

Puertos chilenos

(Continuación)

CONSTITUCION

Este Puerto, mucho menos importante que los anteriores desde el punto de vista de su movimiento comercial, es sin embargo uno de los más interesantes de Chile, considerado desde el punto de vista técnico, pues aparte de los problemas que presenta, como todos los demás, en lo relativo a la construcción misma de sus obras, hace necesario tomar en cuenta la cantidad de arena que se mueve a lo largo de la costa, mal determinada no sólo en cuanto a su cantidad sino que también en lo que se refiere a las causas que producen su movimiento y a la manera cómo esas causas combinan sus efectos respectivos.

La ciudad de Constitución se encuentra ubicada (figura 37), en la ribera izquierda del Maule, a unos 2 kilómetros de su desembocadura; al Sur de ésta se encuentra una caleta arenosa, limitada por grandes rocas, que constituye el balneario; entre esta caleta y el pueblo hay un cerro de unos 90 metros de altura, el Mutrún, y un portezuelo a través del cual pasa en corte un camino plano al balneario. Hace cerca de un siglo el Puerto de Constitución alcanzó a tener cierta importancia, que conservó hasta cerca del año 1900, pues las cosechas de las provincias de Talca y Maule se embar-

caban en el puerto fluvial de Perales, a unos cuarenta kilómetros de Constitución, bajaban el río a la vela o a remo, según las condiciones del viento, y se guardaban en bodegas, ya fuera en el pueblo o en la isla; algunos buques de vela y vapores hacían viajes constantes, atravesando la barra que se forma a la desembocadura del río, y fondeaban en éste, ya fuera en un sitio profundo llamado la Poza, que se encuentra al pie del cerro Mutrún, o ya al costado de un muelle situado en la Isla, en el brazo grande del río. Una crecida extraordinaria del río, en 1877, destruyó el muelle de la Isla y desde entonces no se ha utilizado sino el fondeadero de La Poza.

Por otra parte la navegación del río Maule ha presentado siempre serias dificultades, a causa de los numerosos bajos y fuertes correntadas que hay en su curso, dificultades particularmente serias para la navegación de subida. Si a esto se añade el hecho de que con la época de transporte de las cosechas coincide el principio de la disminución del caudal del río, será fácil explicarse por qué, desde que el ferrocarril central se prolongó hacia el Sur de Talca, se inició la decadencia del puerto de Constitución, la que se acentuó más aún con la terminación del ramal del ferrocarril a Talca, que permitió hacer hacia esta ciudad el

acarreo de los productos del valle po-
niente del Maule.

Sin embargo el desarrollo de la agri-
cultura en la zona inmediata a Constitu-
ción y el transporte del carbón destinado
a la segunda Sección de los Ferrocarriles
del Estado habrían permitido movili-
zar por este puerto hasta unas 250.000
toneladas anuales, cantidad que justifi-
caría la construcción de obras modestas.

del verano era de 6', es decir, 1.83 m.,
y llegaba a 28', o sean, 8.60 m. en el
invierno; las observaciones de mareas y
corrientes del río que hizo, lo condujeron
a estimar que estas últimas, que no se
invierten por la propagación de la marea,
alcanzaban a velocidades de 4 a 7 nu-
dos, y que llegaban a 9 nudos durante
las grandes crecidas (4.60 m. por segun-
do). Creía este Ingeniero que antes de

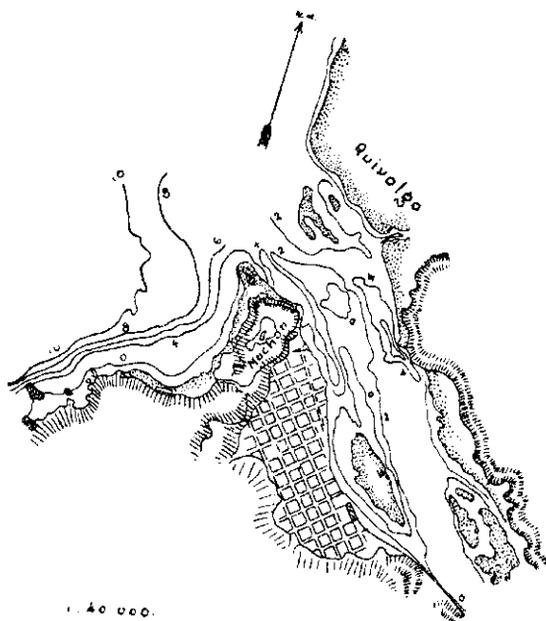


Fig. 37

En 1854 el Gobierno contrató con el
Ingeniero norteamericano señor H. Bliss
el estudio de las obras de mejoramiento
del río Maule entre Perales y Constitu-
ción y de la desembocadura del río. En
lo que se refiere a la última parte, la
única que nos interesa por ahora, este
Ingeniero principió por estudiar las ca-
racterísticas principales del río y de la
costa en sus alrededores; los sondajes
que hizo le permitieron establecer que la
profundidad del canal de salida **en fin**

1840 el río salía al mar por una ancha
boca y depositaba grandes cantidades
de cascajo, que, junto con la arena que
el mar traía del Sur, formaba bancos que
dejaban un canal movedizo mucho más
peligroso que el que existía cuando él
hacía sus estudios. A su juicio era neces-
ario mantener fijo el canal que se forma
al lado de la piedra de las Ventanas,
construyendo un dique corto entre esa
piedra y la de Los Lobos y otro sensi-
blemente paralelo a él, que partiría del

bajo que se forma en el medio del río; consideraba necesario concentrar las aguas de estiaje en ese canal, uniendo este último bajo con la orilla de Quivolgo. Los diques proyectados por el señor Bliss eran en parte limitados al nivel de media marea, a fin de facilitar el paso de las crecidas del río; completaba la fijación del canal Sur por medio de espigones sensiblemente normales al dique Norte de ese canal. Es lástima que no se haya conservado ningún plano del proyecto de este Ingeniero, pues habría sido interesante compararlo con los que se han elaborado posteriormente con el mismo objeto.

En la época del auge de Constitución el Gobierno comisionó al Ingeniero francés M. Lévèque para que hiciera un proyecto de obras de mejoramiento del río Maule en su desembocadura. Este ingeniero estudió las características de ella, cuyos inconvenientes eran tales que los vapores que entonces frecuentaban el puerto tenían que esperar a veces dos y tres semanas para que una marea favorable los permitiera cruzar la barra, y llegó a la conclusión de que la potencia natural del río permitiría obtener una profundidad no superior a 3.60 metros en marea media, es decir unos 2.60 metros en baja marea, y que para aumentarla sería necesario recurrir al auxilio de dragados,

En cuanto al mejoramiento de la desembocadura, el señor Levèque propuso la construcción de dos diques (fig. 38: uno que uniera la piedra de Las Ventanas con la de Los Lobos, prolongando la ribera izquierda del río, y el otro, que sería discontinuo, que partía de un punto firme de la ribera derecha y terminaba paralelamente al anterior; entre ambos diques quedaba un cauce de unos 250 metros de ancho, en el cual se habrían concentrado las aguas del río en estiaje,

manteniendo las profundidades arriba indicadas. Respecto al dique de la derecha, el señor Lévèque indicaba la conveniencia de que no fuera continuo, de manera que en las grandes crecidas el río tuviera su desembocadura más libre. Más adelante analizaré este proyecto, junto con los otros análogos elaborados posteriormente.



Proyecto Livèque.

