

PUERTOS DE CONSTITUCION Y CORRAL

Y

MEJORA DE LOS RÍOS MAULE Y VALDIVIA

CAPÍTULO PRIMERO

CONSIDERACIONES GENERALES

La República de Chile es esencialmente marítima. Un país que por sus costas, que se extienden desde el 18° al 55° paralelo Sur, en una longitud de más 4,000 kilómetros, á lo que hay que agregar el desarrollo de los numerosos pliegues de sus golfos y de sus archipiélagos, está llamado á ser principalmente una potencia naval, como la Italia, á la cual se le puede comparar por su forma, y cuya flota comercial es la primera del mundo, después de la de Inglaterra.

La vasta empresa de ferrocarriles á que se ha consagrado el Gobierno tocará pronto á su fin, admitiendo sólo el territorio una línea central con algunos ramales laterales. La mayor parte de éstos, como la línea férrea de Talca á Constitución, tienen por objetivo los puertos del litoral, estas puertas del mar por

donde Chile enviará al extranjero los productos de un suelo apenas explotado.

Todo concurre para que la ejecución de un programa de trabajos marítimos sea próxima, trabajos destinados á cooperar al desarrollo de la fortuna pública y privada. Su realización, sin duda, no podrá efectuarse bastante ligero para corresponder á las necesidades ya reconocidas. En la actualidad, en el gran depósito del Pacífico, Valparaíso, la falta de un abrigo contra las tempestades del Norte y de facilidades para las exigencias comerciales, hace á veces peligrosa su frecuentación y difícil su explotación.

Talcahuano y Coronel, situados en magníficas bahías, están expuestos á los vientos de ciertos cuadrantes. Más al Sur, Corral ofrece un abrigo seguro, pero estrecho, en medio de una rada inmensa, que algunos trabajos adecuados podrían habilitar por completo. Esto no es todo. Este puerto, el único de la costa meridional, parece estar amenazado en su porvenir por la invasión de las arenas.

Los proyectos necesarios para la ejecución de los trabajos marítimos exigen largos y difíciles estudios previos; sería prudente tratar de que no hicieran falta en el momento preciso. Encargado por el Gobierno de los planos de Constitución y Valdivia, he tenido la fortuna de aprovechar trabajos anteriores, algunos de los cuales son muy notables. Pero éstos son casi los únicos puntos para los cuales se tienen términos de comparación. Si no hubieran existido se habrían necesitado plazos mucho más largos para la presentación de este estudio.

En los trabajos marítimos la generalización de los hechos conduce á veces á grandes errores. Un examen superficial, la observación de un resultado en otra localidad, pueden hacer creer

que los problemas propuestos tienen una solución posible. A menudo ésto no es verdadero, y el conocimiento de las condiciones especiales del punto de que se trata, puede únicamente servir de base á un proyecto razonado.

Antes de ocuparme exclusivamente de Constitución y de Valdivia, y para evitar repeticiones, he creído necesario resumir en algunas páginas los hechos interesantes que he podido reunir sobre las costas chilenas. Servirán, no sólo para aclarar los estudios particulares que se me han confiado, sino que serán también jalones colocados para la realización del programa de investigaciones que creo necesario para la ejecución de los trabajos futuros.

He tomado los elementos en mis observaciones personales y también en diversas publicaciones, principalmente en el *Anuario Hidrográfico*, el *Anuario de la Oficina Central de Meteorología* y en los documentos inéditos de la *Oficina Hidrográfica*, que han sido puestos á mi disposición con mucha benevolencia.

Vientos

Las estaciones meteorológicas instaladas en Chile observan la dirección de los vientos tres veces al día. Estos datos, publicados en el *Anuario Meteorológico*, son muy importantes; pero les faltan dos indicaciones interesantes: 1.º la velocidad exacta del viento; y 2.º su duración. Los diversos observadores no están de acuerdo en las estimaciones, lo que no asombra. Uno anota *calma*, cuando otro escribiría *viento suave*; y pueden resultar grandes diferencias en la designación de los vientos reinantes. Sólo los instrumentos inscriptores evitarían estas divergencias.

He reunido (lámina I) la traducción gráfica, según el procedimiento ordinario de la rosa, de los vientos observados en las diversas estaciones meteorológicas de la costa. Estos diagra-

mas indican el número de veces que cada dirección se ha observado durante un año, pero no las velocidades relativas. Sin embargo, es evidente que las playas variarán más con un viento tenpetuoso que sople dos días que con otro, más débil, de una semana de duración.

El ingeniero marítimo tiene que considerar los vientos bajo dos aspectos diferentes:

1.º Por su influencia á la entrada de las naves en el puerto y á su salida. Esta faz de la cuestión cambia de importancia según la clientela que frecuenta la localidad: considerable si son buques de vela; casi insignificante para barcos á vapor ó en el caso de remolques desarrollados; y

2.º Por su acción sobre el régimen de las playas contiguas al abrigo que se quiere construir.

Según la dirección de los vientos, cambia la de las olas; y son éllas las que modifican con más energía el estado de las arenas ó del cascajo del litoral.

Puede suceder que los materiales de la playa sean arrastrados por violentas olas en una dirección opuesta á la de los vientos reinantes, si la acción continua de éstos no basta para restablecer el equilibrio en sentido inverso. Por lo tanto, cuando soplan regularmente durante un largo periodo del año, su influencia es la que predomina.

La dirección de los vientos no es á menudo la misma en alta mar en la costa. En tierra puede ser influenciada aun por obstáculos; por esto la posición de un observatorio debe estudiarse muy bien antes de instalarlo.

En el Pacífico los vientos del Norte son los más temibles, y los del tercer cuadrante son los más frecuentes, á lo menos en la parte septentrional. Es muy difícil darse cuenta de la dirección predominante en la costa por medio de los diagramas en rosa de la lámina I. He pensado hacer más resaltante y más

útil la comparación, empleando otro procedimiento gráfico, que creo llamado á prestar grandes servicios.

