el transporte de arena en los dos sentidos; prácticamente, el equilibrio se alcanzará un poco antes por consideraciones que ahora no interesan.

## 7. Los aterramientos fluviales.

Los sedimentos de la Dársena, Boca de la Dársena y Canal de Entrada, son producidos en su casi totalidad por los acarrees del río Nalón, que, como hemos dicho, arrastra las escombreras y residuos de los lavaderos de las minas de carbón de su cuenca.

La Dársena actúa como un gigantesco depósito de sedimentación, en el cual, debido a la carrera de marea, entran al día alrededor de un millón de metros cúbicos de agua muy turbia (especialmente en riadas), cuya velocidad se anula en el punto de pleamar;

como la proporción de materia sólida que lleva el agua no suele bajar del dos por mil y puede llegar al siete por mil y aun más, se comprende que, a poco que sedimente, los aterramientos pueden alcanzar cifras muy importantes, siendo necesario, como hemos dicho, dragar anualmente unos 200 000 m.<sup>3</sup> para tener la Dársena en las condiciones mínimas necesarias. Esta es la causa fundamental de los aterramientos en la Dársena y no, como se ha supuesto a veces el agua turbia que en cantidad relativamente pequeña pasa, en riadas, a través de los huecos del muro divisorio, aunque algo contribuirá a ello.

Los aterramientos en la Boca de la Dársena y Canal de Entrada tienen un origen análogo al anterior, aunque el mecanismo que los produce sea algo diferente. Podemos distinguir dos casos: a) Río más o menos normal, e incluso pequeñas riadas. b) Grandes riadas. Los aterramientos tienen lugar en los dos casos, pero con mucha más intensidad en el segundo.

En el primer caso se trata de un caso típico de sedimentación en un estuario (y como tal, afectado por la marea), que ha sido estudiado por varios autores y últimamente de una manera bastante completa por los ingenieros americanos Schultz y Simmons. En la hinchante, las corrientes ascendentes de marea contrarrestan en circunstancias normales a la velocidad descendente del río, todo ello influenciado por las corrientes de densidad, que pueden hacer que en la superficie haya corriente descendente de agua dulce y en el fondo corriente ascendente de agua salada. Se produce una línea, o mejor dicho, superficie de separación entre las aguas del río y las del mar; en el caso del Nalón, y cuando no hay riada, esta línea de separación está bien definida: en la hinchante, sube desde la desembocadura hasta la Boca de la Dársena, donde permanece hasta un poco antes del punto de pleamar en la forma indicada en la figura 5.<sup>a</sup>. En las inmediaciones de la línea de separación la velocidad es nula, y, por tanto, allí sedimentan las partículas arrastradas por el río hacia aguas abajo, y en menor proporción, las arrastradas por la corriente de marea desde la Barra hacia aguas arriba. Como la línea de separación está quieta en la Boca de la Dársena durante bastante tiempo (ya que no puede ir más aguas arriba por la existencia de la Dársena y no ser muy grande la corriente de marea en relación al caudal del río), en esa zona es donde más sedimentos se producirán.

En el segundo caso, es decir, a partir de unos 150 m.<sup>3</sup>/seg., y especialmente en grandes riadas, el mecanismo de sedimentación es algo diferente: en ningún punto, ni aun en el fondo, se anula la velocidad, que es siempre hacia el mar; no existe línea de separación; mejor dicho, está más allá de la desembocadura. En cambio, los arrastres son mucho mayores y sedimentan cuando la velocidad disminuye; este efecto es máximo en los últimos momentos de la riada, en los que las velocidades son ya mucho menores y se producen grandes sedimentaciones en todo el Canal de Entrada y Boca de la Dársena. Por otra parte, en estos últimos momentos puede subir ya la línea de separación y estamos en circunstancias análogas al caso anterior y habrá aún más sedimentación en la Boca de la Dársena.

En resumen, con río normal o pequeñas crecidas, la sedimentación, no muy grande, tiene lugar casi exclusivamente en la Boca de la Dársena; en grandes riadas, los aterramientos son muy intensos en el Canal de Entrada y aún más en la Boca de la Dársena. Por todo ello, la intensidad media anual de los aterramientos es más del doble en la Boca de la Dársena que en el Canal de Entrada, como se ve en la figura 3.<sup>a</sup>.

Además, hay otra posible causa de sedimentación, que es la siguiente: las partículas menores de un tamaño límite que depende de la composición química, pero que podemos estimar en unas 2 micras, están en suspensión coloidal: si el agua del río se mezcla en

algún punto con la del mar, al cambiar el medio, las partículas coloidales pierden sus cargas eléctricas y sedimentan (1).