Fig. 38

En 1891 y 92 el Ingeniero francés señor Cordemoi hizo estudios bastante detenidos del Maule y su desembocadura, y tuvo ocasión de ver formarse la barra, lo que ha sido muy interesante para todos los que posteriormente se han ocupado de este asunto. En la figura 39, puede verse la manera cómo se modificaron las profundidades en la boca del río a partir del mes de Octubre de 1891 hasta Marzo de 1892.

En I, Octubre, después de una crecida grande del río, puede verse que la curva de 6 metros de hondura pasa muy cerca de la piedra de Los Lobos, habiendo profundidades mayores que esa en el canal que naturalmente se forma al lado de la ribera izquierda del río; en II, Enero de 1892, se ve que las curvas de nivel de 6 metros se han cerrado en el río y en el mar, y que la curva 4 forma una punta que trata de obstruir la desembocadura; en III, un mes más tarde,

el avance de la curva 4 es muy marcado y su extremo se encuentra cerca de la curva 4 de la orilla derecha, que prácticamente no se ha movido; en IV, Marzo de 1892, las curvas de 4 metros se han cerrado en el mar y en el río y la barra comprendida entre ellas tiene ya menos de 4 metros de hondura; la curva 4 en la parte no afectada por la barra y la curva 3 prácticamente no han su-

arena traída por el mar intervenía en la formación de la barra y de esa puntilla; la arena arrastrada por el río es muy fina y pasa directamente al mar, siendo transportada muy lejos para ir a formar los fangos del fondo del océano.

En cuanto al origen de la arena que viene del Sur, el señor Cordemol no pudo establecerlo claramente; no vió otro río al cual poder achacar esa arena

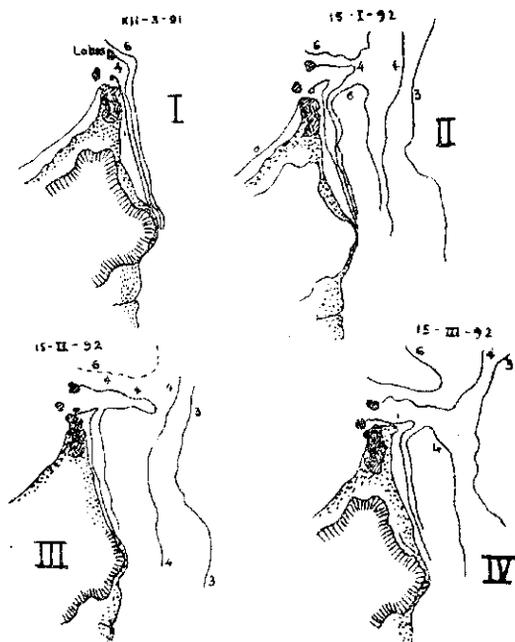


Fig. 39

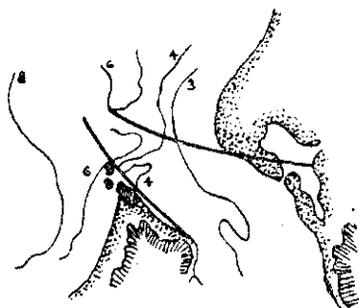
frido modificación. La observación de estas figuras indica claramente que una cantidad considerable de arena ha venido del poniente, moviéndose a lo largo de la costa desde el Sur.

El señor Cordemol tomó muestras de arena de la barra, de las playas al Sur y al Norte de la desembocadura y del río Maule antes de ella y estableció que la arena del río era muy distinta de la que forma las playas, la barra y la puntilla de Qivolgo, de modo que sólo la

que el Bio-Bío; pero en la desembocadura de este río la arena, muy parecida por lo demás a la de las playas de Constitución, es más fina que esta última, de manera que no puede haberla originado. Después de varias consideraciones a este respecto, concluye por atribuir el origen de la arena que nos ocupa al desgaste de la costa al Sur del Maule; pero llama la atención hacia el hecho de que, si este fuera su origen, la cantidad producida anualmente sería forzosamente pequeña,

lo que no parece estar de acuerdo con la rapidez con que se forma la barra.

Para el mejoramiento de la desembocadura, el señor Cordemoy propuso la construcción de dos diques convergentes (figura 40), que dejaran entre sí una



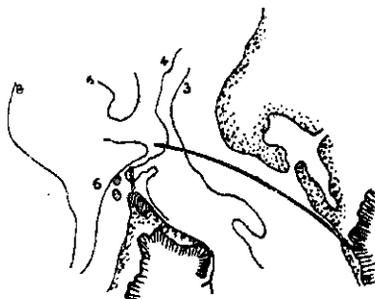
Proyecto Cordemoy

Fig. 40

boca de 170 metros de ancho, calculada de manera que el gasto del río en estiaje fuera suficiente para impedir el depósito de arena, debiéndose colocar el angostamiento cerca de la curva en que naturalmente haya la profundidad que se desee mantener. Para no oponer dificultades a la salida de las crecidas del río, el señor Cordemoy proponía que la altura de los diques llegara sólo hasta el nivel de alta marea, haciendo más altos los extremos solamente en una longitud de 50 metros.

El 1901, el Ingeniero holandés señor Kraus presentó al Gobierno un informe sobre el mejoramiento de la desembocadura del Maule, y al hacerlo consideró a éste como un río de los llamados *con marea*, al cual debía aplicarse el principio de ensanche gradual de la sección, construyendo diques *divergentes*, es decir, aplicando una idea opuesta a la de los autores considerados anteriormente. En cuanto al origen de la barra, el señor Kraus lo atribuye a la arena traída por el río.

En 1906, el Ingeniero don Gustavo Quezada estudió nuevamente este problema y elaboró un proyecto, cuyas líneas generales pueden verse en la figura 41. Comprende éste la construcción de dos diques divergentes, que dejan entre sus extremos exteriores una distancia de 150 metros, calculada con un criterio análogo al del señor Cordemoy; el del lado Norte sería sumergible con el objeto de dar pasada por encima de él a las grandes crecidas del Maule.



Proyecto Quezada

Fig. 41

En cuanto a la ubicación del extremo de los molos, el señor Quezada adopta la línea del señor Lévêque, frente a la piedra de Los Lobos.

Como se ve, los distintos ingenieros que han estudiado el problema del mejoramiento de la desembocadura del Maule, no se han encontrado en completo acuerdo en lo que se refiere al origen y formación de la barra, ni tampoco en la forma y la ubicación que debe darse a las obras que se construyan, hasta el punto de que, mientras el señor Kraus cree que los diques debían ser *divergentes* hacia el mar y dejar en su extremo una boca, que él no fijó, pero que sería de un ancho superior a 450 metros, los otros tres ingenieros consultan diques convergentes entre cuyos extremos el

ancho no pasa de 170 metros. Estudiemos brevemente esos proyectos, considerando primero estos últimos y debiendo llamar la atención hacia el hecho que en las figuras correspondientes las obras de los proyectos han sido dibujadas sobre un mismo plano de curvas de nivel a fin de comparar mejor sus disposiciones generales,

Estos tres proyectos obedecen a la misma idea fundamental de construir dos diques, que reemplacen las riberas naturales del río y que, acercándose a medida que se prolongue hacia el mar, formen un estrechamiento entre sus extremos, determinado de manera que el gasto del río en estiaje pueda mantener ahí una corriente capaz de arrastrar la arena: las diferencias de los anchos adoptados en ese punto obedecen a las diferencias de criterio con que ha sido estimado el caudal del río y la velocidad necesaria para producir el arrastre de la arena. Para estudiar estos proyectos hay que considerarlos en tres situaciones distintas, que corresponden a tres estados generales del río: el estiaje, las crecidas sordinarias y las grandes crecidas.