Consiste en construir el polígono de los vectores que se obtienen al considerar los vientos como fuerzas, dándoles su dirección real, y representando su magnitud, á una escala determinada, por el número de días en que han soplado en el año. Así se obtiene un resultante, que expresa bien, haciendo abstracción de la violencia, cuál es el viento predominante y cómo debe ejercerse su acción sobre la playa.

He reunido en una carta de Chile (lámina I) las resultantes de las diferentes estaciones meteorológicas, á la misma escala. Una simple ojeada hace ver las variaciones considerables que experimentan, y muestran cuán erróneo es el sacar conclusiones de los resultados de una localidad para otra.

Por ejemplo, es interesante comparar Serena á Coquimbo, Caldera á Copiapó. Sobre todo llama la atención el hecho de que mientras en el Norte la resultante viene del Sur, sucede lo contrario en las estaciones meridionales, debiendo manifestarse probablemente el cambio á la altura de Lebu, donde por desgracia no hay observatorio.

Basta señalar el interés que hay en comparar estas modificaciones en la dirección general de los vientos con la de las dos ramas de la corriente de Humboldt, que se separan, según las cartas, un poco al Sur, marchando una de Sur á Norte y la otra en sentido contrario hacia el Cabo de Hornos. Estas trayectorias están indicadas según observaciones antiguas ya y sin duda algo escasas. La Marina de la República haría servicios eminentes á la ciencia si fijase con exactitud los límites de estos fenómenos.

La curiosa carta de los vientos de Chile (lám. I) se ha verificado por otra parte, á lo menos para la dirección de la resultante, por medio de la fórmula de Lambert.

Se sabe que llamando φ la inclinación de la resultante del Norte hacia el Este, se tiene:

$$\text{tang } \varphi = \frac{E-O + (NE + SE - SO - NO)\cos 45^\circ}{N-S + (NE + NO - SE - SO)\cos 45^\circ}$$

Se verá á propósito de las observaciones de Constitución y de Corral la concordancia entre esta fórmula y el polígono de los vectores; este último conserva la ventaja de dar, además de la dirección, la verdadera magnitud de la resultante.

Mareas

AMPLITUD.—La amplitud de las mareas está indicada, en todas las cartas de Chile, de 1^m50 á 1^m70. Corresponde á las zizigias; pero en ninguna parte he encontrado mención de las irregularidades considerables que afectan á este fenómeno. En ciertos días la amplitud es muy pequeña; y no es constantemente en la misma fecha de la lunación cuando tiene lugar el máximo, que á veces es muy superior á las cifras precedentes.

Una particularidad bastante rara se presenta en Chile, del mismo modo que en las costas de Estados Unidos, en el Pacífico: las mareas de día y de noche son en parte muy desiguales. Rara vez he visto anotado el hecho; sin embargo, á propósito de Constitución el capitán de navío señor Salamanca se expresa en los términos siguientes: «Como en casi toda la costa de Chile, la marea de la mañana es aquí siempre mayor que la de la tarde.» (*Anuario Hidrográfico*, III, 16).

En los canales del Sur, la diferencia parece ser más considerable aun, pues las misiones hidrográficas han visto á menudo que sus campamentos eran inundados por la noche, aunque estuviesen establecidos en un nivel muy superior al de la marea del día (*An. Hidr.*, I, *passim*).

Se sabe que estas diferencias se deben al valor relativo de las fuerzas diurnas y semi-diurnas que obran sobre el Océano.

DIRECCIÓN DE LA ONDA DE MAREA.—En las costas del Perú y de las provincias chilenas septentrionales, es fácil seguir la honda de marea que viene del Ecuador dirigiéndose hacia el Sur.

Los establecimientos del puerto son los siguientes:

Puertos	Latitud	Horas
Paita	5°	3.20
Lambayeque.....	6	4
Malabrigo.....	8	5
Callao	12	6
Islay	17	8.50
Arica	20	8.50
Pabellón de Pica.....	22	9.10
Cobija.....	23	9.54
Mejillones del Sur.....	24	10

Pero ahí parece detenerse la honda de marea. En Copiapó (28°) el establecimiento del puerto es de 8^h30; y la hora de las altas mareas vuelve á subir hacia el Norte, pues se encuentra:

Copiapó.....	28°	8 ^h 30
Flamenco.....	27°	9 ^h 10
Pan de Azúcar.....	26°	9 ^h 16
Mejillones del Sur.....	24°	10 ^h

Desde Copiapó la marea vuelve á tomar netamente su marcha hacia el Sur, y se tiene:

Coquimbo.....	30°	9 ^h 15
Valparaíso.....	33°	9 ^h 32
Constitución.....	35°	10 ^h 10
Talcahuano.....	37°	10 ^h 15
Corral.....	40°	10 ^h 35
Chiloé.....	43°	12 ^h
Cabo Pilar.....	52°	1 ^h

Si en la vecindad de la costa chilena se hallasen tierras capaces de desviar el curso de la onda, se comprendería fácilmente la anomalía que existe en Copiapó; pero, al contrario, el mar es ahí libre en una vasta extensión.

Creo que es necesario buscar la explicación de estas irregularidades: 1.º en la forma de la costa; y 2.º en las profundidades del mar cerca de la ribera.

La onda de marca que parte del Callao se dirige, según la tangente á la costa, directamente á Copiapó, á través de grandes profundidades, que exceden de 6,000 m., según los sondajes del barco *Relay* (Aviso núm. 40. del 6 de Octubre de 1890 de la *Oficina Hidrográfica*).

Al contrario, para llevar á Islay, Arica, Cobija y Mejillones está obligada á hacer una vuelta larga á través de profundidades mucho menores.

Por consiguiente, si llega á Copiapó antes de que su onda derivada á lo largo de la costa haya podido elevar el nivel delante de Mejillones, este nivel será inferior al de Copiapó, y se determina una corriente desde este punto hacia el primero, lo que explica por qué la hora del establecimiento del puerto sube hacia el Norte.

La onda directa de Callao á Copiapó recorre 2,000 kilómetros en dos horas y media, lo que da una velocidad de 220 metros por segundo; mientras que de Callao á Mejillones la onda derivada hace 1,700 kilómetros en cuatro horas, ó sea 120 metros por segundo.