Las causas examinadas originan grandes aterramientos en la Boca de la Dársena y Canal de Entrada. Hace sesenta años, el calado de equilibrio en el Canal de Entrada parece que era de 10 a 12 pies en B.M.V.E.; ahora es de 2 a 3 pies. Incluso en determinadas circunstancias, algunas zonas llegan a tener un calado de cero pies sobre la B.M.V.E.

## 8. Soluciones al problema de los aterramientos.

Desde 1868, en que D. Pedro Pérez de la Sala redactó el primer Proyecto de Mejora del Puerto de San Esteban de Pravia, hasta 1935, todas las soluciones estudiadas giran alrededor de la misma idea: que un encauzamiento bien proyectado podría aumentar la potencia de limpia y mejorar las condiciones en la Barra, entonces problema casi único, ya que, a causa del menor auge de la minería de carbón, el de los aterramientos en el Canal de Entrada no tenía la importancia que actualmente. El optimismo con que se veían estas soluciones era debido a no conocerse bien los fenómenos de movimientos de arenas, y en especial, los de formación de barras; la realidad no fué tan halagüeña, pues las obras de regularización y encauzamiento ejecutadas en diversas épocas, prácticamente no mejoraron en nada la Barra.

En 1935, y al aumentar el problema de los aterramientos fluviales, se empezó a pensar en separar el cauce del Nalón del Canal de Entrada, pero disponiéndolos contiguos y quedando la desembocadura prácticamente en el mismo lugar donde está ahora; con ello quizá se hubiera solucionado, en parte, el problema del Canal de Entrada y Dársena, pero el de la Barra hubiera quedado insoluble (o incluso empeorado), ya que prácticamente no habrían cambiado las condiciones marítimas (olas, arrastres, etc.) en la desembocadura.

Este período de cambio de ideas y de dudas entre encauzamiento y separación de cauces, duró hasta 1952, en que el entonces Ingeniero Director del Puerto, D. José M.<sup>a</sup> González del Valle, siguiendo las ideas y consejos de D. Ramón Iribarren, enfocó la cuestión de una manera que posiblemente sea la única que pueda resolverla. La idea, esencialmente distinta a las anteriores, consiste en separar el problema marítimo del fluvial y resolver, en primer lugar, el marítimo por medio de un Contradique que actuará del modo que se explica en el apartado siguiente. Efectivamente, aunque los aterramientos marítimos no lleguen quizá al 35 ó 40 por 100 del volumen total, sin embargo, por el lugar donde se producen, por la mayor peligrosidad que presentan, por la rapidéz e

(1) Es clásico el experimento de hacer una suspensión de arcilla en agua dulce y en agua del mar; en ésta sedimenta mucho antes.



intensidad de formación, por la dificultad de dragado, etcétera, constituyen un problema que debe resolverse con preferencia al de los aterramientos fluviales; pero, sobre todo, es prácticamente imposible y hasta peligroso, hacer una verdadera desviación del río mientras no se resuelva el problema de la Barra. Una vez resuelto o aliviado éste, o sencillamente decididas e iniciadas las obras correspondientes, podrá llevarse a cabo la Desviación del Nalón para evitar los aterramientos fluviales.

Parece que alguna vez se pensó en construir unos espigones que estrechasen el canal de entrada a menos de su mitad; se esperaba con ello aumentar grandemente la potencia de limpia en Canal y Barra y conseguir buenos calados; aparte de las incógnitas de esta solución y de la disminución de la capacidad de desagüe en crecidas, no parece en los tiempos actuales aceptable la idea de empeorar las condiciones de entrada e impedir el futuro desarrollo del puerto.

## 9. El Contradique.

El objeto del Contradique, cuyas obras han sido ya adjudicadas, es evitar, o al menos disminuir grandemente, la formación de la Barra, entendiendo como tal, según, se dijo antes, los aterramientos de origen

o causa marítima que tienen lugar entre Puerto Chico (P.106) y el Morro del Dique del Oeste (P.124).

El Contradique, como se ve en la lámina 1.<sup>a</sup>, es sensiblemente paralelo y próximo al límite de alimentación del temporal NO.

La idea fundamental, debida al Ingeniero don Ramón Iribarren, es la siguiente: Como dijimos en el apartado 5, con los temporales dominantes del NO., y debido al resguardo del dique del Oeste, existe un transporte de arena de Este a Oeste, es decir, de la zona agitada a la abrigada. Con el Contradique se establece una zona abrigada al resguardo de él y existirá un transporte de arena de Oeste a Este, es decir, desde delante de la actual desembocadura hacia el arranque del Contradique; la parte menos abrigada será precisamente delante del Canal de Entrada y, por tanto, en esta zona será donde habrá mayores calados.