Considerando el estiaje y admitiendo que a la terminación de las obras la forma de las curvas de nivel fuera la que se indica en las figuras, en el extremo de los diques se obtendría la profundidad que corresponde a la situación del angostamiento, es decir, unos 6 metros en los proyectos Levêque y Quezada y un poco más en el de Cordemoi; el efecto de la corriente del angostamiento se haría sentir hasta a una pequeña distancia de él, produciéndose un arrastre de la arena, que sería depositada un poco más lejos, disminuyendo las profundidades frente a la boca. Este hecho, observado en casos análogos, sería una consecuencia natural de la disminución de la velocidad del agua al encontrarse con el

mar, y es a causa de él que, cuando se trata de obtener una profundidad determinada, se prolongan los diques hasta más allá de la región en que naturalmente se encuentra esa profundidad, recomendación que por lo demás hace el señor Cordemoi en su memoria.

Si ahora tomamos en consideración la arena que se mueve a lo largo de la costa de Sur a Norte y que forma la barra actual, es fácil ver que esa arena tenderá a obstruir la desembocadura durante el estiaje y que aportará materiales que contribuirán a exagerar el efecto apuntado. En este sentido el proyecto de Cordemoi presenta una superioridad indiscutible sobre los otros, pues prolongando los diques hasta profundidades bastante mayores, retarda y disminuye los efectos perjudiciales de la arena a que me refiero, sin que por eso pueda llegar a anularlos.

Si examinamos el efecto de una crecida ordinaria, durante la cual el gasto del río sea unas cuantas veces superior al anteriormente considerado, la velocidad del agua en el fondo alcanzaría valores considerables que serían capaces de provocar socavaciones de mucha importancia, tanto en el angostamiento formado por los extremos de los molos como a lo largo de los molos mismos. Estas socavaciones tendrían que ser considerables, pues el área disponible para el paso del agua tendría que ser forzosamente mucho mayor que la que había en estiaje, porque casi todo el caudal de la crecida tendría que pasar entre los diques, siendo muy poca relativamente la cantidad de agua que pasaría por encima del molo Norte, que funcionaría como vertedero. Todos los materiales provenientes de esas socavaciones serían arrastrados por el agua y depositados a cierta distancia de la entrada del puerto en la zona en que la disminución de la velocidad fuera

bien sensible. El bajo cuya formación se ha previsto en estiaje se reproduciría ahora un poco más lejos y mucho más grande.

Finalmente consideraremos cuál sería el efecto producido por las grandes avenidas, durante las cuales el caudal del río puede estimarse en unos 20,000 metros cúbicos por segundo, cifra que casi seguramente es sobrepasada; la velocidad media del río varía entonces entre 3.75 y 4.80 metros por segundo, según sea la sección que se considere, la velocidad máxima es de 6.30 metros por segundo y la mínima en el fondo, de 1.60 metros en el mismo tiempo.

Durante el período de crecimiento de la avenida el nivel agua apenas superaría al del molo Norte, dando salida por el vertedero a muy poca agua, y casi todo el gasto se concentraría entre los molos y pasaría por el angostamiento con una velocidad extraordinaria, produciendo socavaciones considerables; estas velocidades irían aumentando hasta que el nivel del agua sobre el molo Norte alcanzara a ser tal que funcionando como un vertedero fuera capaz de dar salida al agua que no pasara por el estrechamiento de los molos. Para formarnos idea numérica del peralte que debería alcanzar el nivel del río encima de la alta marea, cota del vertedero, supongamos que el ancho en el angostamiento fuera de 150 metros y que por efecto de la socavación producida la hondura fuera ahí de 12 metros, a la cual con un ancho de 150 metros, correspondería una sección de 1800 metros cuadrados y, con una velocidad media de 5 metros por segundo, un gasto de 9.000 metros cúbicos; quedarían, por consiguiente, 11.000 metros cúbicos para el vertedero; si éste, que tendría aproximadamente 1000 metros de largo, funcionara con altura uniforme, cosa que no puede suceder en la

práctica por su carácter mismo, el peralte del agua del río encima de la cresta del vertedero sería de 3.50 metros, cifra a la cual correspondería en el muelle una elevación de $3.50 + 2.30 = 5.80$ metros (2.30 metros es la diferencia entre el nivel del río en las avenidas frente al muelle y al llegar a la desembocadura). El agua del río se ha elevado 4.00, en el muelle y ya ha habido grandes inundaciones en la parte baja del pueblo; una elevación de cerca de dos metros más inundaría una parte importante del pueblo, comprendiendo varios de los edificios de mayor valor. Indudablemente, a mi juicio, al pensar que era posible un angostamiento exagerado de la boca del río, contando con que el dique Norte fuera sumergible y funcionara como un vertedero, los autores de los proyectos que he analizado no trataron de formarse idea numérica de la importancia de las crecidas, porque al haberlo hecho habrían abandonado la idea.

Aparte de estas consideraciones hay otras de carácter constructivo que aconsejarían no pensar en un dique sumergible, construido en gran parte en pleno mar, como sería el caso. En efecto ¿cómo se construiría ese dique? Como la plataforma superior debe quedar limitada al nivel de alta marea o marea media, no se puede circular por encima de ella; en la primera parte podría hacerse la construcción por medio de andamios, sobre los cuales circularía una grúa y los trenes con enrocados, andamios que se desarmarían al fin, pero cuando se llegara a la zona de rompientes eso no sería posible; por otra parte tampoco sería posible construir por faena marítima la parte de la obra en que la plataforma superior quedara a menos de 4 a 5 m. de hondura, de modo que el dique Norte no podría sobrepasar de ese nivel, con lo cual su eficacia en la época de aguas

bajas del río se reduciría mucho, corriendo el riesgo de que no se obtuviera el resultado perseguido al construirlo. Indudablemente, si no se reparara en gastos, habría modos de llevar a cabo la construcción, siendo uno de ellos la formación de un prisma de enrocados, limitado al nivel de alta marea y la colocación encima de él de una superestructura que sirviera para la circulación de la grúa y trenes de enrocados, que se quitaría después de terminada la obra, pero esto sería económicamente inaceptable.

Admitamos sin embargo que el dique Norte sumergible fuera construído, aunque su precio resultara muy elevado. ¿Qué sucedería, cuando sobreviniera una crecida grande y funcionara como vertedero, pasando por encima de él una lámina de agua de 3.50 metros de espesor, animada de una velocidad de más de 3 metros por segundo? Sin duda la arena que constituye el lecho del río se socavaría y el dique desaparecería en gran parte, haciéndose necesario reconstruirlo hasta que se obtuviera su perfil primitivo; y esta operación se repetiría sin duda varias veces, mientras se produjera la misma socavación

Se ve, pues, que la idea de mejorar el Maule construyendo dos diques convergentes, como los que hemos visto en los proyectos analizados, no es recomendable, aun cuando se encuentra abonada por los nombres de Ingenieros de competencia indiscutible, como Cordemoy y Quezada. Si se quisiera mejorar el río, habría que ir a dos diques insubmersibles casi paralelos, que se prolongaran hasta la hondura natural de 8 metros (fig. 42) por lo menos el del lado Sur, y que dejaran entre sí una abertura no inferior a 450 metros, que es el ancho que necesita el río para dar salida natural a las crecidas. Con ese ancho la velocidad en el fondo sería todavía suficiente para pro-

fundizar más allá de los 8 y probablemente de los 10 metros y los materiales arrancados del fondo, junto con los que arrastrara el río desde más arriba irían a depositarse frente a la boca, como hemos indicado antes, pero es posible que lo hicieran en profundidades suficientes para no llegar a constituir un estorbo. En caso que el bajo así formado se elevara más de lo aceptable por la navegación, se podría utilizar la pasada que quedara al Sur de él, como se ha hecho en casos análogos, o dragar lo que fuera necesario.