Ahora bien, tomando la fórmula de la velocidad de propagación de la marea en los mares abiertos, de profundidad H

$$v = \sqrt{g H}$$

se ve que H debe ser de 5,000 metros más ó menos desde Callao á Copiapó, y de 1,500 metros á lo largo de la costa de Pisco á Mejillones, lo que concuerda con los datos reales.

El encuentro, en Mejillones, de las ondas provenientes una del Norte y la otra del Sur, debe tener por resultado, si las consideraciones precedentes son exactas, la anulación de las corrientes de marea en las cercanías de este puerto. Esto es, en efecto, lo que se constata (*An. Hidr.* VII, 159).

Sin duda es por razones, análogas como se podría explicar la llegada de la onda á las islas de Juan Fernández (IX^h30) antes de que alcance las islas de San Félix (IX^h40), aunque estas últimas están situadas más al Norte.

En cuanto á la isla de Pascua (IV^h) ya hace parte de esta red oceánica, donde las observaciones son demasiado raras para que pueda seguir la marea.

LA ONDA EN LOS CANALES DEL SUR.—Á Chiloé la onda llega á medio día. Rodea la isla por el Norte, siguiendo el canal de Chacao, y por el Sur á través del estrecho que separa á Chiloé de la isla de Huafo y de las Guaitecas. Las dos ondulaciones derivadas marchan al encuentro.

En Ancud, el establecimiento es de XII^h14. Estando separados los diversos puntos de las costas, tanto de la isla como del continente, por islotes, arrecifes, las horas de pleamar no siguen una progresión regular. Á la entrada de la bahía de Reloncaví el establecimiento es próximamente de XII^h30 es de XII^h 47 en Puerto Montt, y de I^h10 en la bahía de Ralún en la extremidad del estero de Reloncaví.

La rama descendente llega á las islas Changues hacia las XII^h30; y la onda que viene del Sur la encuentra sin duda á la altura de la isla Chulín (I^h); pues llega á la XII^h30 isla de San Pedro y á las XII^h45 á Chaulín (*).

En estos canales del Sur, á causa de la disposición de las

(*) Hay que desconfiar de los errores cometidos á propósito de las horas del establecimiento del puerto en ciertas publicaciones, y sobre todo en el *South Pacific Directory*.

costas y sin duda á veces en virtud de la fuerza viva adquirida por las corrientes, la amplitud de la marea puede alcanzar á 7 m, como en Puerto Montt, Huildad, Puerto Oscuro, Calbuco.

CORRIENTES DE MAREA.—Las corrientes provocadas por la marea en las costas del Pacífico son de poca intensidad. Esto no sucede en los canales del Sur; teniendo el mar que llenar y vaciar sucesivamente estos vastos espacios en el intervalo de 6 horas, resultan corrientes de una violencia extrema en ciertos puntos.

El fenómeno es notable, por ejemplo, en el estrecho de Chacao.

«Pocas regiones del país ofrecen mareas tan notables como las que tienen lugar en el estrecho de Chacao, en todas las lunaciones, por la regularidad y la violencia del flujo y del reflujo; las aguas parecen las de un torrentes, y en las mareas de zizigias forman torbellinos de espumas.

«Desde que principia el flujo la corriente penetra entre la punta Huapacho y la isla Doña Sebastiana, á razón de 3 á 4 millas por hora, en el sentido del canal, rapidez que aumenta poco á poco hasta una velocidad de 5 á 8 millas por hora, y aún de 9 en la vecindad del arrecife Remolinos, donde adquiere su máximo de fuerza. La vaciante sigue una dirección inversa y tiene la misma intensidad que el flujo.» (*An. Hidr.* VIII, 41).

El mismo fenómeno sería aun más notable si los golfoş de Ancud y del Corcovado no se comunicasen con el mar por el estrecho de Huafo. El de Chacao sólo tendría que llenar y vaciar el mar interior.

Corrientes generales

En la costa chilena la corriente de Humboldt pasa siempre á una cierta distancia de la ribera y no tiene interés para el ingeniero marítimo. Existe además una corriente costanera que se dirige con mucha irregularidad de Sur á Norte.

Marcha de las arenas

Según la opinión generalmente esparcida, la corriente costanera arrastraría también las arenas de Sur á Norte, á lo largo de la costa.

Basta mirar las diversas especies de arenas que se hallan en las playas, para ver que no hay transporte general. Tan pronto son blancas, como negras, amarillas, etc., lo que demuestra que su formación es enteramente local. Por lo demás, he principiado á este propósito un trabajo largo, que dará materia para un informe posterior.

También se puede demostrar que esta opinión está desprovista de fundamento por el examen de la desembocadura de los diversos ríos de Chile.

EFFECTO DE LA MARCHA DE LAS ARENAS SOBRE LAS DESEMBOCADURAS DE LOS RÍOS.—Allí donde los aluviones marchan á lo largo de una costa en un sentido determinado, rechazan delante de sí las desembocaduras de los ríos. De este hecho hay ejemplos clásicos que se citan siempre.

Así en la costa normanda de Francia las arenas provenientes del Oeste rechazan al Este los estuarios que encuentran y determinan en su orilla izquierda puntas semejantes á la de Qui-volgo. Tales son las desembocaduras del Orne, del Dives, del Touques, etc. En Inglaterra el transporte de la del Yare en cerca de 4 kilómetros, es célebre (lám. II, figs. 1 y 2).

En Estados Unidos se han estudiado efectos idénticos en el río de Manasquan, en Barnegat, en el río Shark, en Nantucket, etc.

Por lo demás, la repulsión de las desembocaduras por las arenas en movimiento se explica fácilmente.

En consecuencia, si la corriente sólida de arena se produjese siempre en la costa de Chile de Sur á Norte, las desembocadu-

ras de los ríos deberían ser rechazadas constantemente al Norte, salvo en casos especiales, como se verá para la punta de Quivolgo.

Ahora bien, esto no es siempre así; lejos de eso.

