Sr. D. Diego Barros Arana. 51
11
S. S.
N. A. R.

MINISTERIO DE INDUSTRIA Y OBRAS PÚBLICAS

ESTUDIO

RELATIVO Á LOS

PUERTOS DE CONSTITUCIÓN Y CORRAL

Y Á LAS

MEJORAS DE LOS RÍOS MAULE Y VALDIVIA

POR

CAMILO J. DE CORDEMOY
INGENIERO DE TRABAJOS MARÍTIMOS Y CONSULTOR TÉCNICO DEL GOBIERNO DE CHILE

BIBLIOTECA NACIONAL
BIBLIOTECA AMERICANA
"DIEGO BARROS ARANA"

Traducido del francés por A. CAPDEVILLE
Oficial 1.° del Ministerio de Industria y Obras Públicas

SANTIAGO DE CHILE
IMPRENTA NACIONAL, CALLE DE LA MONEDA NÚM 112
1893

11

ESTUDIO

RELATIVO Á LOS

PUERTOS DE CONSTITUCIÓN Y CORRAL

MINISTERIO DE INDUSTRIA Y OBRAS PUBLICAS

ESTUDIO

RELATIVO Á LOS

PUERTOS DE CONSTITUCIÓN Y CORRAL

Y Á LAS

MEJORAS DE LOS RÍOS MAULE Y VALDIVIA

POR

CAMILO J. DE CORDEMOY
INGENIERO DE TRABAJOS MARÍTIMOS Y CONSULTOR TÉCNICO DEL GOBIERNO DE CHILE

Traducido del francés por A. CAPDEVILLE
Oficial 1.º del Ministerio de Industria y Obras Públicas

BIBLIOTECA NACIONAL
BIBLIOTECA AMERICANA
"DIEGO BARROS ARANA"

SANTIAGO DE CHILE
IMPRENTA NACIONAL, CALLE DE LA MONEDA NÚM 112

1893

ÍNDICE

BIBLIOTECA NACIONAL
BIBLIOTECA AMERICANA
"DIEGO BARROS ARANA"

Capítulo I

PÁG.

CONSIDERACIONES GENERALES 5
Vientos 7
Mareas 9
Amplitud—Dirección de la onda de marea—La onda en los canales del sur—Corrientes de marea.
Corrientes generales 13
Marcha de las arenas 13
Efecto de la marcha de las arenas sobre las desembocaduras de los ríos.

Capítulo II

CONSTITUCIÓN Y EL MAULE 17
Consideraciones generales 18
Planos 19
Vientos 20
Corrientes del mar 20
Mareas 21
Amplitud—Nivel medio—Nivel de las altas y bajas mares—La corriente no se invierte.
Corriente del río 26
Gasto del río 27
El río Maule 28

PÁG.

Naturaleza de la arena..... 29
Examen particular de la arena de la orilla Sur—Examen de la arena de la orilla Norte—Arena de la barra—Arena del Maule.
Régimen de la playa..... 31
Origen de la barra..... 32
Causas del transporte de las arenas—Conclusiones.
Procedimientos empleados en el estudio..... 36
Playa de Quivolgo..... 37
Efecto de las avenidas..... 39
Mejora de la entrada..... 40
Corte de la Poza—Curvatura de la orilla—Conclusiones
Realización de la entrada..... 42
Molo Suroeste—Necesidad de un segundo molo—Ancho de la entrada—Forma del molo Noreste—Efecto del molo Noreste—Mantenimiento del nuevo régimen.
Sistema de ejecución..... 46
Molo Suroeste—Molo Noreste.
Puerto interior..... 48
Luces de puerto..... 48
Aparatos..... 49

Capítulo III

La bahía de Corral y el río Valdivia..... 50
El río Valdivia..... 51
Planos—Régimen de las aguas—Propiedades físicas del agua.
La bahía de Corral..... 54
Vientos..... 54
Corral—Valdivia.
Mareas..... 56
Nivel de aguas bajas.
Corrientes..... 59
Caudal del río..... 60
Caudal máximo..... 64
Influencia de las curvas..... 66
Velocidades medias..... 66
Corrientes de la bahía de Corral..... 67

PÁG.

Bancos..... 68
Río—Bahía de Corral—Formación del Banco de las Tres Hermanas—Historia del Banco de las Tres Hermanas.
Canalización del río Valdivia..... 73
Elección entre el río Corto y el Torna Galeones.
Comparación de los anchos y las profundidades..... 74
Sistema que hay que emplear..... 74
Ancho del canal..... 75
Caudales futuros..... 76
Velocidades medias..... 77
Consecuencias..... 77
Fórmula de Humphrey y Abbott..... 77
Extensión de los diques..... 78
Trazado del canal..... 80
Enrocados..... 80
Los diques..... 81
La bahía de Corral..... 82
Dragados..... 83
Ejecución de los diques..... 83
Altura—Orden de los trabajos.

Capítulo IV

PRESUPUESTOS..... 85
Bloques artificiales..... 85
Hormigón—Cemento—Arena—Piedras.
Precios..... 86
Cemento—Arena fabricada—Piedras quebradas—Hormigón.
Enrocados..... 87
Constitución—Valdivia—Precio.
Dragados..... 88
Cantidades..... 89
De Constitución: Molo de la orilla izquierda—Molo de la orilla derecha—Dragados—Estimación de los gastos.

PÁG

De Valdivia: Enrocados—Dragados—Estimación de los gastos.

Anexo

Informe relativo al Dique Seco de Talcahuano..... 99

BIBLIOTECA NACIONAL
BIBLIOTECA AMERICANA
"DIEGO BARROS ARANA"

ÍNDICE DE LAS LÁMINAS

Lámina I.—Régimen de los vientos y marcha de la onda de la marea en la costa de Chile.
» II.—Desviación de la desembocadura de los ríos á causa de la marcha de las arenas.
» III.— Id. id. id. id. id. id. id.
» IV.— Id. id. id. id. id. id. id.
» V.—Curvas de las mareas de día en el estuario del Maule.
» VI.— Id. id id. id. id. noche id. id.
» VII.—Plano general de la ría de Constitución.
» VIII.—Formación de la barra y de la punta de Quivolgo.
» IX.— Id. id. id. id. id. id. id. id.
» X.— Id. id. id. id. id. id. id. id.
» XI.— Id. id. id. id. id. id. id. id.
» XII.—Plano Lévêque.
» XIII.—Proyecto de mejora de la barra del río Maule.
» XIV.—Corte de los molos y malecones.
» XV.—Mapa hidrográfico de las provincias de Valdivia y Llanquihue.
» XVI.—Plano del río Valdivia y sus afluentes.
» XVII.—Río Valdivia y sus orillas.
» XVIII.—Proyecto de canalización del río Valdivia
» XIX.—Curvas de nivel y sección entre Amargos y Faro, en la bahía de Corral; corte del enrocado de los diques; marcha de las arenas por el fondo del río; régimen de los vientos en Valdivia y Corral.

Lámina XX.—Mareas de Valdivia; curvas comparativas de la marea; y perfiles instantáneos del río.
» XXI.—Mareas de Corral.
» XXII.—Curvas de marea en Corral y curvas de marea en Valdivia; comparación entre la sección del río y la curva de las velocidades.

TABLE DES MATIERES

Chapitre I

PAG.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES 129
Vents 131
Marées 133
Amplitude—Direction de l'onde-marée—L'onde dans les canaux du Sud—Courants de marée.
Courants généraux 137
Marche des sables 137
Effet de la marche des sables sur les embouchures des fleuves.

Chapitre II

CONSTITUCION ET LE MAULE 141
Considérations générales 142
Plans 143
Vents 143
Courants de la mer 144
Marées 145
Amplitude—Niveau moyen—Niveau des hautes et basses mers—Le courant ne se renverse pas.
Courants du fleuve 150
Débit du fleuve 150
Le Maule 151
Nature du sable 152

PAG.

Examen particulier du sable de la rive Sud—Examen du sable de la rive Nord—Sable de la barre—Sable du Maule.

Régime de la plage 155

Origine de la barre 155

Causes du transport des sables—Conclusion.

Procédés d'étude 160

Plage de Quivolgo 160

Effet des crûes 162

Amélioration de l'entrée 163

Coupe de la Poza—Courbure de la rive—Conclusion.

Réalisation de l'entrée 165

Môle Sud-Ouest—Nécessité d'un recond môle—Largeur de l'entrée—Forme du môle Nord-Est—Maintien du nouveau régime.

Mode d'exécution 169

Môle Sud-Ouest—Môle Nord-Est.

Port intérieur 171

Feux de port 171

Appareils 171

Chapitre III

LE BAIE DE CORRAL ET LE RIO VALDIVIA 173

Le rio Valdivia 174

Plans—Régime des eaux—Proprétés physiques de l'eu.

La baie de Corral 177

Vents 177

Corral—Valdivia.

Marées 179

Niveau des basses eaux.

Courants 183

Débit du fleuve 183

Débit maximum 187

Influence des courbes 189

Vitesses moyennes 190

Courants de la baie 190

Bancs 192

Fleuve—Baie de Corral—Formation du banc de las

PAG.

Tres Hermanas—Historique du Banc de las Tres Hermanas.

Canalisation du rio Valdivia 197

Choix entre le Rio Corto et le Torna Galeones.

Comparaison des largeurs et des profondeurs 198

Système à employer 198

Largeur du canal 199

Débits futurs 199

Vitesses moyennes 201

Conséquences 201

Formule de Humphrey et Abbott 201

Etendue des levées 202

Tracé du Chenal 204

Enrochements 204

Des levées 205

La baie de Corral 206

Dragages 207

Exécution des levées 208

Hauteur—Ordre des travaux.

Chapitre IV

DEVIS 210

Blocs artificiels 210

Béton—Ciment—Sable—Pierres.

Prix 212

Ciment—Sable fabriqué—Pierres cassées—Béton.

Enrochements 213

Constitución—Valdivia—Prix.

Dragages 214

Quantités 215

De Constitución: Môle de la rive gauche—Môle de la rive droite—Dragages—Estimation des dépenses.

De Valdivia: Enrochements—Dragages — Estimation des dépenses.

TABLE DES PLANCHES

BIBLIOTECA NACIONAL
BIBLIOTECA AMERICANA
"DIEGO BARROS ARANA"

Planche I.—Régime des Vents; marche de l'onde; marée sur les côtes du Chili.

» II.—Déviation de l embouchure des fleuves par la marche des sables.

» III et IV—Idem.

» V.—Courbes des marées de jour dans l'estuaire du Maule.

» VI.—Courbes » de nuit » »

» VII.—Plan général de l estuaire du Maule.

» VIII.—Formation de la barre et de la pointe de Quivolgo.

» IX, X et XI—Idem.

» XII.—Plan Lévêque.

» XIII.—Projet d'amélioration de la barre du Maule.