A la vista de la lámina 1.<sup>a</sup> y figura 6.<sup>a</sup> (en la que se indica la posible distribución de las batimétricas después de construido el Contradique), se comprende fácilmente lo dicho; por eso no hemos considerado necesario reproducir aquí los planos de oleaje que lo comprueban.

Como se ve, el Contradique no actúa como una pantalla estática que impida el paso de las arenas

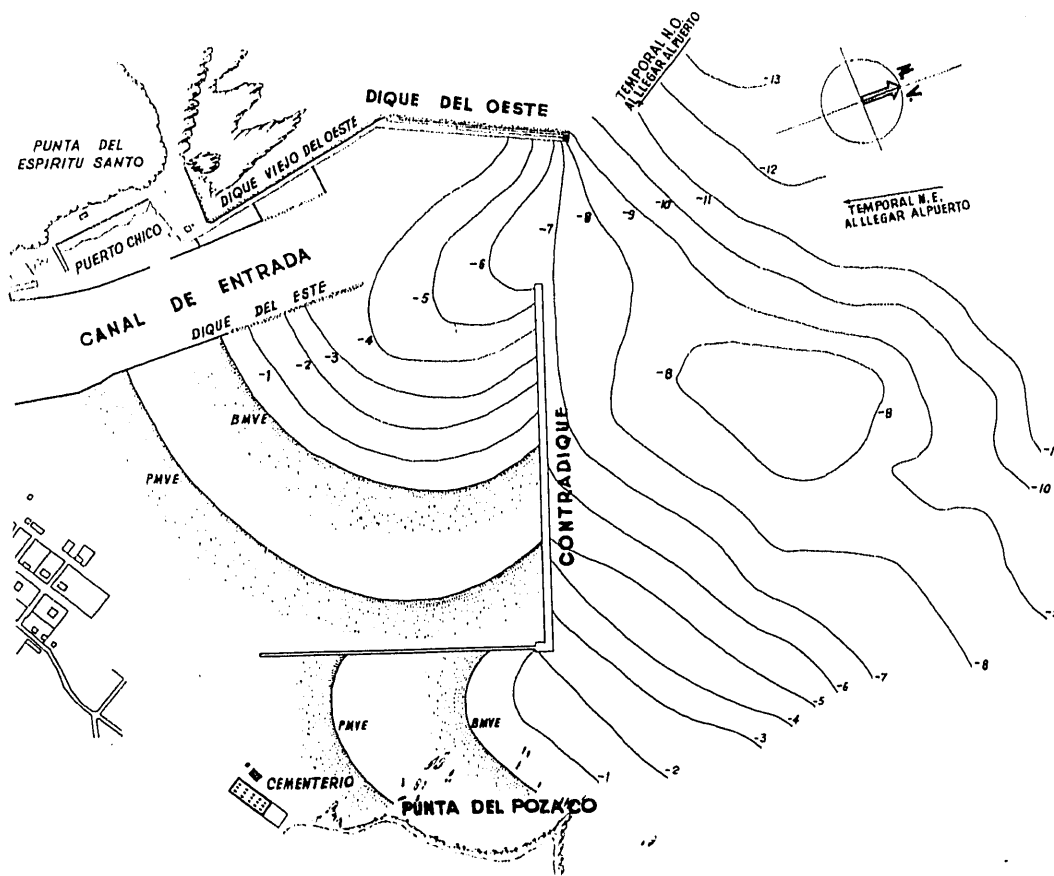


Fig. 6.<sup>a</sup> — Probable Distribución de Batimétricas después de construido el Contradique.

desde el exterior; hablando en términos matemáticos, podríamos decir que en las complicadas leyes de equilibrio que relacionan alturas de ola, velocidades, profundidades, arrastres, etc., cambian las condiciones en los límites y se establece una nueva distribución de todas esas variables, y en particular de las profundidades, que es lo que interesa en este caso.

Los temporales del N.E., menos violentos, no cambian la situación, ya que también para ellos el arranque del Contradique es zona abrigada y hacia allí arrastrarán las arenas.

Indudablemente, algo de arena entrará por la boca formada entre los morros del Dique del Oeste y del Contradique; pero, probablemente, serán pequeños volúmenes que además se irán depositando al abrigo del Contradique, no formándose barra delante de la desembocadura; la playa formada en el abrigado ángulo interior del Contradique irá creciendo lentamente y probablemente serán necesarios de tarde en tarde algunos dragados para evitar siga avanzando hacia la entrada.