He reunido en las láminas II, III y IV, á la misma escala de $\frac{1}{20000}$ y con la misma orientación, siete desembocaduras en que las puntas de arenas se desprenden de la orilla Norte, dirigiéndose más ó menos exactamente hacia el Sur. Son los estuarios siguientes: Rapel, Vichuquén, Maule, Lebu, Imperial, Queule y Toltén.

Todas estas desembocaduras infringen la regla sentada más arriba.

Seis de estas corrientes presentan caracteres próximamente idénticos: Rapel, Vichuquén, Maule, Lebu, Imperial y Queule. La orilla izquierda está formada por un macizo sólido, la orilla derecha por una playa de arena; se podría, pues, creer que hay una especie de ley. Sin embargo, mientras que en los cuatro primeros (salvo un poco en el Rapel en sentido inverso) el río se dirige casi en línea recta al mar, se ve bien que en el Imperial y el Queule la arena ha rechazado delante de sí al río de Norte á Sur, hasta que éste se ha apoyado en las sólidas puntas Cholñi y Ronca, respectivamente.

Pero donde se ve sobre todo esta acción de repulsión es en el Toltén, donde las playas Norte y Sur son arenosas. Sería interesante levantar los planos de este estuario antes y después de una tempestad; debe presentar modificaciones importantes.

Si en la costa sólo existiesen ríos como los precedentes se podría concluir de ahí que el transporte de la arena se hace de Norte á Sur; pero esta deducción sería errónea. Para convenirse no hay más que examinar los estuarios de los ríos Maipo, Mataquito y Biobío, figurados en las mismas láminas en idénticas condiciones que las anteriores.

El Mataquito sobre todo es típico: muestra bien que ahí la

arena se transporta de Sur á Norte; se diría que es el Imperial invertido. Del mismo modo el Biobío, pues la punta de arena que une el Morro Pompón á la orilla Norte se forma en virtud de causas diferentes, que se observan, por ejemplo, en los Estados Unidos en Richmond's Island, en varias de las islas de la bahía de Bostón, y de una manera tan singular en la península de Gien en Francia y en Argentaro en Italia.

He figurado, por fin, en las láminas precitadas, las desembocaduras del río Bueno, del estero de Topocalma y de la marisma de Cahuil; se les podría llamar indiferentes: las dos orillas forman puntas que avanzan una hacia otra.

Dejando á un lado esta última clase ¿es posible dar una explicación de estos hechos? Es probable que haya que atribuirlos á la acción de los vientos dominantes. Si nos referimos, en efecto, á lo que se ha dicho anteriormente, en el Sur la dirección general de la resultante de los vientos va de Norte á Sur, lo que explicaría la forma de las desembocaduras del Imperial y del Toltén. Al Norte de Lebu sucede lo contrario, de donde proviene la forma de los estuarios del Mataquito, del Biobío. Pero una razón general no bastaría para explicar todos los hechos. En Quivolgo, creo que es á una causa local á la que hay que atribuir el origen del crochet singular que ahí se observa.

Elucidadas estas cuestiones generales, será más fácil entrar en el examen de las dos localidades, que se me han confiado. Las condiciones particulares de Constitución y del Maule han sido estudiadas por los ingenieros señores Destabeau y Moreno; las de Corral y del río Valdivia, por los ingenieros señores Perón, Casanova y Campusano. Les doy las gracias por la contracción y la habilidad con que han cumplido su misión. Me permito llamar la atención del Gobierno hacia los jóvenes inge-

nieros chilenos que han dado pruebas repetidas de su celo. Les ruego se dignen creer que nunca olvidaré su inteligente concurso.

CAPÍTULO II

CONSTITUCIÓN Y EL MAULE

En los años de 1876 y 1877 el ingeniero señor A. Lévêque hizo los estudios del puerto de Constitución, estudios que fueron publicados por el Gobierno. Estas investigaciones concienzudas y sabias no habrían tenido, sin duda, necesidad de renovarse si no fuera á causa de las modificaciones profundas que se han operado desde la fecha aludida.

Primeramente, los progresos de la ciencia han sido considerables desde entonces. Jamás se han debatido tanto los asuntos concernientes á los trabajos marítimos y á la construcción de puertos, como en este período, y el arte del ingeniero ha experimentado, en consecuencia, un desarrollo inmenso.

Además, las condiciones económicas de Chile han cambiado: los trabajos públicos han adquirido un desenvolvimiento que no tenían en 1876 y hoy pueden concebirse de una manera distinta á la de entonces, por razón de la exiguidad de los presupuestos de esa época.

Por fin, en los últimos años la marina se ha transformado casi completamente. Los buques de vela tienden á desaparecer y á ser reemplazados por grandes vapores. Es verdad que para muchos el papel del puerto de Constitución debe limitarse á una especie de gran cabotaje, bastando para este objeto buques pequeños. No creo que deban restringirse de este modo las previsiones del porvenir de una comarca cuya previsión parece que tomará grande incremento. Además, para la seguridad misma de la conservación del puerto, creo indispensable que se alcancen

grandes profundidades con los molos de abrigo; por lo cual, en vez de llegar á 6 metros de hondura en la entrada, pienso que hay que obtener 8 metros.

Por último, bajo el punto de vista financiero, es necesario observar que los gastos, para satisfacer completamente al comercio, no son mucho más considerables que si se ejecutaran instalaciones restringidas.

Consideraciones generales

Constitución está situado en la orilla izquierda del Maule, á un kilómetro del mar. De éste lo separa el cerro Mutrún, cuya elevación es de 90 metros y donde se podría instalar baterías que defenderían ventajosamente la ciudad.

Su situación geográfica es la siguiente:

Latitud.....	35°	19'	8" S
Longitud O. de Greenwich.....	74°	47'	7"

La ciudad de Constitución (la antigua *Nueva Bilbao*) data de fines del siglo pasado y siempre ha tenido cierto movimiento marítimo. Los buques que fondean en el estuario del Maule ¿encontraban en otro tiempo acceso más fácil? El señor José I. Vergara, en el volumen de 1870 del *Anuario Meteorológico*, dice: «El puerto no ofrecía antes de 1827 ningún embarazo notable al desarrollo del comercio, según lo atestiguan sus antiguos vecinos y el porte de los buques que á toda carga y sin peligro podían entrar en él; pero un grande aluvión que se verificó en ese año y que hizo cambiar en parte el curso del río, y la disminución que éste ha sufrido en su caudal, á causa de las aguas que se le extraen para las necesidades de la agricultura, han alterado de tal modo sus condiciones, que en la actualidad sólo los buques de muy poco calado pueden salvar la barra, en ciertos días, con el auxilio de un vapor remolcador.....»