» XIV.—Coupes des môles et quais.

» XV.—Carte hydrographique des provinces de Valdivia et Llanquihue.

» XVI.—Plan du Rio Valdivia et de ses affluents.

» XVII.—Le Rio Valdivia.

» XVIII.—Projet de canalisation du Rio Valdivia.

» XIX.—Courbes de niveau et section entre Amargos et le Phare, dans la baie de Corral; coupe de l'enrochement des levées; marche des sables sur le fond du fleuve; régime des vents à Valdivia et Corral.

» XX.—Marées de Valdivia; courbes comparatives de la marée; profils instantanés du fleuve.

Planche XXI.—Marées de Corral.
» XXII.—Courbes de marées à Valdivia et à Corral; comparaison entre la section du fleuve et la courbe des vitesses.

PUERTOS DE CONSTITUCIÓN Y CORRAL

Y

MEJORA DE LOS RÍOS MAULE Y VALDIVIA

BIBLIOTECA NACIONAL
BIBLIOTECA AMERICANA
"DIEGO BARROS ARANA"

CAPÍTULO I

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 de 4000 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.° la velocidad exacta del viento; y 2.° su duración. Los diversos observadores no están de acuerdo en las estimaciones, lo que no asombra. Uno anota *calma*, cuando otro inscribiría *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 diagramas 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 tempestuoso 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.° 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.° 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 período del año, su influencia es la que predomina.

La dirección de los vientos no es á menudo la misma en alta

mar que 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 una 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 1,50 *m* á 1,70 *m*. 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 onda 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 onda 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^h30
Flamenco	27°	9^h10
Pan de Azúcar	26°	9^h16
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^h15
Valparaíso	33°	9^h32
Constitución	35°	10^h10
Talcahuano	37°	10^h15
Corral	40°	10^h35
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 ahi libre en una vasta extensión.

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

La onda de marea que parte del Callao se dirige, según la tangente á la costa, directamente á Copiapó, á través de grandes profundidades, que exceden de 6000 *m.*, según los sondajes del barco *Relay* (Aviso núm. 40, del 6 de Octubre de 1890 de la *Oficina Hidrográfica*).

Al contrario, para llegar 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 2000 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 1700 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 5000 metros, más ó menos, desde Callao á Copiapó, y de 1500 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 "30) antes de

que alcance las islas de San Félix (IX $^{h}40$), 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 se 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 Guaytecas. Las dos ondulaciones derivadas marchan al encuentro.

En Ancud, el establecimiento es de XII $^{h}14$. 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 $^{h}30$; es de XII $^{h}47$ en Puerto Montt, y de I $^{h}10$ en la bahía de Ralún, en la extremidad del estero de Reloncaví.

La rama descendente llega á las islas Changues hacia las XII $^{h}30$; y la onda que viene del Sur la encuentra sin duda á la altura de la isla Chulín (I ^{h}); pues llega á las XII $^{h}30$ á la isla de San Pedro y á las XII $^{h}45$ á Chaulín (*).

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

(*) 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*.

parecen las de un torrente, y en las mareas de zizigias forman torbellinos de espuma.

«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 aun de 9 en la vecindad del arrecife Remolinos, donde adquiere su máximum 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 golfos 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.

Efecto 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 desembo-

caduras 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 Quivolgo. Tales son las desembocaduras del Orne, del Dives, del Toucques, etc. En Inglaterra el transporte de la del Yare en cerca de 4 kilometros, 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 desembocaduras 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 arena 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 si 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 convencerse no hay más que examinar los estuarios de los ríos Maipo, Mataquito y Biobío, figurados en las mismas láminas en idénticas condiciones que los 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 Ponpón 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 Boston, 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 Cáhuil; 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 Peron, 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 ingenieros 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. Lévèque 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 exigüidad 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 producción 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 uos mucho más considerables que si se ejecutaran instalaciones restringidas.

Consideraciones generales

Constitución está situada 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 (7,60 *m* á 4,70 *m*) 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 bisinusoidal, 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. Levêque (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 faces 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 dias

La fórmula de Lambert da $\varphi = 2° 50'$.

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 S O. 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 fundan 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.° 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 Quivolgo. 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.° 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 110° á 120° 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 máximum de velocidad que hemos observado es de 0,50 *m* durante la vaciante.

3.° 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.

Mareas

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 los movimientos de resaca ó de las olas apenas puedan 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 lastrado 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 êlla una raya, cuyas extremidades indican las alturas máxima y mínima de la marea.

La única inferioridad de este instrumento con respecto al mareógrafo inscriptor, es que no da las horas. Para obtener las curvas de marea, 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 cadenitas 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 las 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 efectua-

ba 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 en Ánima; pero está tan 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, aun en Francia, donde las mareas son mucho más regulares que en el Pacífico, se observan diferencias muy sensibles (0,70 *m*).

En Chile el estudio de las curvas de las láminas V y VI indica:

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

2.° 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 el 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 cota. Á veces, sin embargo, el nivel en una localidad dada queda encima ó debajo del plano horizontal.

En Constitución hemos establecido cuatro mareógrafos: Poza, Muelle, Dique y Anima. 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 indica de una manera general:

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

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

3.° 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 dirije hacia el mar.

Digo en su clase, por cuanto se conocen 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 de ríos de pequeño caudal y de 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	0,03
» » » » » » » » » el Muelle...	1,46	

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

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 ver

dad, 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 aun 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 2400 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, aun cuando las aguas tengan siempre la dirección natural del río. El 26 de Abril de 1892 se ha observado:

Á 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:

Á marea media creciente.....	0,120 *m*
Después de la pleamar.....	0,370 »
A marea media vaciante.....	0,950 »
Á baja mar.....	0,880 »

Gasto del río

El gasto propio del río ha sido medido en Febrero de 1892 en Maquegua. Se ha hallado que es de 350 m^3. Pero las aguas eran aún muy abundantes. En Abril habían disminuido 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; aun 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 volúmen del prisma de marea, más su propio gasto, ó sea en todo:

12 360 000 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

1200 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 de 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, solo 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 cálculos 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 2000 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°/₀; 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 rodadas; 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 1200 metros de longitud por 250 metros de ancho máximo. Esta isla deja, entre élla 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 piedra 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 *kg*	1,523 *kg*

Un litro de cada una de las arenas se ha pasado por un primer cedazo 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
Residuo.....	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.° De 40 000 partículas de cuarzo blanco y amarillento y de otras de los mismos colores y de aspecto hialino;

2.° De 20 000 partículas de óxido de hierro magnético, $Fe^3 O^4$;

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

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

3.° Fragmentos rodados de diorita;

4.° Fragmentos rotos de hiperstenita poco rodados aun;

5.° Fragmentos rodados, alargados, redondeados de rocas piroxeno-anfibólicas que pasan á la estructura serpentinosa, de color verde de diversos matices;

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

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

Examen de la arena de la orilla norte.—El residuo que queda sobre el cedazo de 100 mallas contiene por litro:

1.° 40 000 partículas de cuarzo;

2.° 30 000 partículas de hierro oxidulado;

3.° 370 000 partículas de óxidos de hierro, de silicatos, restos de rocas cristalinas y otras.

Esta arena presenta la misma composición mineralógica media que la de la orilla sur; los materiales que la componen tienen el mismo origen; pero las partículas de la orilla norte son menores, más rodadas que las otras. Entre los minerales transparentes silicatados, se hallan algunas muestras verde-amarillentas de un brillo particular característico.

Arena de la barra.—La arena que constituye la barra es idéntica á las dos anteriores, pero los granos son más grandes.

Arena del Maule.—La arena del río es muy diferente de las de la playa y de la barra; es mucho más fina, y su color, en lugar de ser negro, es amarillento, lo que se debe al predominio de los elementos blanco y amarillo. La composición mineralógica es también diferente.

Régimen de la playa

Como se ha dicho ya, la desembocadura del Maule, en las condiciones ordinarias, presenta el aspecto que el señor Lévêque ha consignado en el plano que reproduzco en este Informe (lámina XII). El río desemboca cerca de la roca de las Ventanas. De la playa Este llamada de Quivolgo, se desprende un crochet característico, que cierra la mayor parte del estuario.

Frente al espacio que separa la piedra de las Ventanas de la de

los Lobos, se extiende una barra ó montículo casi recto, sobre el cual se sonda 1,60 *m.*

En este estado he visto aun la desembocadura en Diciembre de 1890; además, un gran banco de arena se apoyaba contra la orilla izquierda, frente á la piedra de las Ventanas y avanzaba en punta hacia el río, en una cierta longitud, estrechando aun el espacio libre para el escurrimiento de las aguas. Un plano levantado el 27 de Octubre de 1892 por el ingeniero primero de la Comisión, señor Domingo Casanova (lámina XI), demuestra la misma disposición.

Cuando la desembocadura presenta esta forma, queda muy estable, experimentando modificaciones poco sensibles en la altura de la barra, modificaciones producidas por las olas.

Pero si tiene lugar una crece considerable del río, la barra y la punta de Quivolgo son arrastradas, desembocando el río en el mar, según todo su ancho, con profundidades que alcanzan á 10 *m.*

Cuando se principiaron los estudios actuales, acababa de producirse una grande avenida (Octubre de 1891) y la desembocadura estaba libre. Los buques entraban con la mayor facilidad. Al terminar nuestros trabajos, se habían producido modificaciones considerables. La barra se había vuelto á formar, como también una parte de la punta de Quivolgo (Abril de 1892).

En Junio de 1892 la barra estaba completa; pero la punta de Quivolgo no había avanzado.

Origen de la barra

No hay en la ciencia cuestión más controvertida que la del origen de las barras, á tal punto que su misma definición no presenta ningún rigor.

A lo largo de ciertas costas se hallan montículos de arena ó de cascajo, situados entre el mar y lagunas; estos montículos han recibido el nombre de cordón litoral; pero á veces también se les designa con el nombre de barra. Es lo que pasa, por ejemplo, en la costa occidental de África.

Es más conveniente conservar esta denominación para las elevaciones de arena, aisladas ó múltiples, cuyas partículas, sin tener entre sí adherencia alguna, se mantienen á veces, sin embargo,

bajo un ángulo más fuerte que su talud natural, y que obstruyen la entrada de los estuarios, expuestos á la influencia de la marea.

Casi todas las desembocaduras de los ríos que se vierten directamente en los mares con mareas, están cerradas por estas barras, aguas arriba y aguas abajo de las cuales, existen á menudo grandes profundidades.

Para ciertos ingenieros, los materiales de las barras son traídos por el río mismo. Las arenas mantenidas en suspensión por la corriente llegan hasta el encuentro de las aguas del océano; ahí la velocidad se detiene y los aluviones se depositan en el punto muerto.

Para otros, las arenas provienen del mar y son transportadas, ya por las corrientes marítimas, ya por la acción de la marea.