En la figura 7.<sup>a</sup> se ha dibujado el perfil tipo del

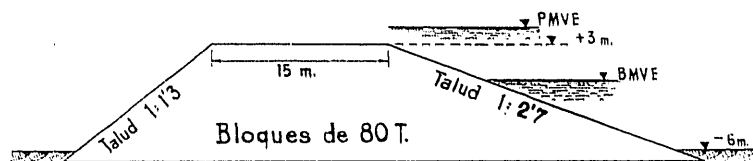


Fig. 7.<sup>a</sup> — Perfil tipo del Contradique.

Contradique. Por ahora se ha proyectado elevándolo sólo hasta la cota  $+3$  m. sobre la B.M.V.E., es decir a poco más de media marea; muy posiblemente, en un futuro próximo y una vez visto cómo funciona, será necesario recrecerle para reforzar su efecto y evitar que puedan pasar por encima las olas cargadas de arena en suspensión.

La sección se ha proyectado a base de bloques de hormigón ciclópeo, utilizándose para el cálculo la fórmula de Iribarren con olas de 9,00 m. en las proximidades de la obra, que se eleva a 9,74 m. en el momento de la rotura, teniendo en cuenta el aumento de altura de ola producido por la propia obra.

A causa de las duras condiciones existentes, ya que las olas pasarán por encima, se han dispuesto bloques de 80 Tn., resultando un talud de 1 a 2,7. El peso de 80 Tn. adoptado coincide, por otra parte, con el dado por la fórmula de P. A. Hedar para diques semisumergidos, independientemente del talud (1).

Después de las vicisitudes quizá propias de un proyecto de esta importancia (anteproyectos, infor-

mes del Consejo de Obras Públicas, proyecto, etc.), la obra, con un presupuesto inicial de unos 50 millones de pesetas, se ha iniciado ya y es de desear que se desarrolle debidamente.

## 10. La Desviación del río Nalón.

Para evitar los aterramientos de origen fluvial, la única solución es la Desviación del río Nalón. Una vez decidida la construcción del Contradique y fijada por tanto la salida del nuevo cauce en la parte oriental de la playa de los Quebrantos, el mejor trazado en cuanto a condiciones hidráulicas es por el Este de San Juan de la Arena, es decir, entre este pueblo y la ladera; esta solución presenta, además, la ventaja sobre el trazado por el Oeste de La Arena, de que se dispone de más espacio para futuras ampliaciones del puerto y que el pueblo pesquero de La Arena queda contiguo al puerto, pudiéndose entonces construir una Dársena Pesquera en las debidas condiciones. La única incógnita era el terreno, es

decir, si efectivamente podría hacerse un nuevo cauce por el lugar indicado; una intensa campaña de exploración realizada por la Jefatura de Sondeos, demostró que ello es perfectamente posible, en vista de lo cual se decidió el trazado por el Este de San Juan de la Arena.

La Desviación del Nalón es, por tanto, factible y además su presupuesto no es excesivo. Sin embargo, creemos que ha sido muy oportuna y prudente la decisión de anteponer el Contradique a la Desviación, ya que el río, aunque con sus temibles caudales sólidos, produce aterramientos en el Canal y Dársena, generalmente, y aunque parezca paradójico, es un elemento de limpia en la Barra y evita su crecimiento, estableciéndose un equilibrio en los calados, que no disminuyen aún más debido a la acción favorable del río y de la vaciante (1). Si se suprimiera la corriente del río y además, en lugar de un cuenco de marea de 10 ó 12 Km. de longitud, sólo se dispusiera de la Dársena, la potencia de limpia en la desembocadura disminuiría mucho y aumentaría la Barra en una

(1) La fórmula de P. A. Hedar es:  $P = 0,080 \frac{A^3 d}{(d-1)^3}$

(1) En 24 de octubre de 1918, una crecida extraordinaria limpió completamente la barra.

proporción que puede deducirse de las fórmulas de Obrien, Le Conte, etc., que dan la sección de la entrada en media marea en función del volumen de agua almacenado aguas arriba por la marea. En otros términos, si ahora el caudal en vaciante es, por ejemplo, de 100 m.<sup>3</sup>/seg. (vaciante) + 50 m.<sup>3</sup>/seg. (río) = 150 m.<sup>3</sup>/seg., una vez desviado el río, sería de unos 25 m.<sup>3</sup>/seg., es decir, quedaría reducido a la sexta parte y la potencia de limpia en la Barra disminuiría en proporción aún mayor. Incluso, aunque quizá sea un excesivo pesimismo, con temporales fuertes y duraderos, pudiera formarse una playa en la Barra y dejar el puerto convertido en una ratonera (1).

Por las consideraciones anteriores y por las expuestas en el apartado 8, creemos que es más urgente el Contradique que la Desviación, si bien es muy posible que sea aconsejable iniciar los trabajos de ésta, sin esperar a terminar aquél.