«Antes del año de 1827... el fondo del canal de la barra oscilaba durante el año entre 25 y 15 pies ingleses (7^m60 á 4^m7) que correspondían respectivamente al invierno y al otoño.»

El señor Vergara ha tomado estos datos de un informe muy interesante del señor Felipe Santiago Astaburuaga, publicado en EL ARAUCANO del 11 de Julio de 1845, número 777, quien no explica las cosas enteramente del mismo modo. Antes de 1827, el curso del Maule seguía una línea sinuosa que partiendo de la punta de piedra que limitaba el *Astillero viejo*, iba á chocar contra la punta del Norte, llamada la *Grada*, de donde se dirigía serpenteando á la piedra de los *Lobos*. Además, la punta de Quivolgo cerraba entonces más que hoy la embocadura, que sólo conservaba 100 metros. «Esta punta, dice el autor, obraba como un resorte, cuyo efecto es admirable, formando como una sucesión de pequeñas creces» que arrastraban la barra.

En 1827 este banco fué cortado por la grande avenida de ese año y el curso del Maule se separó en dos canales, que dividieron la fuerza de la corriente.

Así, antes de la época precitada, el río realizaba naturalmente la forma bisinusoidad, reputada hoy como la forma tipo que debe afectar una corriente de agua. Además, la embocadura era muy angosta; en estas condiciones, á pesar de las desventajas inherentes á las otras circunstancias de la entrada, y que se examinarán más adelante, la situación era mucho mejor que en nuestros días.

Planos

Desgraciadamente no se tienen planos anteriores á 1827; no se pueden pedir documentos de esta naturaleza á una nación que acaba de consolidar su soberanía. Posteriormente á esta fecha se tienen tres planos originales: los de los señores Leoncio Señoret (1844), Manuel Señoret (1875), y A. Lèvéque (1876). Los

dos primeros, muy preciosos para la navegación, están concebidos más bien bajo el punto de vista náutico. El último está completamente en armonía con los estudios necesarios al ingeniero. Indica el estado de la desembocadura en las condiciones normales, es decir, cuando la barra y la playa de Quivolgo han llegado á su último período de transformación; así las he visto en Diciembre de 1890.

Los planos que presento (láminas VIII, IX, X y XI) muestran diversas fases de esta transformación. Su comparación, absolutamente necesaria para los proyectos de mejora del río, se hará más adelante; indicará la urgencia que hay de ejecutar levantamientos exactos en todos los puntos que la naturaleza señala como teatro futuro de trabajos marítimos.

Vientos

El *Anuario Meteorológico* en algunas de sus entregas ha publicado observaciones relativas á los vientos que soplan en Constitución. Se reparten como sigue durante el año:

N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	Calma
58	4	25	23	121	48	5	14	66

La lámina I los indica trazados en forma de rosa y según el polígono de los vectores. La resultante de éste, representa un viento que proviene casi del Sur (3° con el N) que sopla durante cien días.

La fórmula de Lambert da $\approx 2^{\circ} 50'$.

La dirección general de las olas debería, pues, obedecer á esta resultante; pero es necesario tener en cuenta las variaciones experimentadas tanto por las olas como por los vientos á causa de la forma de la costa. En definitiva, la dirección general de las olas hace un ángulo de 40° al Oeste con el Norte.

Corrientes del mar

Generalmente sólo se admite delante de Constitución una corriente costanera, dirigida de Sur á Norte, con una velocidad de cerca de una milla por hora.

El *Anuario Hidrográfico* (III, 15) dice: «Sobre corriente general nada puede establecerse definitivamente por faltar estudios especiales, pues que aun la gran corriente chilena ó de Humboldt se hace insensible; sin embargo, se nota una pequeña corriente hacia el Norte, que, bien pudiera atribuirse á la constante marejada del SO. Respecto á corrientes locales, existe una pequeña, que se dirige al NO de la boca del Maule y cuyo origen puede atribuirse al desagüe del río.

Los habitantes de estos lugares dicen que existe una corriente que tira hacia tierra entre *Maule y Punta Humos*; pero sólo se funda para ello en el naufragio de un buque, ocurrido en aquella parte en 1871, y que atribuyen á dicha corriente.»

Los estudios practicados por la Comisión actual han servido para aclarar en parte el régimen muy complejo y muy variable de las corrientes en juego delante de Constitución.

1.º Hay, en primer lugar, la corriente costanera que ocupa sólo un ancho muy pequeño, cerca de 200 metros, contra la costa. Existe al Sur, delante de la Caleta, y al Norte, delante de la playa de Quívolgo. Su velocidad es de cerca de 0.40 m. por segundo durante la vaciante, y 0.10 m. durante la creciente. Se interrumpe por completo delante de la desembocadura del Maule.

2.º La corriente que sale del río continúa en pleno mar; un flotador arrojado en la Poza se dirige hacia el Oeste, y esto en cualquier período de la marea. Su dirección casi constante hace un ángulo de 110º á 120º con el Norte verdadero. En cuanto á su velocidad, casi se anula cuando la creciente alcanza su altura

media, lo que está conforme con las observaciones generales; afuera de la embocadura no se detiene y sigue siempre la misma dirección. El máximo de la velocidad que hemos observado es de 0.50 m. durante la vaciante.

3.º Á más de la acción del Maule, existe, según parece, al Norte de la embocadura una corriente que tira al Norte, y al Sur una corriente que se dirige al Sur. Por falta de un barco nos ha sido imposible estudiar estos movimientos, que tendrían importancia sobre todo para los buques, á su entrada y salida del río.