Fig. 42

Soluciones como ésta se han adoptado en ocasiones semejantes, como en la desembocadura del Panuco, en México, y los resultados han sido satisfactorios. Es cierto que en el caso de Constitución el problema se complica por la gran cantidad de arena que viene del Sur y que será necesario tomar en cuenta para defenderse de ella de una manera análoga a lo que veremos más adelante respecto a la construcción de obras salientes en las playas de arena.

La desembocadura de un río en esta clase de playa se encuentra, en efecto, siempre en condiciones de equilibrio eminentemente variables y que dependen del gasto del río, y del estado del mar.

Cuando el mar está en relativa calma, las olas remueven la arena hasta profundidades reducidas y la hacen avanzar a lo largo de la costa, tratando de cerrar el paso del río; cuando el mar se agita este transporte de arena se acentúa. Si el río trae un caudal reducido, sus aguas se abren difícilmente paso a través de la arena acumulada por el mar en su desembocadura; si el caudal del río crece y llega a hacerse considerable, su potencia aumenta y arrastra los materiales acumulados hasta llevarlos a una distancia, que dependerá del peso de esos materiales y de la velocidad de la corriente,

Cuando se plantea el problema del mejoramiento de la desembocadura de un río en una playa de arena, es necesario considerar a un mismo tiempo la acción de los materiales movidos por el mar y la que ejercen sobre ellos las corrientes variables del río, así como las complicaciones que pueden resultar del aporte de materiales por el río mismo.

Según hemos visto anteriormente, hay en la playa de Constitución un transporte de arena de Sur a Norte, cuya importancia no se conocía, pero que ha resultado considerable, y esto me obligará a hacer una digresión, que forzosamente tendrá que ser larga, antes de entrar a estudiar en detalle lo relativo a las obras construídas en La Caleta; esta digresión se referirá al examen de la manera cómo se verifica el transporte de la arena a lo largo de la costa, al efecto que la construcción de obras artificiales produce sobre ese transporte, y como consecuencia, a las disposiciones generales que deben tener estas obras, según las conclusiones que aparezcan sancionadas por la experiencia.

El problema de la construcción de puertos en las playas de arena ha debido preocupar a los Ingenieros desde que se principiaron a construir obras de puer-

tos; las dificultades inherentes a los trabajos en el mar se complicaban con la necesidad de adoptar disposiciones generales que impidieran la entrada de la arena al interior de los recintos abrigados o que facilitaran su evacuación, una vez que hubiera entrado. En numerosas ocasiones se observó que, después de ejecutadas las obras de abrigo de un puerto, era necesario prolongarlas, modificando a veces su dirección, y muchas veces fué preciso construir obras enteramente nuevas, concebidas dentro de un criterio mucho más amplio que las primeras. Desde las primeras aplicaciones se reconoció que las cantidades de arena que se mueven son a veces enormes y se vió que los Ingenieros no disponen nunca de datos suficientes para poder avaluar, siquiera sea aproximadamente, la cantidad de arena con que van a tener que batallar. Conocido es el caso del puerto de Howth, al norte del golfo de Dublín, que a causa de la gran cantidad de arena que se mueve en la playa, de la poca profundidad en que fué construído y de la orientación desfavorable que, por consideraciones puramente náuticas, se dió a su entrada, se embancó hasta el punto de no poder ser habilitado en la forma prevista. Igualmente conocido es el caso del puerto de Ceara, construído en el Brasil por uno de los más reputados ingenieros ingleses, el señor Hawkslaw, que, por haber sido construído también en una zona de profundidades reducidas, se embancó enteramente durante su construcción. También se podría citar el caso del puerto de Imuyden, en que la cantidad de arena que entra y no sale, por efecto de la diferencia entre las corrientes de flujo y reflujó, más larga y menos fuerte la segunda, es considerable y ha traído como consecuencia el embancamiento del antepuerto; la profundidad se mantiene en

el canal de navegación por medio de dragados de mucha importancia.

El problema que nos ocupa presenta, pues, tales dificultades que se hacía necesario establecer los principios que deben regir su construcción. A este efecto, el Congreso Internacional de Navegación que se celebró en San Petersburgo en 1908, comprendió la construcción de estos puertos entre los temas que se sometieron a su consideración, y es particularmente interesante recordar algunas de las observaciones contenidas en los informes que a ese Congreso se presentaron. El más interesante de estos informes es el del señor Lo Gatto, ingeniero Jefe italiano. Este autor recordó desde luego que el transporte de la arena se debe a las olas, que remueven los materiales y los ponen en suspensión, al movimiento de translación que provocan las mismas olas al correr sobre la playa y a las corrientes costaneras, sobre todo si son de cierta importancia.

El efecto de las olas se deja sentir particularmente en la zona comprendida entre el punto en que revientan y el punto en que el agua vuelve atrás, después de haber corrido por la playa; esta zona llegará por consiguiente hasta una hondura poco superior a la altura de las olas; en tiempo ordinario esa hondura será de unos 3 metros y con las tempestades alcanzará a los 8 metros y aún más. Los materiales removidos por las olas son empujados hacia tierra, pero por efecto de su peso, tienden a bajar, pues una componente de éste, paralela al fondo, los atrae mar adentro.

Los Ingenieros italianos, en el estudio de los problemas de esta naturaleza, aplican constantemente la teoría desarrollada por Cornaglia, cuyas conclusiones generales parecen resultar confirmadas por la experiencia. Según esta teoría, los materiales del fondo se en-

cuentran constantemente sometidos al efecto de corrientes alternativas debidas a la propagación del movimiento ondulatorio, corrientes que él llamó *de fondo* y que son más fuertes en el sentido de propagación de la onda que en el contrario; cuando estas corrientes son capaces de mover los materiales que constituyen el fondo, venciendo el frotamiento, si la acción de la corriente hacia tierra es mayor que la de la corriente dirigida hacia adentro más la componente trancencial del peso de los materiales, éstos serán arrastrados hacia tierra; si la primera acción es menor que la segunda, los materiales removidos por el mar son arrastrados hacia adentro; en las partes en que domine la acción de la primera, la playa se irá embancando; en las partes en que domine la segunda, se irá empobreciendo. Por la manera como se efectúa el transporte en un sentido o en otro, se comprende fácilmente que en una costa determinada, para cierta violencia de las olas habrá una línea de profundidad en que se establecerá el equilibrio entre ambas acciones y en que los materiales no tienden a trasladarse hacia tierra ni hacia el mar; esa línea fué llamada *neutra* por Cornaglia. La posición, o mejor dicho la profundidad de la *línea neutra*, varía de un lugar a otro, según sean la pendiente del fondo submarino, el peso específico de los materiales que lo constituyen y las características de las olas que se consideren.

De estas consideraciones resultará que, si se construye una obra saliente en la costa, como un molo de abrigo o un espigón, mientras su extremo no llega a la línea neutra, se irá acumulando la arena a uno y otro lado de ella, tomando la forma que se indica en las figuras 43 y 44, según sea su longitud, y que cuando ese extremo sobrepase suficientemente la

línea neutra, el embarque se detendrá en cierto punto y no dará la vuelta por su extremo hacia el otro lado.