Para otros, por fin, y esta es la teoría más generalmente aceptada por los ingenieros ingleses, las arenas provienen del mar y son amontonadas por la acción de las olas en forma de barra.

Esta cuestión puede quedar indefinidamente en el estado de hipótesis, puesto que casi todas las barras son fijas y experimentan sólo ligeras modificaciones en la altura del canal, como en Liverpool. Para darse cuenta de su origen sería necesario verlas formarse; esta es una circunstancia tan rara, que no conocemos en la ciencia ejemplo de semejante observación.

He tenido la felicidad de realizarla en Constitución.

Recordemos, en primer lugar, que he establecido ya anteriormente que la arena de la playa y de la barra no proviene en manera alguna del río; este hecho está fuera de duda; basta comparar las muestras de arena de esos lugares para salir de dudas. La cantidad de materiales muy finos que puede arrastrar la corriente del Maule pasa directamente al mar, que los transporta lejos; va á formar los fangos del fondo del océano.

En cuanto á la arena de la playa y de la barra, su mismo estado muestra que proviene ó de otros ríos, ó de la descomposición de las rocas del litoral.

No hay otro río que vierta grandes cantidades de arena en el mar que el Biobío, cuyos sedimentos son idénticos á los que se encuentran en la costa desde la bahía de San Vicente hasta San Antonio; pero la arena que se extrae de este río en Concepción es mucho más fina que la de la playa que está delante del Maule; no es, pues, el Biobío quien la alimenta.

BIBLIOTECA NACIONAL
BIBLIOTECA AMERICANA
"DIEGO BARROS ARANA"

Es, por consiguiente, más que probable que la arena de que se trata es el resultado de la descomposición de las rocas vecinas. La diferencia de tamaño indica que proviene del Sur; las partes más pesadas caen en la barra, donde son poco movidas por las olas; las otras, por el contrario, se gastan en la orilla y con bastante rapidez, á juzgar por el grado de pequeñez de la arena de la playa Norte.

La comparación de la barra en diversas épocas de su formación es aun más categórica. En las láminas VIII y IX se ve netamente que la arena desemboca por el espacio comprendido entre las piedras de las Ventanas y de los Lobos, y avanza poco á poco, rechazando delante de sí las curvas de gran profundidad.

Sígase, por ejemplo, la curva de 3 metros: comparando sus distancias hasta la tangente de las dos piedras, se encuentra:

Fechas	Distancia	
3 de Diciembre de 1891.....	40	metros
15 de Enero de 1892.....	160	»
15 de Febrero de 1892.....	200	»
2 de Marzo de 1892.....	250	»

Las otras curvas las acompañan en su inflexión y se les ve rechazadas transversalmente, dibujando la barra con nitidez. Nada viene de la orilla derecha; de este lado hay un avance completamente independiente de la punta de Quivolgo; pero entre el cabo móvil que más tarde será la barra y esta punta, subsisten las grandes profundidades, que se embancan poco á poco *por los aluviones del Oeste*. Los planos hablan demasiado claro por sí solos para que sea necesario insistir.

Causas del transporte de las arenas.—El transporte puede ser ocasionado: 1.° por las corrientes generales ó locales del mar; 2.° por las corrientes de marea; y 3.° por las olas.

1.° El estudio hecho más arriba de las corrientes del mar, muestra que su acción no podría explicar el transporte. Primero hay que hacer abstracción, delante de la Caleta, que es de donde vienen las arenas, de las corrientes que se dirigen hacia el Oeste ó el Sur. Queda la corriente costanera, que puede muy bien contribuir á la conducción de los aluviones hasta la piedra de las Ventanas; pero se interrumpe al frente de la desembocadura. Luego, si fuese la acción

de las corrientes decisiva aquí, las arenas deberían detenerse en esta piedra ó por lo menos ser llevadas á alta mar por las que salen del Maule.

2.° Las corrientes de marea son poco sensibles delante del río; la del flujo, que debe venir del Norte, sería contraria; la del reflujo se confunde con la corriente propia del río y tira á alta mar.

3.° Queda la acción de las olas. Resalta claramente del examen de las diversas faces de la formación de la barra que son precisamente las olas las que empujan las arenas hacia el paso entre las dos piedras, determinando así la creación de una playa submarina al Oeste, sobre la cual rompen; y por su componente tangencial rechazan los aluviones hacia Quivolgo,

Luego, en Constitución hay dos puntos conocidos: 1.° la arena de la barra proviene del litoral Sur; y 2.° es empujada al Este por las olas.

Esto no quiere decir que las otras fuerzas en presencia: corrientes, flujo y reflujo, etc., no tengan ninguna acción; es positivo que tienen una sobre la forma, la posición de la barra... pero esta influencia es secundaria.

¿Y el río? ¿Qué parte tiene en el fenómeno?

Suprimamos con el pensamiento las aguas del río Maule. ¿Qué sucedería? La arena que viene del Sur pasaría por el espacio que hay entre las dos Piedras, se esparciría al Este y llenaría el estuario actual. La ribera se cerraría, pues, en el punto que ocupa hoy la embocadura, y la línea continua juntaría la playa de Quivolgo con un punto frente á las Piedras. Es evidente.

Ahora, obsérvese el plano del señor Lévêque y considérese la posición de la barra: casi coincide con el sitio que ocuparía la curva de 1,50 á 2 metros, en el caso que desapareciese el Maule,

Esta no es una simple coincidencia; es un hecho frecuente en los ríos con barra.

Parece que el fenómeno, considerado así, se explica fácilmente. En una costa, la existencia de un estuario es un hecho accidental, apenas sensible. Las diversas fuerzas que están en juego á lo largo del litoral no pueden, pues, ser muy influenciadas por accidentes de un orden tan secundario; obran casi como si no existiesen y por consiguiente el mar tiende á conservar su régimen natural.

Si el río es pequeño, la obstrucción de la desembocadura por los aluviones marinos es completa, ó poco menos, como se ve á menu-

do en Llico. Si el río es importante, el agua dulce conserva su dominio, que puede aun sobreponerse al del mar, rechazando la barrera. En este caso, como la corriente es más violenta en el medio del río que en las orillas, la parte central es la más alejada, de donde proviene la forma de herradura que se nota entonces.

Ademas, el agua vertida por el río, incrementada durante el reflujo por el volumen de agua salada que se introduce con el flujo, ó por lo menos por la reserva que se produce por la elevación del nivel del mar, tiende á abrirse paso á través de la faja facticia de la ribera, de lo que resulta que la barra no puede elevarse sobre una cierta altura y se coloca generalmente en el punto donde el fondo tendría naturalmente este nivel.

Cuando sobreviene una avenida es forzoso que pase el excedente de agua; si los lados no ceden y si el fondo es blando, la barra desaparece ya en parte (caso general), ya en totalidad (caso de Constitución).

El mínimo de agua que se halla sobre las barras es de una constancia singular. Varía en casi todas las barras conocidas de 1,50 *m* á 3,50 *m*. Esto parece extraño sólo á primera vista. En efecto, el gasto de un río y el ancho de su embocadura son muy á menudo función uno de otro. Si los estuarios son muy anchos para la cantidad de agua que en ellos desemboca, se llenan irregularmente. Si son algo proporcionados á este gasto, el efecto producido debe quedar uniforme.

Conclusiones.—Hay, pues, que deducir de este estudio que la barra formada por las olas con arena del mar se mantiene á un nivel constante bajo las bajas mares en las condiciones ordinarias del Maule, y que desaparece cuando el gasto aumenta. Esta es la base esencial, absoluta, de todo proyecto de mejora de la entrada del río Maule.

Procedimientos empleados en el estudio

Las conclusiones precedentes resultan sobre todo de la observación de los movimientos de las curvas de nivel. Me parece interesante indicar cómo se ha hecho. No era muy exacto, ni muy expedito, ni cómodo tomar sondajes fijados con teodolito. Se ha establecido en el litoral dobles hileras de jalones, y los sondajes

se hacían en la intersección de sus alineamientos. Se estaba, pues, seguro de ejecutarlos siempre en los mismos puntos, lo que da una gran garantía de exactitud.

Playa de Quivolgo

La barra no es el único elemento que debe tenerse en cuenta en la apreciación de los fenómenos que pasan en la desembocadura del Maule. Otro muy importante es la punta de Quivolgo, que en tiempo ordinario cierra más de los dos tercios de la distancia que separa las orillas del río.

Hemos dicho que donde los aluviones marchan á lo largo de una costa, en un sentido determinado, rechazan delante de sí la desembocadura de los ríos.

Sólo que, nótese bien, si el transporte de las arenas á lo largo del litoral de Quivolgo, se debiese ya á la corriente costanera, ya á las olas, en el estado ordinario de formación completa del crochet, estos aluviones deberían ser rechazados al Norte; la punta de Quivolgo existiría en la orilla izquierda, llamándose Punta de las Ventanas.

¿Cómo se explica esta anomalía?

El señor Haupt atribuye casos análogos á la corriente de flujo, y puede ser que tenga razón en los lugares estudiados por él y de los cuales es imposible formarse una idea completa por la ausencia de estudios personales. Pero con seguridad en el Maule, la influencia de esta fuerza no puede admitirse. En primer lugar, la corriente de flujo es aquí muy poco sensible y es difícil asegurar la constancia de su dirección. En segundo lugar, cuando las avenidas disminuyen, se ve depositarse á menudo en la desembocadura sobre la orilla derecha, bancos de cascajos, que desaparecen algunos días después por la influencia de las fuerzas marinas solas. Ahora bien, no hay duda alguna á este respecto, el cascajo no marcha jamás arrastrado por las corrientes del mar; se necesita para conducirlo ó la violencia de las avenidas fluviales ó el choque irresistible de las olas. Son, pues, estas últimas las que obran sobre los bancos de que se trata, y su intervención soberana muestra que son también ellas las que deben determinar la creación del crochet de Quivolgo.

¿Cómo? Consideremos la figura 1 de la lámina X que contiene el plano de la desembocadura del Maule, después de una avenida. Se ve que la dirección de las olas llega á la orilla derecha bajo un ángulo obtuso. Sigamos el efecto de una ola que choca contra la orilla en A; al retirarse conducirá á B una parte de la arena que ha removido en A. La ola siguiente llevará esta arena de B á C, volverá á D y así de seguida. Ahora bien, la ola que llega es más fuerte que la que se retira; de aquí resultan dos consecuencias:

1.ª Que una parte de la arena se depositará en los puntos A, C, E... y que sólo el excedente irá á los puntos B, D, F... de donde será desalojada por la ola siguiente;

2.ª Que las distancias A B, C D, E F... serán más cortas que las B C, D E... y que por consiguiente la línea A C E... se inclinará hacia aguas arriba del río. Así se explicaría el nacimiento del crochet de Quivolgo, cuya forma definitiva, por lo demás, no depende sólo de los movimientos precedentes sino también de la violencia mayor ó menor de las olas, según los días, de la variación de su dirección con los vientos, de los cambios de equilibrio producidos por las tempestades del Norte, de las corrientes de flujo y de reflujo, etc. Pero la tendencia general es predominante.