Como se ve, el régimen de las corrientes delante del Maule ofrece poca importancia; no podría atribuírseles un papel decisivo en los fenómenos que allí pasan.

M a r e a s

Todas las cartas asignan á la marea de Constitución una amplitud de 1.50 m. y fijan el establecimiento del puerto á las X h. De nuestras observaciones más bien resulta X h. 10.

En cuanto á la amplitud, es muy variable y las curvas de las láminas V y VI indican los resultados de los meses de Diciembre de 1891 y de Enero de 1892.

Es interesante saber cómo se han hecho estas observaciones, porque la instalación puede aplicarse en otras localidades, en vista del poco gasto que origina. No teníamos ni mareógrafo inscriptor, ni ninguno de los instrumentos conocidos, y era necesario utilizar los medios de que se dispone en Constitución ó Valdivia.

El aparato se compone de un flotador de madera ó metálico, convenientemente lastrado, cilíndrico ó mejor esférico, que puede moverse en un tubo largo, compuesto de cuatro tablas bien unidas, con una abertura muy pequeña en la parte inferior, para que en los movimientos de resaca ó de las olas apenas pueda

hacerse sentir. Este tubo está fijo en la orilla ó en la bahía sobre un pilote. Un hilo une el flotador á un pequeño carro de cuatro ruedas, bastante pesado, que pueda correr sobre una tabla inclinada de 45°. Un lápiz lustrado en su parte superior, pasa sin frotamiento por la plataforma horizontal del carrito. Por la mañana y por la tarde se fija una cinta de papel sobre la tabla, y el lápiz marca en ella una raya, cuyas extremidades indican las alturas máxima y mínima de la marea.

La única inferioridad de este instrumento con respecto al mareógrafo incriptor, es que no da las horas. Para obtener las curvas de mareas, se debe, pues, hacer algunas observaciones directas.

Es conveniente decir que las poleas de transmisión y las ruedecitas del carro deben tener una gran movilidad; el hilo tiene necesidad al mismo tiempo de ser bastante resistente y de una flexibilidad completa. Se ha empleado con éxito cadenas de cobre.

En los dibujos de las curvas de las alturas máxima y mínima, se notarán vacíos. Esto se debe á que los instrumentos han sido quebrados á menudo por el público.

AMPLITUD.—Se observará que en los estoas de alta y baja mar, el nivel es muy variable; es un fenómeno que también se ha observado en la bahía de Corral. Á partir del momento de las estoas, la curva es, al contrario, regular y muy aguda.

La mayor amplitud diurna constatada ha sido exactamente de 2 metros el 26 de abril de 1892 en la Poza. Esta marea tuvo lugar á las X h. 10 de la mañana el día del novilunio que se efectuaba á las cinco de la tarde. ¿La pleamar del día siguiente ha sido de una amplitud mayor? Por desgracia, no se ha podido estudiarla. Tampoco la de la noche del 26.

En las curvas de los máximos y mínimos de las láminas V y VI se puede observar que de cuatro veces, tres el máximo se produce la víspera de la zizigia, y el mínimo el día mismo de la fase de la luna, es decir, al día siguiente del máximo. Parece

que este hecho es enteramente cierto, pues se reproduce en las curvas de los cuatro mareógrafos instalados en la Poza, en el Muelle, en el Dique del Ferrocarril y de *Ánima*; pero está en desacuerdo con las observaciones de otros países, que es preciso efectuar observaciones más minuciosas para probarlo. Es sobre todo en las localidades de grandes mareas, como el seno de *Reloncaví*, donde se podría dilucidar la cuestión.

Las mismas curvas indican en varias ocasiones amplitudes de 1.80 m. y 1.85 m. para las mareas de noche. Pero se debe contar á lo menos con 2 metros. Estas cifras son muy interesantes, pues pueden servir de base á los cálculos del escurrimiento de las aguas del río durante la vaciante.

Por fin, en las cuadraturas, la amplitud de la onda no pasa mucho de 0.50 m.

NIVEL MEDIO.—En Chile refieren generalmente las profundidades de agua al nivel medio del mar.

En Europa se determina el nivel medio tomando la mitad del promedio de las alturas de dos altas mares consecutivas sobre la baja mar intermedia.

También se emplea la fórmula siguiente, dada por el señor Bouquet de la Grye:

Siendo H_0 , H_1 , H_2 las alturas de la escala de marea, correspondiente á tres pleamares consecutivas;

h_0 la altura de la baja mar que precede á H_0 ;

h_1 y h_2 las dos bajas mares siguientes;

N el nivel medio,

se tiene:

$$N = \frac{1}{16} (h_0 + 4 h_1 + 3 h_2 + 3 H_0 + 4 H_1 + H_2).$$

Este nivel medio es generalmente muy constante; es el que tomaría el mar si quedase en reposo. Sin embargo, aún en Francia, donde las mareas son mucho más regulares que en el Pacífico, se observan diferencias muy sensibles (0.70 m).

El Chile el estudios de las curvas de las láminas V y VI indica:

1.º Que hay dos lugares geométricos de lugares medios, uno para la marea diurna y otro para la marea nocturna;

2.º Que estos lugares geométricos son curvas análogas á las de máxima y mínima.

Se presentan, pues, dificultades excepcionales para la determinación de un nivel medio respecto al cual se puede estar de acuerdo. Aun la fórmula del señor Bouquet de la Grye daría resultados muy diferentes si se aplicase á series de altas y bajas mares consecutivas. Por lo tanto he adoptado, como plano de comparación el que pasa por el punto más bajo que hemos observado: es lo que se hace en Europa. Por supuesto que puede hallarse un mínimo más bajo aún; sólo una larga serie de observaciones podría dar fijeza á este respecto.

En todo caso, el plano de comparación establecido en el nivel de las más bajas mares de aguas vivas es el más importante bajo al punto de vista de los trabajos marítimos, en Constitución pasa á 4.31 m. por debajo de la señal figurada por una entalla en la roca que sostiene la pequeña *estatua de Mercurio*.