Se han hecho ya los trabajos topográficos, geológicos, etc., para la Desviación, y se avanzó bastante su estudio y el de sus obras complementarias (accesos, puente, etc.), así como el de la posible ampliación del puerto y construcción de una Dársena Pesquera, asuntos íntimamente relacionados con la Desviación, ya que no deben entorpecerse mutuamente.

## 11. Dragados.

En tanto no se logre resolver total o parcialmente el problema de los aterramientos, es necesario realizar intensos dragados para mantener el puerto en condiciones de explotación no exageradamente malas, y ello, a pesar de lo ingratos que son estos trabajos, ya que muchas veces un temporal o una crecida anula en tres o cuatro días la labor de dos o tres meses (2).

El puerto de San Esteban de Pravia tiene varias dragas, tanto de succión como de rosario, dedicadas exclusivamente a esta tarea de conservación de calados; incluso a veces es necesario llevar dragas de otros puertos, especialmente cuando alguna de las propias se encuentran en reparación. Los volúmenes dragados en los últimos años, medidos en cántara, han sido:

|            |                         |
|------------|-------------------------|
| 1951 ..... | 956 000 m. <sup>3</sup> |
| 1952 ..... | 1 172 000 »             |
| 1953 ..... | 1 076 000 »             |
| 1954 ..... | 710 000 »               |
| 1955 ..... | 676 000 »               |
| 1956 ..... | 1 135 000 »             |

(1) Ha habido varios casos análogos, por ejemplo, el cierre de la bocana de Mar Chica y recientemente el de la gola principal del Elbro. Claro que en el Cantábrico las condiciones son distintas, por haber una gran carrera de marea.

(2) Por ejemplo, el 6 de junio de 1953, cuando ya se había logrado el calado normal y lógicamente, dado lo avanzado de la buena estación, parecía que ya no había que temer nuevos aterramientos de importancia hasta el otoño o invierno siguientes, una fuerte riada dejó el Canal de Entrada con dos o tres pies en B.M.V.E.

Sería muy interesante tratar de averiguar hasta qué punto deben intensificarse los dragados.

No parece aceptable la opinión de que debiera dragarse cuanto más mejor, cueste lo que cueste, y siempre con la máxima intensidad, para lograr, inmediatamente de producidos los aterramientos, el calado necesario para la buena explotación del puerto, calado que desde hace muchos años se ha fijado para la Canal y Barra en 10 pies en B.M.V.E. (1).

En primer lugar, es prácticamente imposible lograr ese ideal, ni aun teniendo siempre preparados varios trenes de dragado dispuestos a trabajar inmediatamente, ya que son necesarios unas determinadas condiciones de altura de marea y estado del mar.

En segundo lugar, no hay razón poderosa que obligue a que el calado tipo sea siempre de 10 pies en B.M.V.E. y no 8 ó 12 pies; posiblemente sería más conveniente seguir manteniendo el calado tipo de 10 pies en verano y adoptar uno algo menor para el invierno.

En tercer lugar, hay que tener en cuenta que cuanto más se drague, más sedimentos se depositan tanto en el Canal de Entrada, al aumentar los calados y disminuir las velocidades, como en la Barra, al aumentar los transportes de arena. El calado que un temporal o una crecida dejan en la Barra o en el Canal de Entrada, no depende del que había antes, sino que queda el calado de equilibrio correspondiente (por ejemplo, 3 pies en B.M.V.E.); muchas veces, el dragar es hacer hueco para recibir más arrastres y sedimentos, que habrá que volver a dragar inmediatamente. Este razonamiento es especialmente válido para el invierno, ya que hay muchas más probabilidades de que el trabajo y coste efectuado se pierda a los pocos días.

Esta cuestión de los dragados como tantas otras, hay que enfocarla con un criterio económico que debe ser el siguiente:

Con la experiencia obtenida en bastantes años, podría dibujarse la curva que da la "calidad del puerto" en función del volumen dragado anualmente; la "calidad del puerto" puede expresarse por las toneladas de carbón que pueden salir, los falsos fletes evitados, los días del año en que hay como mínimo un determinado calado, etc.; en principio creemos que se puede tomar el último número, por ejemplo, los días del año en que el calado es igual o superior a 8 pies en B.M.V.E., como un índice de la situación del puerto; otros índices, por ejemplo, el número de días del año en que el calado es como mínimo de 10 pies, podemos suponer que en primera aproximación son función del primer índice elegido.

Sin pretender una exactitud imposible, la forma de la curva, variable de un año a otro pero siempre

(1) Con este calado y con la pleamar mínima de 10 pies, se obtiene en pleamar un calado de 20 pies, que es, aproximadamente, el que los barcos que frecuentan el puerto necesitan para salir cargados.

del mismo tipo, es la indicada en la figura 8.<sup>a</sup>; de ella se deducen importantes consecuencias, que examinamos a continuación.