Esta explicación, que resulta sólo del estudio de los planos merecía ser confirmada. Se le puede obtener fácilmente cuando el crochet de Quivolgo está formado por completo.

Si se arroja al mar, frente á esta playa y á una cierta distancia de la orilla un flotador X (lámina X figura 1) se le ve avanzar primero hacia X', en seguida volver á Z. ¿Por qué?

Porque mientras el flotador está bastante lejos de la tierra, experimenta sólo el efecto de la corriente litoral que lo transporta de X á X'; pero la reventazón de las olas lo aproxima poco á poco á la orilla; y concluye por encontrarse en su zona de acción transportadora, donde su fuerza es superior á la de la corriente litoral. Desde entonces se ve al flotador nadar de la derecha á la izquierda del observador en ziszás, á veces subiendo y bajando á lo largo de la playa y terminando por ganar terreno.

Pequeños guijarros blancos, en esta segunda faz de la observación indican el mismo efecto; algunos se pierden internándose, pero siempre algunos llegan al fin.

El mecanismo de la formación de la playa de Quivolgo, se explica, pues, fácilmente: es la arena de la orilla derecha la que bajo la

influencia de las olas es conducida hasta el medio de la desembocadura.

Efecto de las avenidas

El Maule experimenta á veces avenidas considerables que, como se ha dicho ya, arrastran más cascajo que arena; por lo menos ésta se va al mar mientras que el primero queda en la desembocadura durante algún tiempo. Estas avenidas además se llevan la barra y el crochet de Quivolgo. Los materiales de estos obstáculos arrastrados principalmente por los filetes líquidos del medio del río, cuya velocidad es la mayor, van á depositarse en el mar, formando un banco que indica netamente el plano de la lámina VII.

La avenida, al abrirse paso, rechaza perpendicularmente á la ribera las arenas acumuladas delante de la embocadura y este efecto se nota muy bien por la dirección de las curvas de nivel en el plano de la lámina VII. Entre el banco y las playas submarinas creadas así, se establecen dos canales, uno de los cuales se dirige al Norte y el otro al Sur.

Pero este estado de cosas dura sólo mientras el mar queda tranquilo; desde que las olas se hacen un poco fuertes, rechazan hacia la ribera las arenas del banco exterior, que vuelven á tomar su lugar y á aumentar la barra. El banco desaparece, pues, poco á poco y las curvas de nivel se inclinan más y más hasta tornar á su posición paralela á la ribera, como se ve en el plano del señor Lévêque (lámina XII).

Este plano indica, pues bien, como ya lo he dicho, el régimen definitivo de la playa.

Hagamos notar que la mayor parte de la arena que se mueve así, es siempre la misma. Los nuevos materiales son poco considerables; lo que se explica con facilidad, puesto que sólo provienen de la descomposición de las rocas litorales vecinas. Las dunas y la playa inmensa de arena que se encuentran al Norte de Quivolgo son la obra de los siglos; cada año sólo les trae un contingente muy reducido, y la conquista de la tierra por los aluviones del mar se hace muy lentamente.

Mejora de la entrada

Corte de la Poza.—En el plano de la desembocadura del Maule, plano Lévêque, se ve que en el punto llamado la Poza, justamente al frente de la extremidad de la punta de Quivolgo, se hallan curvas de nivel muy próximas y que indican hasta la cota —15 metros. Esta disposición se mantiene ya largos años.

Estas curvas de nivel se extienden aguas arriba y aguas abajo, figurando un platillo largo, oval y profundo.

Este no es un fenómeno accidental; se reproduce siempre que se estrecha bruscamente la salida de un estuario arenisco, con tal que no se opongan condiciones particulares al socavamiento. Por esto un sabio ingeniero, observando un fenómeno semejante en varias localidades, había concluido que existía una ley, que formulaba de este modo:

«Siempre que una bahía, cuyo fondo sea blando, esté separada por una gola de un mar que experimenta mareas, se produce en la gola, bajo la acción de las corrientes alternativas de marea, una cavidad profunda que se extiende hacia aguas arriba y aguas abajo, de tal manera que las profundidades se hallan formando canales que se prolongan hasta grandes distancias á ambos lados de la gola.

«Siempre que una corriente de agua desemboca en la bahía, aumentándose la acción de las corrientes de vaciante, el efecto indicado se produce con mayor intensidad.»

Consignada en estos términos, la *ley* es demasiado absoluta; condiciones particulares pueden modificar los resultados. Si se verifica en la bahía de Carlingford, en el Foyle en Irlanda, etc., no es verdadera en un buen número de estuarios, y es necesario un estudio para cada caso particular antes de concluir.

En Constitución se ve al mismo tiempo verificarse la ley y, sin embargo, no dar ningún resultado práctico. La excavación se produce por la gola que determina la punta de Quivolgo y aun en proporciones considerables; pero, á pesar de que se extiende hacia aguas abajo, no se continúa bastante lejos para impedir que se forme la barra.

¿Por qué? Porque probablemente el modo de formación de la punta de Quivolgo la hace entrar demasiado en el estuario del Maule. Cuando el agua sale de la gola, donde tiene su velocidad

máxima, obra aún durante algún tiempo sobre el fondo blando; pero se desvía pronto encontrando el mar libre delante de sí y pierde su fuerza. Cuando llega á la profundidad de 2 y 3 metros, no tiene bastante velocidad para atacar la arena, y todo el beneficio obtenido por la contracción del estuario se pierde.

Si, al contrario, como en Carlingford, en el Foyle, en el Gironda, se llegase á mayores profundidades, pudiéndose remover la playa de Quivolgo y transportándola más á alta mar, no hay duda alguna que la excavación se produciría del mismo modo; pero entonces se continuaría hacia aguas abajo bastante lejos para que la entrada conservara una gran profundidad.

Curvatura de la orilla.—Examinemos más profundamente los fenómenos que pasan en la desembocadura del Maule; porque sólo se puede esperar el éxito en los trabajos marítimos ayudando á la naturaleza.

La orilla izquierda, desde la Poza hasta frente á la piedra de las Ventanas, constituye una curva que vuelve su concavidad hacia el medio del rio. Contra esta cara curvilínea se mantienen las curvas de nivel profundo tanto tiempo cuanto las circunstancias exteriores no modifican el régimen especial debido á esta disposición. (Plano Lévêque).

Esto también es enteramente normal.

Los ingenieros del Sena Marítimo han reconocido que, en los estuarios como en los ríos, las grandes profundidades se mantienen junto á las orillas cóncavas con la condición de que las corrientes de flujo y reflujo sigan el mismo camino, el cual es el caso del Maule.

Conclusiones.—Se puede, pues, concluir:

1.° Que reproduciendo más á alta mar, con el mismo ancho, la gola formada por la punta de Quivolgo, se determinará en este punto las excavaciones que actualmente se producen frente á esta punta;

2.° Que para dar á la entrada del Maule la profundidad mínima de 8 metros, es necesario transportar esta gola cerca de la curva natural de esta cota;

3.° Que dándole á la orilla izquierda del nuevo canal la forma cóncava, las grandes profundidades se colocarán junto á esta orilla.

El plano Lévêque indica que la corriente de vaciante tiene una gran tendencia para abrir un canal en la dirección de la orilla cón-

cava, pues se ve que según la línea $\alpha\ \beta\ \gamma\ldots$ las curvas de nivel de 5, 6, 7...metros, se doblan entrando en la embocadura. Esta es, pues, una indicación trazada de antemano del canal que hay que proyectar.

Realización de la entrada

Molo Suroeste.--Es claro que, primeramente, es necesario establecer un molo suroeste que continúe la curva natural cóncava de la orilla izquierda. Ya que la gola debe colocarse más afuera que la barra, este molo deberá cerrar completamente la abertura que hay entre las piedras de las Ventanas y de los Lobos.

¿Podrá terminar ahí? Nó. Al pie de la piedra de los Lobos hay sólo 3 metros de agua. La excavación, como lo hemos visto, no se continuaría bastante lejos de esta cota para llegar á los fondos de 8 metros.

Esto no es todo. La arena que forma la barra y que pasa de la orilla izquierda á la orilla derecha viene de la Caleta. Ahora bien, si esta bahía ha llegado hoy á un régimen más ó menos estable, ya aumentando, ya disminuyendo, este régimen cambiaría si se modificase los contornos de la bahía, y esto sucedería al cerrar el espacio que separa las dos piedras.

La ola, oblicua á la costa, tenderá á allegar la arena contra la punta formada por el molo; y es más que probable que este amontonamiento llegará hasta la extremidad de la piedra de los Lobos. Este relleno se hará tal vez en un lapso de tiempo bastante corto, pues las profundidades serán pequeñas; y tan pronto como se haya efectuado es de temer que la arena salve el cabezo del molo.

Es verdad que, habiéndose llevado la gola más á alta mar que en la situación actual, la corriente de vaciante, más fuerte que la de creciente, impediría que la arena se depositase delante de la entrada del puerto; pero se depositaría algo más lejos formando una barra.

Las condiciones cambiarían completamente si el molo llegase á profundidades próximas á 8 metros. Primeramente la Caleta se demoraría mayor tiempo en llenarse, además, si la arena concluye por llegar al cabezo y lo rebaza, yendo bajo la impulsión de la corriente de vaciante, á depositarse en fondos de 10 á 12 metros, necesitaría un período de tiempo mucho más largo para llenarlos.

Por fin, cualquiera que sea la intensidad de la corriente litoral, es positivo que la prolongación del molo hacia el mar la aumentará y que, en consecuencia, tendrá influjo frente á frente de la embocadura. Este es un hecho que se observa constantemente, que ha tenido una acción notable sobre el régimen del puerto de Ymuiden y que se ha constatado directamente en Chile, en esta corriente, «cuya intensidad crece al salvar las puntillas y farallones» (*An. Hid.* III, 121). Por consiguiente la fuerza que transporta las arenas hacia el Norte sería aumentada.

Necesidad de un segundo molo.—Debiendo atracarse la corriente de vaciante junto á la curva cóncava formada por el molo Suroeste ¿hay necesidad de construir un segundo molo?

En el puerto de Bilbao, el ingeniero señor E. de Churruca sólo ha establecido un molo en la ribera izquierda, en prolongación de la antigua escollera de Portugalete y, como lo había previsto, las arenas de la ribera derecha, provenientes de la Playa de las Arenas, contenidas por la corriente del Nervión, se han alineado paralelamente al molo, á continuación de la ribera derecha del estuario y han formado así por sí mismas el molo de esta orilla.