NIVEL DE LAS ALTAS Y BAJAS MARES.—En general, en los ríos el lugar geométrico de las aguas altas es un plano horizontal, de manera que los puntos superiores alcanzados por la onda tienen todos la misma costa. A veces, sin embargo, el nivel de una localidad dada queda encima ó debajo del plano horizontal.

En Constitución hemos establecido cuatro mareógrafos: Poza, Muelle, Dique y Ánima. Las láminas V y VI resumen las indicaciones suministradas por estos instrumentos: una contiene las curvas de los máximos y mínimos de día; la otra las de los de noche.

Estas curvas están referidas todas al plano de comparación designado más arriba.

El examen de estas curvas indican de una manera general:

1.º Que los niveles de baja-mar van subiendo de la Poza á Anima;

2.º Que los niveles de alta-mar van, al contrario, bajando entre estos dos puntos;

3.º Que los niveles medios están casi sobre una horizontal.

Las horas del establecimiento de los puertos van, bien entendido, retardándose.

Resulta, pues, que si se toma en el momento de la alta mar, en la Poza, un perfil instantáneo hasta Anima, se ve que la pendiente de la superficie del río está en sentido inverso desde la desembocadura hacia su nacimiento.

Este hecho es tanto más singular, en su clase, cuanto que el Maule jamás ofrece corriente invertida. En cualquier período de la marea la corriente se dirige hacia el mar.

Digo en su clase, por cuanto se conoce ejemplos de ríos en que los lugares geométricos de las pleamares, en dos puntos diferentes, son planos inclinados hacia aguas arriba; pero no encuentro ninguna indicación del sentido de las corrientes en este caso. Sólo que los ejemplos que conozco: Lune, Forth, etc., son los ríos de pequeño caudal y grandes mareas donde, por consiguiente, la inversión de la corriente es segura.

Ya que nuestros mareógrafos no eran bastante exactos para inspirar plena confianza, hemos verificado en varias ocasiones, por una nivelación prolija y observación directa de reglas graduadas, cuyo cero se hallaba sobre una misma horizontal, la ascensión de la marea. Siempre hemos constatado los mismos hechos. Así, por ejemplo.

	Diferencia
El 6 de Marzo la alta marea alcanzó en la Poza.....	1,49
» » » » » » » » » el Muelle.....	1,46
	} 0,03

	Diferencia
Del mismo modo el 11 de Marzo en el muelle.....	1,20
» » » » » » » » » Dique.....	1,18
	} 0,02

La diferencia entre el Dique y Anima es muy pequeña.

LA CORRIENTE NO SE INVIERTE.—Es fácil comprender por qué. La pendiente del Maule es bastante fuerte cerca de su desembocadura, para que la marea no suba muy lejos; ésta sólo se siente en los 12 últimos kilómetros. Admitiendo, lo que está muy cerca de la verdad, un ancho medio de 400^m y una marea de 2^m de amplitud en el mar, se ve que el volumen del prisma de marea es de

4.800,000 metros cúbicos.

Ahora bien, durante las 6 horas que dura próximamente la marea, el río vierte, á razón de 350^{m^3} por segundo, volumen medido directamente en Febrero de 1892 en Maquegua, fuera de la influencia de la marea:

$$21,600^s \times 350^{m^3} = 7,560,000^{m^3}$$

Volumen más que suficiente para llenar el prisma de marea y determinar aún un gasto excedente de 2.760,000 metros cúbicos, ó sea de 128 metros cúbicos por segundo, término medio. Si este gasto fuese uniforme durante las 6 horas de flujo en la desembocadura para una sección de $2,400^{m^2}$, la velocidad media sería de $0,053^m$.

No hay, pues, necesidad de agua salada para llenar el prisma de marea; por esto el agua del Maule apenas es salobre, y si lo es algo, es á consecuencia de la mezcla que resulta del contacto con el mar.

Corrientes del río

En el Maule es necesario considerar la última porción del río como una dependencia del mar, á lo menos cuando la desaparición de la punta de Quivolgo quita toda señal de límite.

Así en la Poza, las velocidades del flujo y reflujo se conducen como las corrientes de alta mar y son más considerables en las estoas de alta y baja mar que á marea media, aún cuando las aguas tengan siempre la dirección natural de río. El 26 de Abril de 1892 se ha observado:

A marea media.....	0.125 m
A alta marea.....	0.350 »
A baja marea.....	0.470 »

Pero este régimen cambia desde que el río se constituye francamente; así el 29 de Abril se ha observado en el Muelle:

A marea media creciente.....	0.120 m
Después de la pleamar.....	0.370 »
A marea media vaciante.....	0.950 »
A baja mar.....	0.888 »

Gasto del río

El gasto propio del río ha sido medido en Febrero de 1892 en Maquegua. Se ha hallado que es de 350m^3 . Pero las aguas eran aún muy abundantes. En Abril habían disminuído mucho; pero no hemos tenido tiempo de hacer una nueva medida. En ese momento la corriente del río á marea creciente y cerca del nivel máximo, era muy pequeña; aún en las orillas y en un cierto ancho se producía una contra corriente muy sensible.

El gasto cerca de la desembocadura, en el momento de la vaciante, se ha medido de varias maneras.

Observemos que, según el cálculo precedente, el río tiene que gastar durante las 6 horas de vaciante, en la desembocadura, el volumen del prisma de marea, más su propio gasto, ó sea en todo:

$$12,360,000\text{m}^3$$

Si el gasto fuera constante, por segundo pasarían

570^{m^3}

Pero esto no sucede; la velocidad máxima es algo superior al duplo de la velocidad media, como se constata en todas partes. En realidad, hemos hallado como gasto máximo por segundo

$1,200^{\text{m}^3}$

Pissis, estimando la superficie de la hoya del Maule en 20,000 kilómetros cuadrados y en 0.50^{m} la cantidad de agua que cae anualmente en promedio, eleva á $1.000,000^{\text{m}^3}$ el gasto del río por hora, ó sea 277^{m^3} por segundo. Un ingeniero que ha medido el río durante las aguas bajas, el señor Bliss, sólo ha encontrado 194^{m^3} . Jamás lo he visto tan reducido; es probable que, salvo raras excepciones, el caudal se mantiene en 250^{m^3} más ó menos.