Hay un volumen mínimo a dragar anualmente, por debajo del cual puede decirse que no existe el puerto; este volumen puede ser, por ejemplo, del orden de 500 000 m.<sup>3</sup> anuales. A partir de este volumen, el dragado es cada vez "menos agradecido" y llega un momento en que intensificarlo mucho prácticamente no mejora en nada la situación del puerto.

En resumen, nos encontramos, como en tantos campos de la Economía, ante un fenómeno, en que domina la ley de rendimiento decreciente. El punto económico de la curva, que marcaría por tanto hasta dónde debe intensificarse el dragado, sería aquel para el cual el coste marginal de los dragados fuera igual al beneficio marginal de la mejora del puerto, o sea, cuando el beneficio marginal neto fuera cero. Como puede comprenderse, ese punto es imposible de determinar matemáticamente, y sólo puede aspirarse a

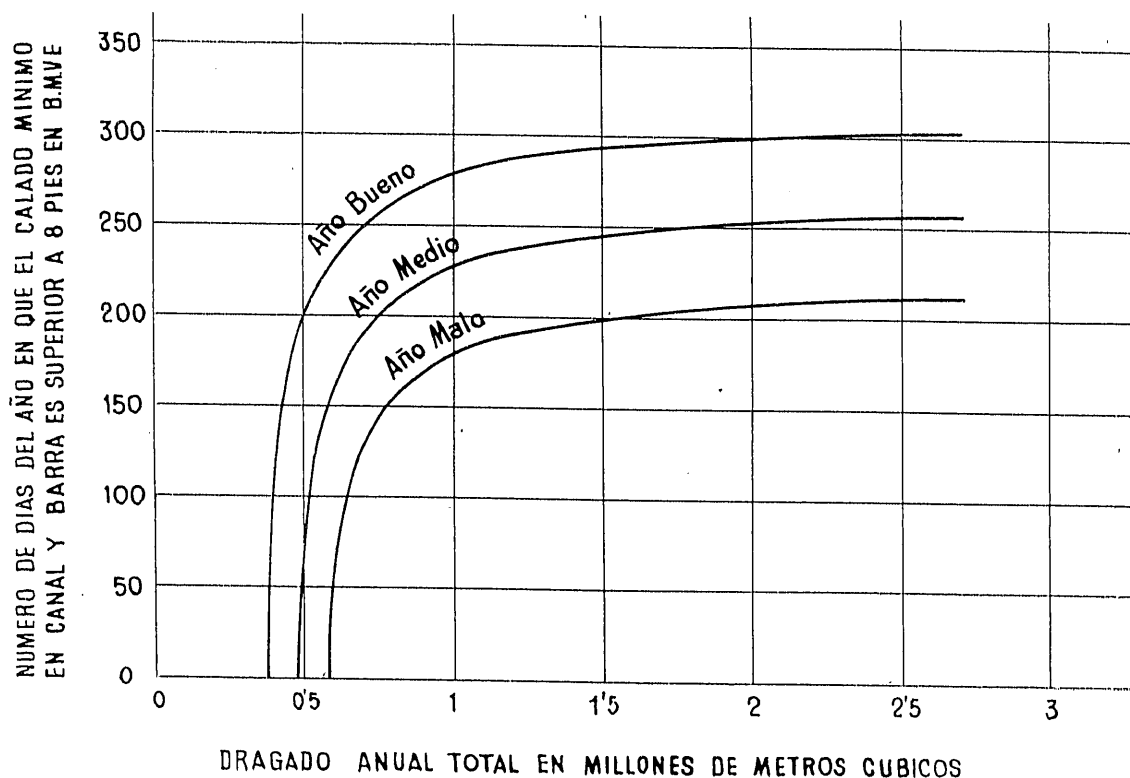


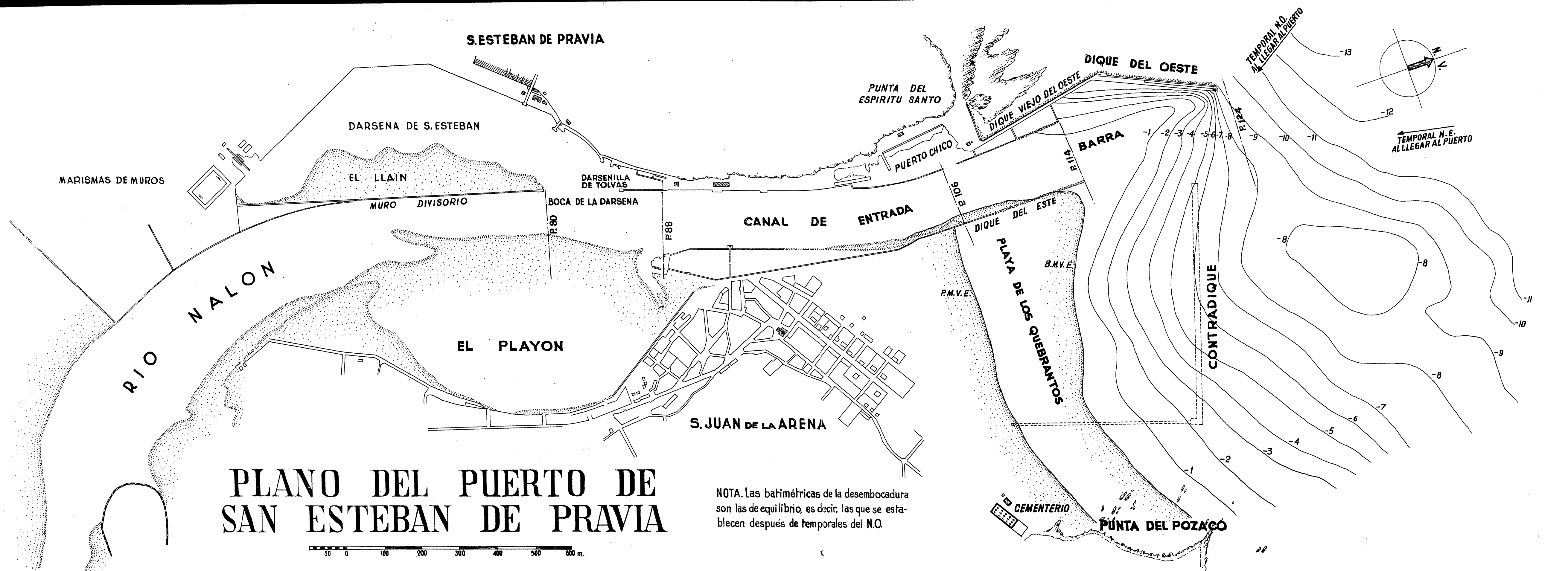
Fig. 8.<sup>a</sup> — Situación del Puerto en función del volumen anual de dragado.

Si dragando 1 000 000 de m.<sup>3</sup> al año hay 250 días de calado aceptable, habría que dragar, por ejemplo, 1 300 000 m.<sup>3</sup> para tener durante 260 días el mismo calado; la razón de ello, como se desprende de las explicaciones anteriores, es que la inmensa mayoría de los 300 000 m.<sup>3</sup> dragados en exceso (que costarán quizá 6 000 000 de pesetas), lo habrán sido en pura pérdida: unos, por dragarse en momento inoportuno, ya que no se puede saber cuándo va a haber temporal o riada, y otros, porque se habrán reducido a hacer hueco para