Algo semejante es lo que sucede en Constitución, bajo otra forma: es la naturaleza la que se encarga de formar la punta de Quivolgo, y de determinar la gola de la desembocadura. Si no se tuviera que temer las avenidas del Maule, este efecto se produciría igualmente en el nuevo régimen establecido por la construcción del molo Suroeste. Las arenas de la playa de Quivolgo avanzarían por sí mismas hacia el mar y formarían la gola mucho más lejos.

Pero en un estuario ancho, como el del Maule, con las enormes creces semejantes á la famosa avenida de 1877, que lo barren todo, se debe temer que el canal en estas convulsiones, cambie de situación y sea rechazado hacia el Norte. Con seguridad volvería más tarde á tomar su antiguo lecho; pero, ¿al cabo de cuánto tiempo? Un puerto no puede quedar sometido á semejantes vicisitudes. Se impone, pues, un segundo molo al Noreste.

Ancho de la entrada.—La limpia efectuada en el lecho con la vaciante se compone de dos cantidades: 1.ª el gasto propio del río; 2.ª la cantidad vertida durante el flujo y que es retenida por el muro constituido por la marea creciente.

En los ríos de pequeño caudal y de grandes mareas, como son la mayor parte de los de Europa, á estos dos elementos se une un

tercero: la cantidad de agua de mar que se introduce durante el flujo y se escurre con el reflujo. Por esto en todo proyecto de mejora de un estuario hay que tomar grandes precauciones para no impedir la introducción de la marea por la estrechez de la entrada; también se debe tratar de no disminuir la hoya de recepción del agua salada, para conservar toda su potencia á la corriente.

Pero en el Maule nada se tiene que temer de la estrechez de la entrada, puesto que el mar no penetra en el río; basta no molestar el movimiento de los buques.

Si la entrada es bastante estrecha para que se pueda esperar que tome en todo su ancho una profundidad uniforme, la velocidad no experimentará las grandes variaciones que le comunica hoy la forma caprichosa del lecho.

Además, una velocidad media de un metro (dos nudos) no impedirá la entrada á los buques y será suficiente para asegurar la limpia. Para un gasto de 1 200 m^3 se tendría, llamando S la sección del canal,

$$1\ 200 = S \times 1\ m$$

de donde $S = 1\ 200\ m^2$

siendo L el ancho y la profundidad de 8 metros

$$S = L \times 8\ m$$

de donde L = 150 metros.

Este es el ancho que debe tener el canal; es menor que el que resulta de la formación natural de la punta de Quivolgo; de donde resultará una limpia más enérgica y una profundidad más segura.

Como la medida del caudal del río sólo se ha hecho en una estación, después de un invierno muy lluvioso, puede muy bien suceder que la cifra de 1200 m^3 experimente variaciones que influirían sobre el ancho, encontrado así; no se da éste, pues, de una manera absoluta. Durante la ejecución de los trabajos preparatorios y, sobre todo, después de la del molo Suroeste, el ingeniero encargado de la construcción del puerto podría darse cuenta con pleno conocimiento de causa de la verdadera dimensión que ha-

bría que dar á la entrada. Con un poco de perspicacia dirigiría la ejecución del molo Noreste de modo que se obtenga el efecto deseado; lo que no hay que olvidar es que el ancho es función del caudal en aguas bajas para asegurar la limpia.

Cuando el volumen acarreado sea más considerable, se tendrá una corriente un poco más rápida; pero basta recordar que entre Liverpool y Birkenhead, la velocidad alcanza á 4 nudos, para ver que el inconveniente no sería muy grande, aun con una entrada que sólo tuviese 150 metros.

No se podría, por otra parte, encontrar que el estrechamiento es muy grande; en el Havre, por ejemplo, la entrada sólo tiene 100 metros; además, este ancho continúa el mismo en un canal rectilíneo, mientras que sólo se presentará en el Maule en una pequeña longitud, como vamos á ver.

Forma del molo Noreste.—Se recordará que antes de 1827 la corriente del Maule, después de chocar contra la punta de la Grada, se dirigía á la embocadura, según una curva que terminaba en la piedra de los Lobos. Si esta dirección existiese aún, el agua se apoyaría contra el molo Suroeste proyectado y determinaría con más seguridad la excavación que existía entonces.

Esta disposición puede obtenerse artificialmente y todo el volumen escurrido puede guiarse con seguridad dando al molo Noreste la forma representada en la lámina XIII.

La corriente del río será arrojada contra el molo Suroeste; no habrá hesitación ni de parte del flujo ni del reflujo para seguir el mismo camino; y no habrá que temer divagaciones cuyo resultado sería la creación de canales secundarios. La acción sobre el fondo será completa y las profundidades del canal se conservarán.

Contra esta disposición sólo se puede hacer una objeción: el molo presenta su intradós á la ola. Pero, por una parte, el modo como se construirá lo pondrá en estado de resistir al choque; por otra parte, es claro que la ribera Norte vendrá á apoyarse contra el muro, como lo indica el plano, y le servirá de protección natural.

Efecto del molo noreste.—Para terminar con lo referente á este molo, notemos que cuando la playa Norte haya tomado la situación que se acaba de decir, las olas de dirección general chocarán contra ella según una dirección oblicua del tercer cuadrante hacia el

primero y que, por consiguiente, la arena ya no será conducida de Norte á Sur.

Como se ve en el plano, este molo no penetra tanto en el mar como el otro. Lo proyecto de tal modo que una tangente en el cabezo del molo Suroeste, paralela á la dirección de las olas, deje al interior el cabezo del molo Noreste. Entonces, de las fuerzas habitualmente en juego, acción de las olas y corriente costanera, ninguna tiende á hacer entrar las arenas. No sucederá lo mismo cuando las olas vengan del Norte durante las tempestades; pero los pocos sedimentos introducidos así serán rechazados por las fuerzas ordinarias

He figurado en el plano las curvas hipotéticas de nivel que se establecerán en la entrada, á semejanza de lo que pasa en la actuaidad si n acotar por lo demás estas curvas, lo que sería temerario.

Mantenimiento del nuevo régimen.—El nuevo régimen creado por el establecimiento de los molos ¿puede ser modificado por los aluviones del río? Notemos que nada se cambia más arriba de la Poza. Luego, si la parte de aguas arriba debiera embancarse, lo sería tanto hoy como en el porvenir, lo que no se produce. En cuanto á la parte de aguas abajo, como la corriente será ahí más rápida que hoy, hay aún menos probabilidades de embancamiento.

Sistema de ejecución

Molo suroeste.—Para constituir el muro de abrigo Suroeste hay que considerar dos partes: la primera se extiende desde la Poza hasta el frente de la extremidad de la piedra de las Ventanas; la segunda va de esta piedra al cabezo. El conjunto presenta una curvatura cóncava general que forma un arco de círculo de cerca de 1 500 metros de radio.

La primera parte, construida al abrigo del cerro Mutrún y de la roca de las Ventanas, es un simple malecón de enrocados (lámina XIV, figura 5) de 1 y medio de base por 1 de altura, que se eleva hasta un metro sobre el nivel de aguas altas. Se rellenará detrás con piedras.

La segunda parte se compondrá, después del establecimiento de un substratum de piedras naturales, destinadas á consolidar el terreno por su hundimiento en la arena, de bloques artificiales (lá-

mina XIV, figuras 1 y 2). Como contra este muro se producirá el socavamiento, su base será minada. Para evitar su derrumbe, se establecerá en el lado del canal un revestimiento de piedras naturales; á medida que tenga lugar la excavación estos enrocados se derrumbarán protegiendo la base de los bloques (figuras 3 y 4, lámina XIV).

Estos se arrojarán *al acaso* al mar; de esta manera si algunos son volteados, el mal será fácilmente reparable.

Tal vez se podrá hacer una economía en la construcción de este molo, cerrando primero al Sur los intervalos comprendidos entre la piedra de las Ventanas y la Gaviota por una parte, y la Gaviota y la piedra de los Lobos por otra, por medio de fuertes enrocados y bloques al interior, que pronto serían apoyados por un depósito de arena. Entonces el malecón de piedras naturales podría continuarse hasta la piedra de los Lobos. Más allá se emplearán los bloques artificiales.

Molo noreste.— Este molo sólo se construirá después del otro; será establecido, pues, en una área relativamente protegida. Como se ve en el plano, no parte de la playa actual, pero se arraiga en tierra firme en las partes resistentes de la orilla derecha. De otro modo la corriente podría pasar por detrás y abrirse una salida al Norte á través de la playa de Quivolgo. Es lo que ha pasado en el estuario de Manasquan, en los Estados Unidos, por ejemplo, donde han quedado inútiles trabajos considerables.

La porción comprendida entre la tierra firme y la playa no tiene que temer del mar, y podría construirse económicamente con enrocados naturales. Desde la playa al cabezo, se emplearían los bloques artificiales, según el mismo sistema que en el otro molo. Puesto que el socavamiento apenas se producirá á este lado, no hay que prever protección interior de piedras,

Durante las avenidas, si este molo cerrase completamente la embocadura, la ciudad de Constitución podría ser inundada; por esto hay que colocar los bloques sólo hasta el nivel de alta mar, en una parte de la longitud del muro. La extremidad (50 metros) estará más elevada, tanto para sostener tal vez un sistema de alumbrado, como para ser visible con facilidad y no constituir un escollo. Toda el agua que se escurre en tiempo ordinario durante las altas mares de zizigias pasará, en las creces, por la sección de en-

trada. El exceso encontrará salida por la parte sumergible del molo, sin que la ciudad tenga que sufrir.

La arena de la playa de Quivolgo vendrá á apoyarse contra el exterior del muro; pero el agua de las creces, que pasará por la cresta como por una vertedera, podrá remover esta arena y arrastrarla. Si se reconoce que es necesario, se deberá proteger el pie de los bloques, del lado del mar, con enrocados.

Puerto interior

El Maule presenta en su parte marítima profundidades suficientes para recibir los buques que lo frecuentan; pero es necesario excavar una dársena para la admisión de naves de mayor tonelaje. Entre la Isla y la ciudad existe un canal de cerca de 125 metros de ancho. Cerrado en su extremo superior por medio de un dique y dragado hasta la profundidad de 8 metros, constituiría una dársena muy cómoda y al abrigo de las avenidas.

Para llegar á élla habrá que dragar también, hasta 8 metros, un canal de 100 metros de ancho. Como el socavamiento del canal se hará naturalmente desde la Poza hasta el mar, sólo habrá que dragar hacia aguas arriba.

Nada preveo para las instalaciones interiores, que se modelarán sobre el desarrollo ulterior del puerto. Los terrenos que circundan el brazo de la Isla, siendo todos de propiedad particular, es inútil reservar el porvenir sobre este punto.