Los cálculo efectuados anteriormente á propósito de la no inversión de la corriente deben, pues, revisarse bajo esta base; pero la conclusión que hay que sacar no cambia.

El río Maule

El Maule nace de un lago que lleva el mismo nombre y que está situado en los Andes á una altura de más de 2,000 metros. Su trayecto es de cerca de 200 kilómetros; recibe en sus dos orillas muchos afluentes; y es navegable para embarcaciones de fondo plano desde Perales, á 70 kilómetros del mar.

La pendiente general desde Perales al mar es, según Pissis, de 1.3% ; es irregular; el río se compone de raudales escalonados, á veces muy profundos (18 metros frente á Maquegua), separados por rápidos cuya corriente alcanza á varios metros de velocidad.

Las orillas están en su mayor parte cubiertas por piedras ro-

dadas; raras veces se hallan playas de arena muy fina, gris, que casi en su totalidad pasa por el tamiz de 400 mallas por centímetro cuadrado. Esta arena se compone próximamente de partes iguales de granos de cuarzo blanco, amarillo, verdoso, rosado y de granos de diversos óxidos de fierro, magnéticos en parte, y de restos muy pequeños de rocas cristalinas.

El fondo del estuario propiamente dicho, que se extiende en una longitud de 6 á 8 kilómetros hasta la localidad conocida con el nombre de *Ánima*, está tapizado únicamente de cascajo. Este estuario mide, término medio, 700 metros de ancho. Está cortado por una isla de 1,200 metros de longitud por 250 metros de ancho máximo. Esta isla deja, entre ella y la orilla izquierda del Maule, un canal de 120 á 150 metros de ancho, cuyo fondo emerge, desde 1877, en una cierta parte de su superficie, en el momento de las más bajas aguas.

El Maule se arroja al mar al Este del cerro *Mutrún*; su dirección general en este punto sólo hace un ángulo de 30° con la línea Sur Norte.

Esta embocadura está limitada al Oeste por una serie de rocas independientes: 1.ª, la de las Ventanas, llamada así á causa de las aberturas que la atraviesan; está unida al cerro *Mutrún* por una playa de arena que el mar nunca cubre. Esta playa forma un corredor, por el cual pasan ráfagas de arena empujadas por el viento; 2.ª, la *Gaviota*; 3.ª, la *pedra de los Lobos*, la más lejana; y 4.ª otras piedras menores y generalmente sumergidas.

Al Este la playa es de arena en una extensión inmensa tanto en ancho como en longitud.

La arena seca es transportada por los vientos en la dirección del Noreste, y forma dunas que avanzan á lo lejos sobre las colinas cercanas.

Naturaleza de la arena

La misma arena compone las playas de ambas orillas, la de la Caleta y la de la barra. Es negra, con algunos raros fragmentos blancos. El tamaño es diferente según su yacimiento: mayor en la barra; más fino en la orilla derecha; intermedio en la otra.

El sabio mineralogista, señor Nogués, profesor de la Universidad, ha tenido á bien analizar dos muestras de estas arenas; he aquí los resultados que ha obtenido:

	Orilla sur	Orilla norte
Número de partículas por decímetro cúbico	7 á 8 millones	10 á 12 millones
Peso del litro	1,643 kilg.	1,523 kilg.

Un litro de cada una de las arenas se ha pasado por un primer cedazos de 400 mallas por centímetro cuadrado, y los residuos sucesivamente por tamices de 100 y 49 mallas.

	Orilla sur	Orilla norte
Por el primer cedazo han pasado . . .	300 cm ³	640 cm ³
Por el segundo cedazo han pasado . . .	500 »	340 » á 344
Por el tercer cedazo han pasado . . .	80 » á 100	10 » á 14
Residuos	100 cm ³ á 120	6

Número de partículas por litro de este residuo	390 000	300 000
--	---------	---------

EXAMEN PARTICULAR DE LA ARENA DE LA ORILLA SUR.—El residuo que ha quedado sobre el cedazo de 49 mallas contiene fragmentos de dimensiones considerables de que trataremos más adelante. Haciendo abstracción de estos fragmentos grandes, esta arena se compone, por litro:

- 1.º De 40 000 partículas de cuarzo blanco y amarillento y otras de los mismos colores y de aspecto hialino;
- 2.º De 20 000 partículas de óxido de hierro magnético, Fe³O⁴;

3.º De 330 000 partículas de diversos óxidos de hierro, silicatos, restos de rocas cristalinas y otras.

Estas partículas, gastadas por el transporte, tienen más bien una forma elíptica que esférica, siendo el eje mayor doble del menor. Sin embargo, algunas partículas son redondas; éstas son las cuarzo hialino ó incoloro, muy transparente, cuyo lecho de origen es claramente diverso del de las partículas amarillentas.

Los fragmentos grandes, cuyo eje mayor alcanza hasta á 0,01 m., permiten reconocer la naturaleza de la roca que los constituye.

Son:

1.º Partículas de cuarzo hialino ó transparente de diversos matices, algunas de las cuales tienen indicios netos de sustancias metalíferas; provienen sin duda alguna de filones metalíferos;

2.º Fragmentos de micasquitas, que provienen por lo menos de dos capas ó de dos yacimientos diferentes, como lo indica su estructura y sus propiedades físicas; restos incontestables de rocas antiguas cristalofilianas;

3.º Fragmentos rodados de diorita;

4.º Fragmentos rotos de hiperstenita poco rodados aun;

5.º Fragmentos rodados, alargados, redondeados de rocas piroxeno-anfilólicas que pasan á la estructura serpentina, de color verde de diversos matices;

6.º Fragmentos de rocas esquistosas verdosas, que se rayan con una punta de acero.

Además, oxidulo de hierro, próxidos de hierro, silicatos, restos de rocas ó de minerales de filones y de rebosaderos; minerales silicatados, cristalizados blancos, amarillentos, verdozos ó rojizos; por fin, indicios de carbonatos y materias orgánicas,

(Continuará)