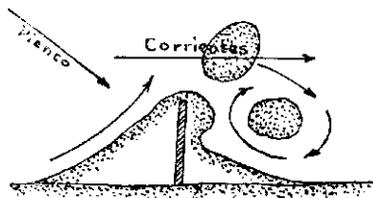


Fig. 43

En Italia hay numerosos puertos construidos en playas de arena, y la observación ha demostrado que la línea neutra más baja se encuentra en ellos en los alrededores de los 10 metros, de manera que conviene que el extremo de las obras de abrigo se encuentre en profundidades mayores que esa. En algunos de esos puertos se hicieron obras de abrigo que no pasaban de los 5, 6 o 7 metros; pues bien, en todos ellos se observó que la arena las sobrepasaba e invadía el recinto abrigado. Esta situa-

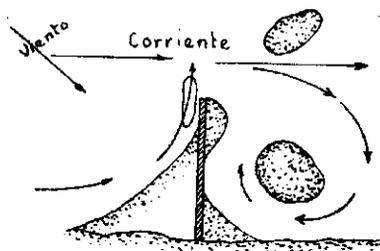
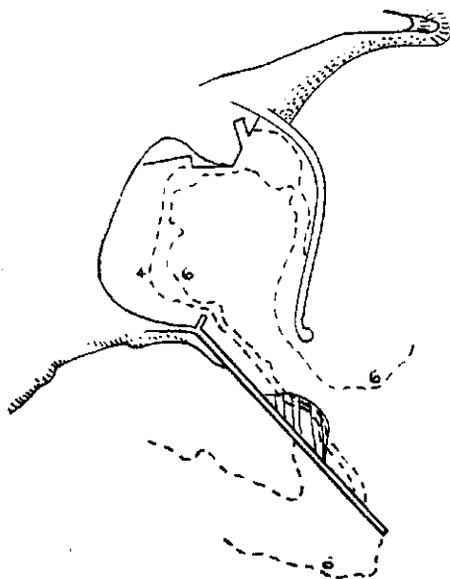


Fig. 44

ción desfavorable se ha remediado prolongando los rompeolas hasta alcanzar profundidades suficientes.

Merece recordarse a este respecto el caso de Porto Maurizio (fig. 45). En este puerto los materiales vienen del poniente, siendo del SO. los vientos dominantes; el extremo del molo poniente se

fundó en la curva de nivel de 6 metros y luego se observó en el interior del puerto la formación del banco hachurado cerca del extremo del molo, banco que volvía a formarse, si se le dragaba. Se prolongó el molo hasta llegar a la hondura de 7,25 metros y se detuvo la formación del banco, pero sólo por algún tiempo; se prolongó después hasta los 8 metros sin que la formación del banco haya cesado por completo; se espera te-



Porto Maurizio

Fig. 45

ner buen resultado, llegando a la profundidad de 10 u 11 metros.

En el puerto de San Remo, que se encuentra a 30 km. al oeste de Porto Maurizio, el extremo del molo de abrigo se ha fundado en 11 metros de profundidad y eso ha bastado para proteger el interior contra la arena.

La observación de lo que ha sucedido en estos dos puertos, situados en las mismas condiciones, demuestra que la línea neutra se encuentra más abajo de los 8

metros y más arriba de los 11 metros. Estas observaciones y muchas otras análogas han hecho pensar que en Italia, en la costa del Mediterráneo, la línea neutra más honda se encuentra en los alrededores de los 10 metros.

En su informe citado del señor Lo Gatto observa que «A causa de la incertidumbre que hay para determinar, aunque sea aproximadamente, la situación de la línea neutra en el paraje de que se trate, el proyecto de un puerto que debe construirse en playa de arena no da siempre resultados completos. En otros términos, si se fija previamente la posición de los extremos de las obras exteriores, puede suceder muy bien que no se impidan los embancaamientos, si la línea neutra ha quedado en profundidades mayores que esos extremos.

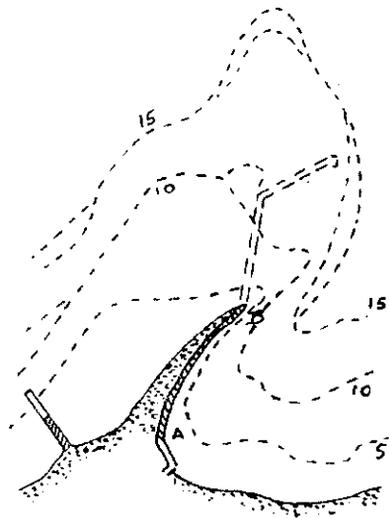
«Por otra parte, durante la construcción de las obras ellas mismas provocan la acumulación de la arena a ambos lados de ellas, lo que tiene como consecuencia el alejamiento de la línea neutra, y que el proyecto, elaborado sobre la base del estado primitivo de la costa, ya no es satisfactorio.

«La experiencia demuestra que el avance de un molo de abrigo provoca un avance de la playa. Cuando el avance del molo se detiene, el de la playa continúa, pero más lentamente, hasta que se llega a un estado de equilibrio. Si se prosigue la construcción, vuelve a romperse el equilibrio y a modificarse la forma de la playa, llegándose al equilibrio definitivo cuando se pasa la línea neutra.

«Hay todavía casos en que, a causa de la cantidad extraordinaria de los materiales acarreados por el mar, el avance de la playa, durante la construcción, es tan rápido que alcanza al extremo del rompeolas, aunque éste

«haya sido situado más adentro de la «línea neutra primitiva».

Un ejemplo notable de este último caso presenta el puerto Santa Venere, en Calabria (fig. 46), en el cual el extremo del molo de abrigo fué limitado en la curva de 11 metros, superior a la profundidad de la línea neutra, como hemos visto, y sin embargo la arena sobrepasó en gran abundancia el extremo y, después de dar la vuelta invadió el interior del puerto. En la actualidad se prolonga el molo hasta alcanzar la curva de 15 metros y mientras tanto se mantiene la profundidad por medio de dragados.

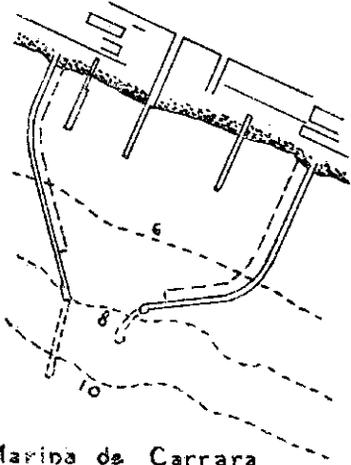


Santa Venere

Fig. 46

Como consecuencia de las observaciones anteriores se desprende la conveniencia de que, al elaborar el proyecto de un puerto de esta clase deban adoptarse disposiciones que permitan la prolongación de las obras exteriores, según lo indiquen las modificaciones experimentadas por la costa. El señor Lo Gatto ha observado que no siempre es posible hacer

esa prolongación, como sucede en el caso de dos molos convergentes, como los de Carrara (fig. 47), pues para prolongar-



Marina de Carrara

Fig. 47

los sería preciso formar una especie de canal, que a veces no sería conveniente desde el punto de vista náutico. En este caso será preferible prolongar un solo molo, eligiendo el del lado por donde el aporte de materiales sea mayor. El ejemplo ya citado de Porto Mauricio, en que se prolongará el molo del poniente hasta 10 u 11 metros, corresponde precisamente a este caso, y yo lo cito especialmente porque se le tuvo en vista al discutir el proyecto de Constitución.