recibir más sedimentos. Claramente se ve que eso no es conveniente para los intereses nacionales, aun en el caso de que se dispusiera de dinero; el coste que durante esos diez días representan los falsos fletes, formación de depósitos de regulación, diversión de tráfico, empleo de barcos de menor calado, etc., no es de ningún modo una cantidad comparable a la indicada.

fijarlo aproximadamente, de modo intuitivo, en vista de la experiencia de varios años; probablemente, y como se deduce de las cifras citadas y de la curva dibujada, el punto económico está ya alcanzado e incluso en algunos casos rebasado (1).

En este mismo orden de ideas, y particularizando, se presenta la cuestión de la necesidad o conveniencia de dragados totales de la Dársena, de la que actualmente sólo es utilizable la mitad contigua a los muelles.

(1) Claro está que es de fundamental importancia realizar los trabajos de dragado en los momentos y forma convenientes, intensificarlos en los períodos en que la intensificación sea precisa y rentable; fijar las épocas de reparación de las dragas en el tiempo oportuno, etc., etc., con objeto de obtener el máximo rendimiento del material, personal y dinero, ya que, por ejemplo, el puerto estará en mejores condiciones dragando al año 700 000 m.<sup>3</sup> bien distribuidos, que dragando 900 000 m.<sup>3</sup> en momentos y forma inoportunos.



lles, y eso a costa de dragar 200 000 m.<sup>3</sup> anuales para mantener difícilmente un calado de 6 m. en B.M.V.E. El resto de la Dársena está ocupada por el bajo llamado "El Llain", que descubre a media marea.