Luces de puerto

No siendo accesible el molo de la orilla derecha, no se establecerá una luz que sea necesario visitar cada día. Se podrá instalar ahí lámparas Pintsch, que pueden alumbrar largo tiempo sin la intervención del hombre; también se podrá construir sobre el cabezo valizas reflectoras sobre las que se proyectará la luz de lámparas eléctricas instaladas en tierra.

Aparatos

La primera porción del molo Suroeste, compuesta de enrocados, se hará según los medios ordinarios de mover las tierras. Para los bloques artificiales se empleará grúas.

La primera porción del molo Noreste se construirá como la del otro muro. Para el resto, como se estará dentro de una superficie abrigada, el mejor sistema para los bloques, que no deben pasar del nivel del agua, consiste en emplear una grúa flotante, análoga á la que ha usado el señor Bindon Stoney en Dublín.

Daré al final de este informe el presupuesto del establecimiento del puerto de Constitución.

CAPÍTULO III

LA BAHÍA DE CORRAL Y EL RÍO VALDIVIA

Las dos provincias del Sur de la República, Valdivia y Llanquihue, una parte de cuyo territorio no ha sido explorado aún, están llamadas á un brillante porvenir, fácil de presagiar por los progresos que se han efectuado en los últimos cuarenta años. Entre las fuentes de riqueza con que la naturaleza las dotó, hay que considerar en primera línea los grandes lagos y las numerosas corrientes de agua que las surcan. Á este Informe acompaño una carta hidrográfica de estas provincias, ejecutada en vista de los documentos ya publicados, y de los que aún se hallan inéditos en los archivos de la *Oficina Hidrográfica* (lám. XV).

En dicha carta se ve que los lagos conocidos ocupan una superficie de 2000 kilómetros cuadrados, ó sea la vigésima parte del área de estas dos provincias, y que esta comarca se haya regada por numerosos ríos, algunos de los cuales ponen en comunicación á cierto número de lagos. Se ha inscripto las alturas, sobre el nivel del mar, que se atribuye á estas vastas extensiones de agua. Estos documentos deben revisarse y completarse. La aludida carta servirá más bien de base á estudios ulteriores (*).

Entre los ríos que cruzan esta región hay tres que ofrecen mucho interés: los ríos *Valdivia*, *Bueno* y *Maullín*. Este capítulo está consagrado al estudio del primero, á orilla del cual está fundada la ciudad que lleva el mismo nombre, y cuya importancia crece cada dia.

(*) La *Oficina Hidrográfica* publicó en 1882 un «Cuestionario relativo á los rios de la República», muy completo y perfectamente concebido en vista de los estudios técnicos. Seria de desear que este Cuestionario recibiese respuestas para los rios principales.

El río Valdivia

El río Valdivia nace del lago Reñihue, situado á los 39° 50' de latitud Sur y cuya superficie es de 50 kilómetros cuadrados. Su altura es de 132 metros. Este lago recibe las aguas de varios otros poco estudiados aún. Al salir del lago Reñihue el río toma el nombre de río *Grande de San Pedro*, nombre que pierde en la confluencia con el río *Quinchilca*, para tomar el de *Callecalle*, que conserva hasta la ciudad de Valdivia.

Poco más abajo de esta ciudad recibe el río *Cruces*, el principal de sus afluentes, navegable en una gran parte de su trayecto; después se divide en dos brazos: uno el río *Corto* ó río *Valdivia* propiamente dicho, se dirige casi directamente al mar; mientras que el otro, el *Torna Galeones*, formado á su turno por la reunión de dos brazos, los de *Guacamayo* y de la *Cantera*, hace una larga vuelta antes de llegar, casi en el mismo punto que el primero, á la bahía de Corral.

El río Valdivia tiene cerca de 17 kilómetros de largo y el Torna Galeones tiene, más ó menos, 32, desde Valdivia hasta el mar.

Las coordenadas geográficas de Valdivia son, según Pissis:

Latitud Sur: 39° 48' 34".

Longitud Oeste de Greenwich: 75° 36' 53".

Planos.—Existen varios planos de la bahía de Corral y del río Valdivia. El del almirante Fitz-Roy (1835) es muy interesante; pero científicamente, sólo se puede tener confianza en el que ha sido hecho por los oficiales de la Marina chilena y publicado en 1870. Los planos que la Comisión actual publica se asemejan tanto al precedente, que se puede decir que sólo tienen diferencias de detalles. La comparación del estado actual del río con el que se consigna en la carta de los oficiales chilenos ha influido mucho en las determinaciones que se ha tomado para los proyectos de mejora del río y de la bahía.

Régimen de las aguas.—Aguas arriba de Valdivia, el Callecalle, que pasa por varios lagos, deposita en ellos la mayor parte de los sedimentos que arranca de los contrafuertes de los Andes. Por esto sus aguas son claras y abandonan pocos depósitos en el fondo de aguas abajo. Pero vuelven á enturbiarse en los bancos de arena y cascajo que se hallan en su lecho y que en todo caso constituyen

las orillas entre las cuales se escurren. Estas materias nuevas se componen casi exclusivamente de arena bastante pura, que proviene de la destrucción de los materiales precedentes.

Como en toda esta parte superior el Callecalle tiene poco ancho, la corriente es muy fuerte y los depósitos son raros. La arena arrastrada pasa, pues, en su mayor parte, la ciudad de Valdivia y sólo se detiene más abajo.

¿Cómo camina esta arena?

Las aguas del Callecalle quedan relativamente claras aún durante las creces medias, y sólo se enturbian durante las avenidas excepcionales, las cuales no son por lo general muy fuertes. He filtrado cantidades considerables de agua, durante las grandes lluvias que elevaron el nivel del río en Febrero de este año (1892) y sólo he obtenido muy pocos residuos. El motivo es porque la arena camina, casi toda, rodando por el fondo.

Uno se puede convencer de esto observando el fondo del lecho, y el brazo del Islote es muy favorable para este examen. El lecho se compone de redanes sucesivos, con una contrapendiente muy suave *de aguas abajo hacia aguas arriba*, que termina en un brusco talud hacia aguas abajo. Es una especie de ancha escalera con peldaños redondos inclinados hacia la contrahuella superior (lám. XIX, figs. 4 y 5).

Es fácil darse cuenta de la formación de estas gradas: es enteramente análoga á la de las dunas bajo la influencia del viento. Supongamos que el río arrastre materiales sobre un fondo plano y unido, y que por una razón cualquiera, como el encuentro de un guijarro, una rama, etc., una parte de la arena se detenga y forme un montón pequeño. Otros materiales provenientes de la parte superior aumentarán el montón que se extenderá aguas arriba, según un talud alargado. Cuando el ángulo de este talud llega á ser muy pequeño, los materiales no se detienen ya, ruedan sobre el talud para caer aguas abajo, donde, protegidos de la corriente, se detienen. La grada se forma así poco á poco, y siendo arrastrada la arena sobre todo por las venas líquidas del medio del río, cuya velocidad es máxima, la huella toma la forma convexa hacia aguas abajo.

Pero del mismo modo que si lloviese arena sobre las dunas sus cavidades se llenarían, así también si el río depositase verticalmente arena mantenida en suspensión, los diversos peldaños se reuni-

rían bien pronto. Luego la forma que se acaba de describir sólo debe hallarse en los ríos de aguas claras.

Más abajo de la confluencia con el río Cruces ya no se observan estos peldaños; esto por cuanto este río, cuyos sedimentos son semejantes á los del Callecalle, es más turbio, los tiene en suspensión. Cuando se depositan en bancos, éstos afectan una forma unida; son muy numerosos á partir de la isla de San Francisco.

Existen en el Callecalle, más arriba de Arique, barrancos ú orillas á pique, cuyo derrumbe es continuo y preocupa á muchos habitantes de Valdivia por el porvenir de su río. En realidad, esto no es un gran peligro. Primeramente el cubo que cae cada año es menos importante de lo que se figuran; el menor cálculo basta para probarlo. Además, estos barrancos se componen de arcilla que se reduce á partículas muy tenues que no se vuelven á encontrar en los bancos; son arrastradas por la corriente hasta la bahía de Corral y de ahí al mar.

Más peligrosos son los residuos que se arrojan al río de las fábricas establecidas á lo largo de las orillas y principalmente de las curtidurías. Por cierto, la mayor parte de dichos residuos es igualmente transportada hasta el Océano, pero si quedan fragmentos aprisionados en la arena, le dan una consistencia que la hace más difícil de llevar. Es urgente tomar medidas de policía fluvial á este respecto.

En resumen, los depósitos que se encuentran en el río resultan de la acumulación llevada á cabo durante numerosos siglos; su volumen aumenta poco; no pueden, pues, constituir un obstáculo para la mejora del río.

Propiedades físicas del agua.—Aunque la marea se siente hasta en Antilhue, entra muy poca agua de mar en el río Valdivia. Algunas muestras tomadas con cortos intervalos durante los últimos momentos de una marea creciente, me han dado los siguientes pesos para un litro á + 4° centígrados:

En Valdivia.....	1001
En la punta inferior de la isla Mota.....	1002,60
Frente á Cutipay.....	1005,20
En la entrada de la embocadura.....	1011,10
En el centro de la bahía de Corral.....	1011,60

Es necesario hacer notar que aun esta última cifra es muy débil en comparación con los pesos medios de las aguas del Pacífico que he encontrado ser próximos á 1030. En efecto, por muy abierta que sea la bahía de Corral, sus aguas son poco salobres. En invierno pueden beberse.

La temperatura del agua del río Valdivia, en verano, varía de 16° á 20° C. En la bahía de Corral se encuentran temperaturas diferentes, á menudo á cortas distancias, lo que indica la existencia de corrientes.

La bahía de Corral

La bahía de Corral que se abre entre la punta Juan Latorre por el Norte y el morro Gonzalo por el Sur, está expuesta al Noroeste, en una longitud de cerca de 4 ½ kilómetros y se interna casi de Norte á Sur en más de 11 kilómetros. La primera parte, donde hay grandes profundidades, está completamente desabrigada contra los vientos del Norte y del Noroeste y en parte contra los del Oeste.

La bahía se va estrechando hasta las puntas Niebla y Amargos, entre las que sólo hay cerca de 1800 metros. Detrás de la punta Niebla es donde está la desembocadura del río Valdivia. El fondeadero de Corral está al frente, en fondos de 10 á 12 metros. Más allá se interna la ensenada de San Juan, embancada por las arenas. En el medio de la bahía existe la isla Mancera y entre ella y Corral se halla el banco de las Tres Hermanas.

Vientos

Se practican observaciones meteorológicas desde hace largos años en Valdivia y en el faro de Niebla.

Corral.—De las observaciones de Niebla durante 1870 á 1875 resulta que para el año los vientos se reparten, más ó menos, del modo siguiente:

N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	Calma
49	18	81	16	19	16	63	76	27

La figura 6 de la lámina XIX indica la rosa obtenida con los datos precedentes. Es notable; se ve que los vientos dominantes

son justamente los que pueden engolfarse en el embudo de la bahía. Queda por saber si no es ésta y las alturas que la rodean las que desvían hacia la entrada las corrientes aéreas.