Generalmente el movimiento de arenas viene de los dos lados del puerto, pero con mayor intensidad por uno de ellos; sin embargo sucede a veces, y es el caso de Constitución, que ese movimiento y el embanque consiguiente se producen por un solo lado, entonces durante la construcción de las obras, y mientras se establece un nuevo estado de equilibrio, la playa se empobrece por el otro lado y se produce una erosión, que es a veces considerable. Es fácil explicarse esto, porque la forma antigua de la playa provenía del equilibrio entre la corrosión

que tendía a producirse y el aporte de materiales que vienen por el otro lado; cuando se inicia la construcción de las obras se detienen esos materiales y quedan obrando solas las causas de la socavación, que producen el efecto anotado.

En el informe presentado al mismo Congreso Internacional de 1908, el ingeniero inglés señor Vernon-Harcourt cita a este respecto el caso del puerto de Madras, reproducido en la figura 48 y 49, en la cual se puede ver la modificación experimentada por la costa, embanque por el Sur, de donde vienen los aluviones, y empobrecimiento por el Norte. En este caso particular el aporte de arenas resultó muy superior a las previsiones, y a pesar de haber modificado la entrada del puerto, el mantenimiento de las profundidades exige un dragado anual de unos 350.000 metros cúbicos.

Durante la discusión a que dió lugar el tema de que me ocupó en el Congreso citado, el ingeniero alemán señor Gernelmann observó que, si bien era cierto que a fines del siglo XIX la solución del problema de la conservación de las profundidades en la entrada de los puertos construídos en playas de arena se buscaba sólo en la disposición de sus obras exteriores, ahora (en 1908) se daba una importancia preponderante a los dragados, que a su juicio, constituyen tal vez la mejor manera de obtener el resultado perseguido, y manifestó la conveniencia de que el Congreso dejara constancia de la importancia cada día mayor de los trabajos de dragado.

Las consideraciones que hemos desarrollado rigen igualmente para el caso de la desembocadura de un río; pero se comprende que el problema debe resultar generalmente más complicado en este último caso.

Si el río no trae aluviones, los materiales movidos por el mar tratarán de contornear el extremo del molo del lado por donde vienen y de formar una ver-

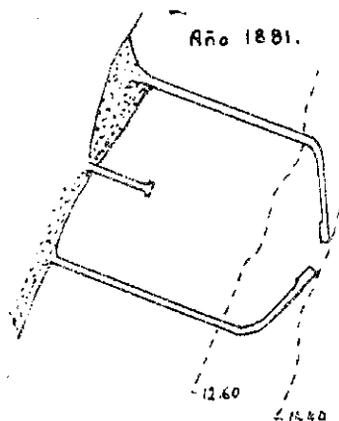


Fig. 48

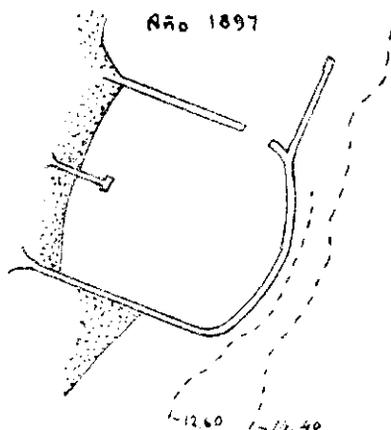


Fig. 49.

cladera barra frente a las obras que se construyan; para evitar que esto ocurra será necesario llevar el extremo de esas obras más allá de la línea neutra, como hemos indicado más atrás.

Si el río trae aluviones, será necesario hacer prácticamente la misma cosa, y me parece interesante copiar las conclusiones a que llega el ingeniero señor de Cordemoy en la página 480 del tomo I de su obra «Les Ports Moderns» (París, 1900).

«Como se ha visto, el procedimiento empleado para el mejoramiento de las barras producidas por los aportes fluviales en los mares de nivel invariable o de pequeña marea, ha consistido en la prolongación del lecho del río por dos diques que se avancen hasta lejos. No se ha podido obtener resultados favorables, sino llevando la desembocadura más allá de la barra. Importa igualmente que se pueda llegar así a las grandes profundidades. Un río, como el Volga, que desemboca en un mar sin profundidad, al cual lleva un volumen enorme de sedimentos, presenta inmensas dificultades para toda tentativa de esta naturaleza y no podrá tal vez, en el estado actual

de la ciencia ser mejorado sino por medio de dragados.

Por otra parte, hablando del mejoramiento de las barras, el ingeniero español señor Montenegro, en el informe que sobre el particular presentó al Congreso Internacional de Navegación de 1926, dice que «mediante la construcción de diques, al principio se obtienen resultados más o menos satisfactorios en el aumento de profundidad del canal entre los diques, los que se mejoran empleando dragados, si el fondo obtenido con los primeros no fuera suficiente; pero *tarde o temprano* y *cualquiera que sea el sistema de diques que se haya adoptado*, los aluviones invaden el canal o bien embancan su entrada, rellenando poco a poco al principio y más rápidamente después, las profundidades alcanzadas».

De estas consideraciones se desprende que, aunque se construyeran dos grandes diques, como los indicados más atrás, cuya longitud superaría los 3,200 metros y cuyo costo pasaría de \$ 80.000,000 de 6 d., no se podría tener seguridad ninguna de sus resultados y los dragados de conservación llegarían a ser inevitables tarde o temprano. Consideraciones de

esta índole fueron sin duda las que han ido postergando la construcción de obras de mejoramiento en el Maule y las que impulsaron al Congreso a disponer en la ley general de puertos de 1910 que se elaborara un proyecto de obras portuarias en La Caleta, al Sur de la desembocadura del río.

En cumplimiento de esa ley, la Comisión de Puertos contrató con el Ingeniero Don Alberto Lira la confección de los estudios de la playa, desde la desembocadura del río hacia el Sur, en toda la extensión que fuera necesaria, y la confección de un ante-proyecto de puerto en La Caleta, cuyas líneas generales pueden verse en la fig. 50.

ciones que se produjeran en el fondo submarino y los embancamientos detrás del molo Sur. En mi concepto, habiendo sido seguramente necesario prolongar por lo menos en 150 metros el primero y 160 metros el segundo, con lo cual habrían quedado con una longitud total 1,910 metros.

Si se compara esta longitud con la 3,200 metros, que es la que habría correspondido al caso de haber tratado de mejorar la desembocadura del río, es fácil darse cuenta de que la construcción del puerto en La Caleta constituye una solución mucho menos costosa, al mismo tiempo que ofrece mayores garantías porque envuelve menos incógnitas. S

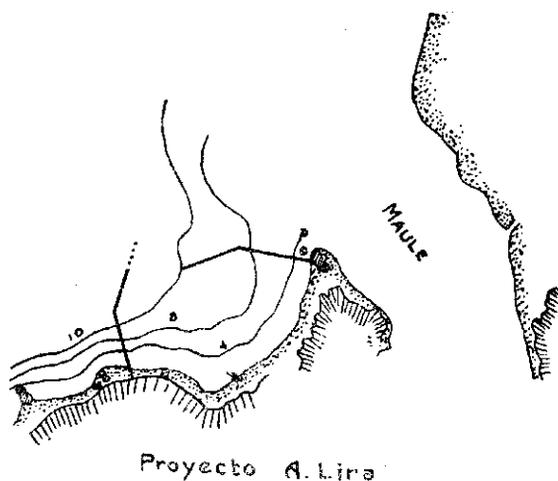


Fig. 50

En esa figura puede verse que el proyecto comprende la construcción de dos molos de abrigo y de los malecones necesarios para los servicios del puerto. El molo Sur habría tenido 730 metros de largo, y el molo Norte 870 metros; pero conviene desde luego observar que desde el primer momento se contempló la necesidad probable de alargar ambos molos, si lo hacían necesario las modifica-

embargo, como la ubicación de las obras de atraque en el río presenta la ventaja de que la tranquilidad de las aguas puede ser mucho mayor, porque esas obras quedarían lejos de la boca del puerto y es fácil evitar las rotaciones y las reflexiones de las olas, la Comisión de Puertos prefirió adoptar una solución mixta, que consiste en construir en La Caleta un antepuerto reducido, a fin.

que el costo de las obras de abrigo no resulte desproporcionado con la importancia del puerto, y en aislar por medio de un dique longitudinal una parte del río, que se comunicaría con el antepuerto por medio de un canal, en el cual se construirían las obras destinadas al atraque de las naves. Esta solución permitiría reducir a poco más de 1,200 metros la longitud de los molos de abrigo, que constituyen la parte más cara de un puerto, pues ya que se trataba solamente de un antepuerto, no era necesario que la tranquilidad de las aguas fuera tan grande como lo que exigen las obras destinadas al atraque.