Parece que este asunto del dragado de la Dársena debe enfocarse con el criterio económico indicado anteriormente; si se llega a dragar toda la Dársena a 6 m. en B.M.V.E., los aterramientos serían mucho mayores que actualmente, al aumentar la superficie y la profundidad; es casi seguro que para mantener esa situación los volúmenes a dragar aumentarían en 100 000 a 150 000 m.<sup>3</sup> al año. Es muy dudoso que el coste de dragar estos metros cúbicos más fuera compensado por una mejor explotación de la Dársena; nunca por ese motivo ha habido inconvenientes graves en la maniobra de los barcos, dándose el caso de que bastantes meses en que la Dársena estaba mal de calado, se ha embarcado más carbón que en otros en que la situación era mucho mejor.

Los productos de dragado se suelen verter al Nordeste de la desembocadura, enfrente de la punta del Pozaco o algo más lejos. Como es natural, parte de los productos vertidos vuelven a la Barra, pero ello parece que no tiene mucha importancia, con tal de que el vertido se haga más allá de la línea de alimentación del temporal NO.; fuera de esta línea, los fondos no han subido apreciablemente desde hace mucho tiempo, ya que, como dijimos, la acción del mar esparce por toda la plataforma costera los materiales vertidos. Aunque se vertiera más lejos, las olas llevarían hacia la desembocadura prácticamente la misma cantidad de arena, ya que ello depende del equilibrio general de olas, fondos, pendientes y arrastres; el pequeño volumen que puede volver de los sitios de vertido es insignificante comparado con los millones de metros cúbicos que arrastra el Nalón hacia la desembocadura. La pequeñísima ventaja que aun así pudiera haber en verter más lejos, no quedaría compensada por la disminución de rendimiento de dragado, ya que habría que alejarse muchas millas para evitar en absoluto la vuelta de los productos vertidos. Lo importante, repetimos, es no vaciar dentro de la línea de alimentación del temporal NO., ya que en esa zona todos los acarrees volverían a la Barra.

El ampliar la zona de dragado más allá de la desembocadura, sería trabajo perdido, ya que entraría más arena de fuera sin ninguna ventaja apreciable.

## **12. Conveniencia del Contradique y de la Desviación, desde el punto de vista económico.**

No es fácil reflejar en cifras los diferentes factores económicos que intervienen en la cuestión, ya que su natural complejidad está agravada por diversas circunstancias. No puede saberse exactamente el

coste de los dragados por no llevar el Estado una verdadera contabilidad de costos y no tenerse en cuenta las partidas de interés, amortización, etc. Es muy difícil de fijar, ni aun aproximadamente, el coste que para la economía nacional representan los falsos fletes, formación de depósitos, posible diversión de tráfico y demás inconvenientes originados por la escasez de calados. Por otra parte, tanto el coste de las obras como los demás factores, varían de un momento a otro a causa de la inestabilidad de los precios.

A pesar de ello, y sólo como orientación, indicaremos algunos números.

El coste total del Contradique y de la Desviación, incluido el probable recrecimiento del Contradique, quizá sea del orden de 180 millones de pesetas. El coste anual de los dragados, incluidas las partidas que no suelen tenerse en cuenta en la contabilidad estatal, puede ser del orden de 20 millones, aun considerando que por el volumen a dragar, la constancia de los trabajos y la distancia no grande de vertido, el precio del metro cúbico debe ser menor que el corriente en otros sitios. Los inconvenientes derivados de la escasez de calados (falsos fletes, formación de depósitos, diversión de tráfico, etc.) y que no podrán evitarse por mucho que se drague, pueden computarse, aunque sin ninguna seguridad, en 5 millones al año.

Esas cifras dan idea de la gran conveniencia de ejecutar el Contradique y en su caso la Desviación, ya que, aunque no se resolviera completamente el problema y hubiera que seguir dragando algo, el balance sería favorable; además, la explotación del puerto mejoraría grandemente y podría pensarse con mayor seguridad en una ampliación del mismo si el aumento de tráfico lo aconsejase.

## **13. Conclusión.**

El problema de la escasez de calados en el puerto de San Esteban de Pravia existe desde hace siglos, y lo que pudiera llamarse su planteamiento oficial, data de hace noventa años. Hasta la fecha, y a pesar de los intentos realizados, no se ha podido solucionar debidamente.

En los últimos años, gracias a las teorías, ideas y consejos de D. Ramón Iribarren, y al celo y competencia del Ingeniero Director D. José M.<sup>a</sup> González del Valle, parece que se ha logrado enfocar la cuestión de modo que puede esperarse resolver, o por lo menos mejorar mucho, este problema de los aterramientos. En primer lugar, el de los marítimos por medio del Contradique, cuyas obras ya han sido adjudicadas, y después, cuando la Superioridad lo considere oportuno, los fluviales, por medio de la Desviación del río Nalón, cuyas características principales han sido ya debidamente estudiadas.