La figura 7 de la misma lámina muestra la resultante del polígono de los vectores. Representa un viento único de 79 días de duración. El ángulo de dirección tomado en la figura es de 16°30' con el Sur, lo que da el SSE $\frac{1}{2}$ S.

La fórmula de Lambert da 17°45' con el Sur, resultado bastante cercano al anterior.

El conjunto de los vientos observados en el faro de Niebla durante el período indicado podría, pues, reemplazarse por uno solo del NNO $\frac{1}{2}$ N que soplase durante 79 días. Los vientos de esta dirección son, por lo demás, los más temibles, pues en las frecuentes tempestades de invierno el máximum de intensidad proviene de los del NO.

Los resultados anteriores concuerdan con los dados por el señor F. Vidal Gormaz (*An. Hidr.* V, 106); pero si se les compara con los del *Anuario de la Oficina Central Meteorológica* de 1886 y 1887, los dos últimos años que se han publicado por completo, se constatan grandes diferencias. Hé aquí el resumen anual:

N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	Calma
51	4	77	66	32	51	21	57	6

Los vientos del SE, S y SO han soplado casi continuamente; y la resultante final es un viento del SE $\frac{1}{4}$ E, que habría durado 33 días, y que hace un ángulo de 53° con el Norte; casi es la inversa de las otras observaciones. ¿Se trata de un fenómeno accidental, ó bien ha habido alguna modificación en las condiciones del observatorio de Niebla? No he podido saberlo.

Pero es probable que el primer resultado inscripto sea el más conforme con la realidad; concuerda con los de un gran número de años y también con los del observatorio de la Punta Galera, situado en la proximidad.

Valdivia.—Los vientos en Valdivia no ofrecen ya el mismo régimen de la costa. Las antiguas observaciones daban:

N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	Calma
41	14	1	74	35	56	31	66	47

La resultante hace un ángulo de 63° hacia el Este con el Norte, lo que corresponde á un viento del ENE $\frac{1}{2}$ N durante 65 días, más ó menos.

La fórmula de Lambert da $\varphi = 62°$.

Es interesante observar que las resultantes de Corral y de Valdivia son casi normales una á otra. Algunos observatorios escalonados á lo largo del río mostrarían la rotación de los vientos, influenciados por los accidentes del terreno. también, sin duda, por la napa de agua misma.

Como en Corral, las últimas observaciones de Valdivia no concuerdan con las primeras. La resultante que se deduce de ellas sopla del NO. Se puede presumir aquí que estas variaciones provienen del cambio de situación de los lugares donde se hacen las observaciones.

Mareas

La hora del establecimiento del puerto en Corral y en Valdivia se ha determinado con mucho cuidado durante los meses de Diciembre de 1891, Enero, Febrero y Marzo de 1892. Se ha hallado que es conforme con los resultados adquiridos anteriormente por los oficiales de la Marina, de X h 35 en Corral y XI h 35 en Valdivia, tomando por hora el medio del tiempo que transcurre durante la corta estoa de pleamar, lapso de 12 á 15 minutos (*).

Hay, pues, una diferencia de una hora entre las altas aguas máximas en los dos puertos.

Si la hora de la marea es sensiblemente constante en los días de zizigias, no sucede lo mismo los otros días. Igualmente en las alturas se presentan irregularidades muy grandes.

Es necesario notar primeramente que encima y debajo del nivel medio, la marea no oscila cantidades iguales; en otros términos,

(*) De siete observaciones, de Diciembre á Marzo, seis han sido regulares; pero el 12 de Marzo, cuatro observadores colocados en Corral, Carboneros, Cutipay y Valdivia han hallado que la pleamar se produjo á la hora del establecimiento de cada localidad, ó sea á las X h 35 en Corral y XI h 35 en Valdivia. Sin embargo, el plenilunio debía tener lugar el dia siguiente 13 á las 8 h 13 de la mañana. El 13 los observadores de Corral y Valdivia, han constatado la alta marea con el retardo que habria debido tener al dia siguiente de una zizigia. Existe una anomalia que me contento con señalar.

al punto más elevado no corresponde necesariamente el punto más bajo, lo cual quita toda simetría á las curvas que representan el fenómeno.

Por otra parte, la diferencia entre las alturas diurna y nocturna es muy marcada. Sólo que hay que entenderse sobre estos términos de día y noche; el día se cuenta desde las 8 h de la mañana más ó menos, hasta las 8 h de la tarde, y la noche desde las 8 h de la tarde hasta las 8 h de la mañana. Las mareas que tienen lugar en este último intervalo son las mayores; la diferencia llega á veces hasta 0,60 *m* en Corral y 0,50 *m* á 0,55 *m* en Valdivia.

La amplitud máxima observada en Valdivia ha sido de 1,34 *m*; pero la diferencia entre el punto más elevado de una marea y el punto más bajo de otra ha sido de 1,40 *m*.

La marea más pequeña sólo alcanzó á 0,36 *m*.

En Europa la marea máxima tiene lugar siempre 36 horas después del paso de la luna por el meridiano. Habría sido muy interesante constatar la relación exacta entre este paso y la llegada de la onda más fuerte á Corral y Valdivia, pues se sabe que el doctor Whewell designaba al Pacífico como zona generatriz de las ondas de marea. Pero á este respecto no hay ninguna regularidad; siendo el 27 de Febrero día de luna nueva, se tenía en Valdivia:

Marea diurna..... 0,73 *m*
» nocturna..... 1,19 »

y al día siguiente

Marea diurna..... 0,855 *m*
» nocturna..... 1,32 »

La marea máxima tenía lugar, pues, un día después de la zizigia (la del 29 fué menor).

El 12 de Marzo, víspera del plenilunio, se midió:

Marea diurna..... 0,74 *m*
» nocturna..... 1,11 »

y al día siguiente, día de la zizigia

Marea diurna..... 0,70 *m*
» nocturna..... 0,94 »

La marea máxima tuvo lugar, pues, la víspera de la zizigia.

A veces se presenta el día mismo del novilunio ó del plenilunio.

Las curvas dibujadas en la lámina XX muestran también que no hay ninguna regularidad en el aumento y la disminución progresiva de la marea con la edad de la luna, ó por lo menos que hay anomalías que no se encuentran en Europa. Parece, pues, difícil representar las altitudes por una fórmula y predecirlas para un día dado.

En Valdivia, como en todos los ríos, la vaciante es más larga que la creciente y en tesis general se puede decir que la marea sube durante 5 horas y baja durante 7. Pero mientras en los ríos europeos donde las mareas de día y de noche son iguales, la diferencia entre la duración del flujo y del reflujo es constante, no pasa lo mismo en Valdivia, donde, en consecuencia, la marea no abarca exactamente 12 h 25'.

Así, el 12 de Marzo de 1892 la marea de día ha durado sólo 11 h 45' divididos así: flujo 4 h 20',—reflujo 7 h 25'.

Es fácil darse cuenta de esta anomalía observando que siendo la marea de la noche más fuerte que la del día se eleva más rápidamente en el mismo tiempo. Cuando, el 12 de Marzo, la baja mar tuvo lugar en Valdivia á las 7 h de la tarde (mientras debía producirse á las 7 h 40) las aguas hacía media hora que subían en Corral y este movimiento de ascención detenía el escurrimiento de las aguas y las hacía intumescerse frente á Valdivia.

Se subentiende que continuaban en ese momento su carrera hacia el mar. La inversión de la corriente, por otra parte, no tiene lugar á cada marea en Valdivia, y es rara, por el contrario. De repetidas observaciones resulta que esta inversión sólo se produce cuando la amplitud de la marea pasa de la cota +0,93 sobre el cero, elegido en el punto más bajo que se ha observado.

En Corral, las mareas tienen cerca de 0,30 *m* más que en Valdivia. Suben y bajan regularmente en 12 h 25; pero presentan también grandes irregularidades en la amplitud, según la edad de la luna. La diferencia entre las mareas diurna y nocturna se manifiesta igualmente. Por fin, es probable que se produzcan en los dos puertos amplitudes mayores que las observadas en los cuatro meses precitados.

En Cutipay, el establecimiento del puerto es de X h 45, es decir, 10 minutos más tarde que en Corral. El régimen es ahí apenas

fluvial; la lámina XX, fig. 2, representa curvas comparativas de mareas observadas el mismo día (12 de Marzo) en Valdivia, Cutipay, Carboneros y Corral.

Nivel de aguas bajas.—Estas curvas están representadas con relación á un mismo plano de comparación. Una nivelación muy exacta ha dado como resultado 0,26 *m* de diferencia entre la baja mar de Corral y la de Valdivia el 12 de Marzo de 1892. Es probable que esta diferencia sea algo mayor en las mareas muy grandes, de manera que la diferencia de nivel entre las aguas bajas, en Corral y en Valdivia, debe ser de 0,30 *m*, más ó menos.

Esta cifra concuerda bien con las variaciones de amplitud de las mareas en los dos puertos.

Siendo la diferencia entre las bajas mares de Valdivia y Cutipay de 0,18 *m* y con Corral de 0,26 *m*, se ve que, en la marea observada, el agua se elevó sobre el cero de Valdivia:

En Valdivia á.....	+	0,74
» Cutipay.....	+	0,70
» Corral.....	+	0,70

Ahora bien, adoptando para el lugar geométrico de las pleamares una horizontal, el error es, pues:

Para Cutipay.....	—	0,04
» Corral.....	—	0,04

lo que es insignificante.

Notemos que las diferencias de nivel entre Valdivia y Cutipay, por una parte, y entre Cutipay y la bahía, por otra, no son proporcionales á las distancias, siendo éstas respectivamente 10 000 y 5000 metros, en cifras redondas.

La razón entre las alturas es de $\frac{0,18}{0,08} = 2,25$ y la de las distancias $\frac{10000}{5000} = 2$.

Lo que retiene las aguas desde Valdivia á Cutipay son las dos curvas pronunciadas que describe el río y las variaciones de su ancho, mientras que es recto y casi regular desde Cutipay á la bahía.

Corrientes

Las corrientes del río, se entiende, cambian á cada instante, según el momento de la marea. Como se ha visto, hasta se invierten

cuando la amplitud alcanza á 0,93 *m*. Á partir de la isla Mota hacia el mar la inversión se efectúa á cada marea.

Durante las mareas de día jamás he observado más de 0,75 *m* de velocidad frente á Valdivia. Entre Cutipay y el mar he medido hasta 1,25 *m* en la vaciante y 0,85 *m* durante el flujo. En las grandes mareas de noche la velocidad debe llegar á 1,50 *m*.