Terminaremos aquí las consideraciones generales relativas a la construcción de los puertos en costas arenosas, y la ojeada sobre los diferentes proyectos presentados para el caso particular de Constitución, que nos permiten establecer que en este caso, en que el movimiento de arena es importante y su transporte se efectúa de Sur a Norte, deben tenerse presente las conclusiones siguientes:

a) El rompeolas que se construya al lado Sur, por donde viene la arena, debe terminar en profundidades superiores a la de la línea neutra más honda;

b) Durante la construcción de las obras el embanque de la playa se producirá por los dos lados de este molo, pasando la arena delante de él, y ese embanque no cesará mientras el extremo del molo no sobrepase dicha línea neutra;

c) Si el extremo del molo queda dentro de la línea neutra, ya sea por la modificación de las profundidades debida a la construcción, ya sea porque la línea neutra se encuentra a una hondura mayor que la prevista, se deberá prolongar ese molo hasta que se cumpla con la condición a);

d) Si es muy grande el aporte de arena, es casi seguro que habrá que re-

currir a los dragados para el mantenimiento de las profundidades, aunque el extremo del molo Sur sobrepase la curva de 10 metros.

Antes de estudiar en detalle las obras ejecutadas en Constitución, es necesario establecer las condiciones en que se efectúa el movimiento de la arena a lo largo de la costa.

Los estudios que se llevaron a cabo desde 1910 para adelante, manifestaron claramente algunos hechos relacionados con el régimen de la playa, varios de los cuales no hicieron sino corroborar las observaciones efectuadas anteriormente, que pueden resumirse como sigue, dividiendo la playa en tres partes, (fig. 51), la primera I. II desde la piedra de la Iglesia hasta el extremo Sur de La Caleta; la segunda II. III, desde este punto hasta la piedra de Las Ventanas, y la tercera desde ahí hacia el Norte.

En la primera parte se observa de una manera general el embanque de la playa en el verano y la socavación de las arenas en el invierno; y así en el verano se puede recorrer a pie toda la playa hasta la piedra de la Iglesia, pasando por entre las rocas llamadas Las Termópilas, y durante el invierno las olas llegan en varias partes hasta el pie mismo de los cerros y en baja marea se descubren hacinamientos de piedras, que estaban cubiertos por la arena en el verano. Estas variaciones sólo se manifiestan en la playa hasta pequeñas profundidades, pues los sondeos hechos a poca distancia de la orilla en las diferentes épocas del año no acusan variaciones sensibles.

En La Caleta se notan cambios de estados análogos, aunque menos marcados en la mitad cercana a la piedra de Las Ventanas; pero en esta parte las modificaciones se extienden al fondo submarino hasta bastante distancia. En

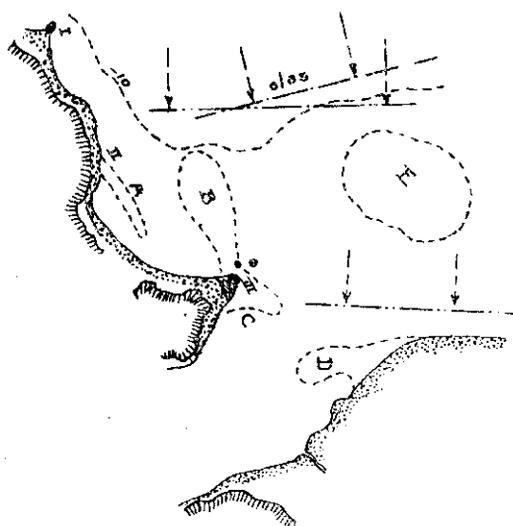


Fig. 51

el verano principia a formarse una puntilla o banco alargado A, que se dirige hacia el punto medio del arco de La Caleta; este banco permanece ordinariamente sumergido y se manifiesta sólo por las rompientes que ahí se forman; sin embargo, en las grandes mareas de otoño el banco queda a veces parcialmente en seco

Por otra parte, durante el invierno se forma otro cordón submarino, B en la fig. 51, que a veces se extiende hasta un kilómetro de longitud perpendicularmente a la costa y se ensancha hacia el Sur, cubriendo parcialmente la Caleta. La profundidad encima de este banco es de 5 metros y sólo se producen rompientes en él durante las grandes bravezas de mar.

En la tercera parte de la costa, es decir de Las Ventanas hacia el Norte, es donde el movimiento de arenas se manifiesta con mayor intensidad, dando lugar a la barra del Maule y a la formación de la puntilla de Quivolgo, de que

ya nos hemos ocupado, pero que conviene recordar en sus grandes líneas.

Los bancos de arena que forman la barra adquieren su mayor desarrollo durante el verano y principios de otoño, época en que las rompientes que ahí se forman por lo poca profundidad dejan libre solamente un canal, que aprovechan las embarcaciones para su entrada y salida. Este canal se encuentra generalmente cerca de la piedra de Las Ventanas a principios del verano y se va trasladando paulatinamente hacia el Norte, a medida que las curvas de nivel se mueven en ese sentido, según hemos visto en la figura 39. Este fenómeno no se realiza, sin embargo, todos los años, pues a veces el canal se mantiene cerca de la ribera Sur del río.

Durante el invierno el canal se profundiza y se acerca a la piedra de Las Ventanas. Cuando hay crecidas extraordinarias del río, la corriente arrastra los materiales que forman la barra y la puntilla de Quivolgo, como hemos visto an-

tes, llegando a formar una desembocadura de 700 metros de ancho; esos materiales se depositan algo más lejos, formando un banco de poca profundidad, en el cual se varó el vapor Chillán en 1906. En la primavera principia a formarse un islote de cascajo y arena, más o menos en la parte media de la desembocadura, que constituye el primer estado de la formación de la puntilla de Quivolgo. Si en el invierno siguiente no hay crecidas de mucha importancia, a la primavera principia a crecer ese islote hacia el Norte, llegando generalmente a unirse con la playa y formando de nuevo la puntilla de Quivolgo. Después esta puntilla se prolonga longitudinalmente hacia arriba del río hasta llegar a formar la prolongación del bajo que parte del extremo de la Isla.

Las modificaciones que puede experimentar la playa de Quivolgo hacia el Norte son difíciles de apreciar, porque no hay obstáculos naturales, como grandes rocas, entrantes o salientes de la costa, etc., que provoquen el depósito de la arena, y porque ninguna obra artificial ha influido tampoco en ese sentido.

Respecto al régimen de la costa que nos ocupa, se han hecho algunas observaciones que conviene analizar ahora. En 1910 el Ingeniero Don Gustavo Quezada, al efectuar los estudios que le sirvieron de base para su proyecto de mejoramiento de la desembocadura del Maule, buscando las causas de la formación de la barra dice «que la Caleta parece haber llegado actualmente a un estado de equilibrio y los movimientos periódicos de arena que se constatan en ella reproducen al cabo de cada año la misma situación; la piedra de Las Ventanas ha debido estar antes separada de la costa, como un peñón aislado en el mar. La acción combinada del río y de las olas ha concluido por pro-

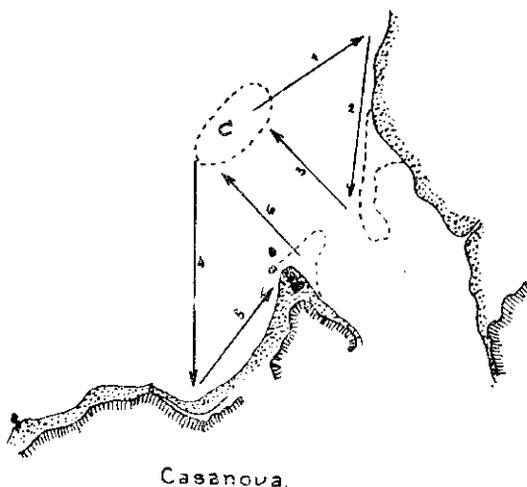
ducir su unión al continente y con ello la perpendicularidad de las curvas de nivel de la playa con la dirección general de la costa, lo cual ha tenido que influir en la marcha de las arenas hacia el Norte, deteniéndola a partir de este punto y acentuando en cambio el embancamiento de la Caleta. No debe, pues, buscarse en este acarreo litoral la explicación de la formación de la barra»

El ingeniero don Domingo Casanova, en dos interesantes trabajos publicados en LOS ANALES DEL INSTITUTO DE INGENIEROS en 1898 y 1924, explica el movimiento de materiales en la desembocadura del Maule y sus alrededores, de la manera siguiente: «los materiales arenosos de la Caleta son arrastrados por el oleaje del SO y forman la puntilla que se extiende desde el pie de Las Ventanas hacia el NO, tratando de obstruir la salida del río; las arenas de Junquillar y Quivolgo, avanzando hacia el Sur por efecto de la oblicuidad del oleaje forman la puntilla de Quivolgo, por el otro lado del río. Las avenidas del río arrastran esos materiales y, junto con los que acarrea el río, los depositan a bastante distancia, frente a la desembocadura, formando un banco submarino B, (fig. 52), del que ya hemos hablado.

Este banco, según él, es atacado por el oleaje de dos maneras: en tiempo ordinario las olas del SO transportan una parte de sus materiales a las playas de Quivolgo y Junquillar, embancando la parte que queda entre el banco y la orilla y dando origen a la formación de la puntilla de Quivolgo; en invierno las olas de los temporales de N y NO, transportan la otra parte hacia la Caleta, provocando el embancamiento de ella; esta arena arrastrada después por el oleaje del SO, va a formar nuevamente la puntilla que por entre las grandes rocas de la desembocadura tiende a obstruir la

salida del río. Hay, pues, según indica el señor Casanova, dos circuitos cerrados, indicados con las cifras 1, 2, 3 y 4, 5, 6 en la figura 52, que corresponden al movimiento de los materiales en las inmediaciones de la desembocadura del Maule. Observa además el señor Casanova que, los materiales que forman la puntilla de Las Ventanas, después de ser arrastrados por las crecidas se dividen en dos partes, una sola de las cuales vuelve a su posición anterior al cerrarse el circuito

neario y de la puntilla que, naciendo de las rocas de Las Ventanas trata de obstruir la desembocadura del Maule, indican de una manera que no da lugar a dudas la existencia de un movimiento considerable de arena que recorre la costa de Sur a Norte. Los ingenieros que se han ocupado de este asunto, no encontrando una explicación al origen de esta cantidad enorme de arena y creyendo que, si viniera del Sur, no podría pasar más al Norte de la piedra de la Iglesia,



Casanova.

Fig. 52

correspondiente, esta puntilla debe ir siendo menor cada vez que vuelve a formarse.

Como puede observarse, los distintos ingenieros que han estudiado el régimen de la costa que nos ocupa, están de acuerdo en los hechos observados, lo que no es extraño, pero opinan de muy diversa manera en lo que se refiere a las causas que producen las modificaciones de la costa.

A mi juicio, la formación de la puntilla arenosa que parte de la roca del bal-

han deducido que ella no puede ser considerable y han tratado de explicarse ese movimiento, haciendo intervenir la misma arena y los materiales arrastrados por el río. Es interesante estudiar este punto un poco más despacio, entrando en algunos detalles acerca del movimiento de la arena en la costa y especialmente en la que nos ocupa, lo que nos explicará que la arena puede venir del Sur de la piedra de la Iglesia.

El efecto de las olas se manifiesta de dos maneras diferentes, según que se

considere la zona comprendida desde la línea en que revientan las olas hacia tierra o la que queda desde esa misma línea hacia adentro del mar. La primera zona se extiende desde una hondura ligeramente superior a la altura de las olas en baja marea, como hemos visto, que será de unos 3 metros ordinariamente y llegará a 8 o más en las tempestades, hasta donde alcanzan a llegar las olas en alta marea y es en la que se verifica la mayor parte del movimiento de la arena; los materiales removidos por las olas son arrastrados hacia tierra por el movimiento de translación muy fuerte que adquiere el agua al reventar las olas, su velocidad va disminuyendo a medida que el agua sube la pendiente de la playa, hasta que llega un momento en que se anula; el agua vuelve atrás, por efecto de la gravedad y, cuando ya ha adquirido velocidad suficiente, principia a arrastrar hacia adentro los materiales que se habían depositado; de estos movimientos resulta que una parte de los materiales que se encuentran en el fondo donde rompen las olas, van quedando depositados en la playa más arriba por cada ola que llega, y si éstas tienen una componente oblicua bastante marcada, van progresando poco a poco en el sentido de esa componente. En la zona en que las olas no alcanzan a romper, porque la profundidad es mayor que la que se necesita para eso, mayor que 2 o 3 metros normalmente y mayor que 7 u 8 durante las fuertes tempestades, el movimiento ondulatorio subsiste, pero

las órbitas son bastante alargadas cuando las profundidades relativas son pequeñas, y las velocidades máximas en el fondo son suficientes para remover la arena hasta llegar a veces a profundidades considerables. Si calculamos las velocidades en el fondo, en el caso de Constitución, veremos que en tiempo ordinario, con olas de 1.50 metros de altura y 40 metros de largo, resulta para la velocidad alternativa en el fondo un valor de 1 m/s para 4 metros de hondura, y para olas de altura de 2 metros, resulta un valor de 1.30 m. en 5 m. de hondura, velocidades capaces de remover fácilmente la arena fina que forma la playa; en caso de olas de tempestad de 6 metros de altura y 200 metros de largo, que se observan muchas veces en Constitución, la velocidad en el fondo resulta de 6.40 m/s para hondura de 8 m, y 2.10 para hondura de 12 m., lo que indica que la arena es removida fácilmente a honduras superiores a esta última cifra. En las tempestades ordinarias ese efecto se producirá sin duda en las honduras de 10 y 12 m.; de estas cifras puede deducirse que, si la propagación de las olas se efectúa oblicuamente respecto a la playa, como sucede en Constitución, la arena removida por las olas avanzará de Sur a Norte por efecto de las olas mismas, y a esto se agregará el transporte en el mismo sentido que produce la corriente costanera, aunque su velocidad no sea suficiente para remover los materiales que constituyen el fondo.

(Continuará)