Caudal del río

Pissis estima la superficie de la hoya del río Valdivia en 8450 km^2 y en 2,859 *m* la cantidad de agua media anual que cae, de donde saca 24 158 000 m^3 para el aflujo anual de la lluvia sobre esta superficie, y, por consiguiente, 2 757 000 m^3 para el caudal del río por hora, ó sea 766 m^3 por segundo.

Según el señor F. Vidal Gormaz, la superficie de la hoya es de 8110 km^2 y la lluvia media 2,691 *m*, lo que daría un gasto de 694 m^3 por segundo.

Pissis no toma en cuenta la evaporación, porque en estas regiones el aire está constantemente húmedo.

Midiendo fuera del alcance de las mareas los caudales de los diversos afluentes (calculando las secciones por medio de sondajes directos de 10 en 10 metros y tomando las velocidades en el medio de cada uno de los intervalos de 10 metros con el molinete de Woltmann) se ha hallado:

Callecalle	400 m^3
Cruces	120 »
Futa, Angachilla, Naguilán, etc., en conjunto	90 »
Total	610 m^3

Por el Guacamayo y la Cantera pasan cerca de 150 m^3 del río Valdivia al Torna Galeones, en promedio; el primero conserva, pues, 350 m^3, más ó menos.

Estos números experimentan grandes modificaciones, según las épocas. Cambian también á cada instante en la zona sometida á la influencia de las mareas. Nulos en la inversión, aumentan considerablemente durante el reflujo.

Por fin, en la inversión entra cierta cantidad de agua de mar en

el río, de modo que el caudal en la vaciante comprende: 1.° el caudal real de la corriente de agua; 2.° el volumen retenido durante la inversión; y 3.° el agua salada que entra.

Es muy difícil tomar medidas directas de estas corrientes de marea, pues las velocidades cambian durante la operación. Semejante aforo sólo puede efectuarse aplicando el teorema del trabajo que se resume en la fórmula siguiente:

$$z = \alpha \frac{Q^2}{2g}\left[\frac{1}{\Omega''^2} - \frac{1}{\Omega'^2}\right] + a\,Q\int_0^s \frac{X}{\Omega^2}ds + bQ^2\int_0^s \frac{X}{\Omega^3}ds \quad (1)$$

en la cual las letras tienen la significación siguiente:

Q caudal de la corriente de agua;
Ω' sección del río en el punto superior considerado;
Ω'' » » » » inferior »
Ω » » » diversos puntos intermedios;
X su perímetro mojado en las mismas secciones;
s longitud total desarrollada del cauce;
ds distancia entre las secciones;
z diferencia de nivel entre las secciones extremas;
α coeficiente = 1,1;
a » = 0,000024;
b » = 0,000366.

No es siempre fácil aplicar la fórmula anterior; las condiciones particulares del río pueden falsear los resultados en grandes cantidades; pero en el río Valdivia hay la porción comprendida entre Cutipay y la bahía de Corral que presenta un cauce casi recto, un ancho sensiblemente uniforme y donde se puede, por consiguiente, obtener un resultado bastante aproximado.

En esta porción se han tomado con cuidado siete perfiles transversales, cuyos elementos se dan en el cuadro I. Consideremos primero el momento en que el mar está bajo en Cutipay; su nivel no se ha elevado sensiblemente aun en Corral; luego la diferencia de altura entre la superficie de las dos secciones es la encontrada por la nivelación

$$z = 0{,}08$$

CUADRO I

Perfiles	Distancias	X	Ω	Ω^2	Ω^3	$\frac{X}{\Omega^2}$	$\frac{X}{\Omega^2}$
1		600	2050	4 202 500	8 615 125 000	0,000 142	0,000 000 069
2		850	2250	5 062 500	11 390 625 000	0,000 167	0,000 000 075
3		720	2650	7 022 500	18 609 625 000	0,000 102	0,000 000 038
4		850	2150	4 622 500	9 938 875 000	0,000 183	0,000 000 085
5		650	2800	7 840 000	21 952 000 000	0,000 083	0,000 000 029
6		625	2200	4 840 000	10 648 000 000	0,000 129	0,000 000 058
7		625	2550	6 502 500	16 581 375 000	0,000 096	0,000 000 037
Promedios...		700	2380			0,000 129	0,000 000 056

El cuadro I da los elementos de las diversas secciones; calculando las integrales por medio de la fórmula de Simpson, resulta

$$Q = 845\ m^3$$

Por tanto, en el momento de la baja mar se escurre entre Cutipay y la bahía cerca de 845 m^3 por segundo.

Calculemos, ahora, el caudal entre Valdivia y Cutipay. Como las condiciones físicas del río son aquí mucho más variables, hemos medido 14 secciones, cuyos elementos se dan en el cuadro II.

CUADRO II

Perfiles	Distancias	X	Ω	Ω^2	Ω^3	$\frac{X}{\Omega^2}$	$\frac{X}{\Omega^3}$
1		165	1340	1 795 600	2 406 104 000	0,000 092	0,000 000 068
2		225	1220	1 488 400	1 815 848 000	0,000 151	0,000 000 123
3		570	1575	2 480 625	3 906 984 375	0,000 229	0,000 000 148
4		280	2800	7 840 000	21 952 000 000	0,000 036	0,000 000 012
5		245	2400	5 760 000	13 824 000 000	0,000 043	0,000 000 018
6		285	2580	6 656 400	17 173 512 000	0,000 043	0,000 000 016
7		740	2390	5 712 000	13 651 919 000	0,000 129	0,000 000 054
8		650	2260	5 107 600	11 543 176 000	0,000 127	0,000 000 056
9		560	2270	5 152 900	11 697 083 000	0,000 108	0,000 000 047
10		410	1660	2 755 600	4 574 296 000	0,000 149	0,000 000 089
11		460	2340	5 475 600	12 812 904 000	0,000 084	0,000 000 035
12		900	2570	6 604 900	16 974 593 000	0,000 140	0,000 000 053
13		555	1970	3 880 900	7 645 373 000	0,000 132	0,000 000 072
14		600	2050	4 202 500	8 615 125 000	0,000 142	0,000 000 069
Promedios...		475	2100			0,000 114	0,000 000 061

Aquí $z = 0{,}14\ m$, porque de la diferencia de nivel entre Valdivia y Cutipay hay que restar 0,02 m, altura de que el agua se ha elevado ya en la última estación, cuando está baja en la primera.

De la ecuación (1) se saca

$$Q = 705\ m^3$$

Este caudal sólo comprende el volumen normal y el que ha sido retenido durante el flujo. Observemos que el cálculo es con segu-

ridad menos exacto en esta sección; su ancho es muy variable; las curvas son pronunciadas; y las velocidades están influenciadas por el Cruces, el Guacamayo y la Cantera.

Caudal máximo

El caudal calculado más arriba tiene menos importancia que el de media marea, tres horas después de la pleamar, y éste es el máximo.

De Cutipay al mar es fácil ver, en las curvas comparadas de las mareas, que la diferencia z de nivel es en este momento o, 15 m.

Los perímetros mojados no han cambiado prácticamente; pero esto no sucede con las secciones. En lugar de calcular cada una de ellas en particular, he aumentado las del cuadro I del excedente medio, lo cual casi no cambia el resultado y se obtiene así los datos del cuadro III.

CUADRO III

Perfiles	Distancias	X	Ω	Ω^2	Ω^4	$\frac{X}{\Omega^2}$	$\frac{X}{\Omega^4}$
1		600	2290	5 244 100	12 008 989 000	0,000 114	0,000 000 050
2		850	2490	6 200 100	15 438 249 000	0,000 137	0,000 000 055
3		720	2890	8 352 100	24 137 569 000	0,000 086	0,000 000 029
4		850	2390	5 712 100	13 651 919 000	0,000 148	0,000 000 062
5		650	3040	9 241 600	28 094 464 000	0,000 070	0,000 000 022
6		625	2440	5 953 600	14 526 784 000	0,000 105	0,000 000 043
7		625	2790	7 784 100	21 717 639 000	0,000 080	0,000 000 029
Promedios...		700	2620			0,000 106	0,000 000 041

De donde $Q = 1300\ m^3$

Aplicando los mismos cálculos á la sección comprendida entre Valdivia y Cutipay, y tomando también en las curvas comparadas de las mareas $z = 0{,}22$, se obtiene el cuadro IV.

CUADRO IV

Perfiles	Distancias	X	Ω	Ω^2	Ω^3	$\frac{X}{\Omega^2}$	$\frac{X}{\Omega}$
1		165	1400	1 960 300	2 744 000 000	0,000 084	0,000 000 060
2		225	1300	1 690 000	2 197 000 000	0,000 133	0,000 000 102
3		570	1770	3 132 900	5 545 233 000	0,000 182	0,000 000 103
4		280	2900	7 840 000	21 952 000 000	0,000 035	0,000 000 013
5		245	2490	6 200 100	15 438 249 000	0,000 039	0,000 000 016
6		285	2680	7 182 400	19 248 832 000	0,000 039	0,000 000 014
7		740	2650	7 022 500	18 609 625 000	0,000 105	0,000 000 039
8		650	2500	6 250 000	15 625 000 000	0,000 104	0,000 000 042
9		560	2470	6 100 900	15 069 223 000	0,000 092	0,000 000 037
10		410	1820	3 312 400	6 028 568 000	0,000 123	0,000 000 061
11		460	2520	6 350 400	16 003 008 000	0,000 072	0,000 000 028
12		900	2900	8 410 000	24 389 000 000	0,000 107	0,000 000 037
13		555	2150	4 622 500	9 938 375 000	0,000 120	0,000 000 055
14		600	2280	5 198 400	11 852 352 000	0,000 115	0,000 000 050
Promedios ..		475	2270			0,000 096	0,000 000 046

De donde se saca $Q = 1220\ m^3$

Influencia de las curvas

Pero este número, como también el de 705 m^3, encontrado anteriormente, no es rigorosamente exacto. En efecto, en esta sección las curvas ejercen una influencia que no se puede despreciar.

Se la puede apreciar por medio de la fórmula dada por Abbott y Humphrey:

$$h = \frac{v^2 \operatorname{sen}^2 \alpha}{134}$$

Para aplicarla, en la línea longitudinal que sigue las inflexiones del thalweg del río, se trazan tangentes á cada una de las curvas, y se halla así:

2	ángulos	de.....	5°	3	ángulos	de.....	30°
4	»	de.....	10°	1	»	de.....	35°
1	»	de.....	15°	2	»	de.....	40°
8	»	de.....	20°	1	»	de.....	45°
2	»	de.....	25°				

ó sea un total de una circunsferencia y media. De ahí se saca para una velocidad aproximada de 0,50 *m* que h = 0,05 *m*. Es necesario, pues, en la apreciación de las velocidades y por consiguiente de los caudales, disminuir en esta cantidad la diferencia de altura entre los dos puntos. Entonces

$Q = 1080\ m^3$

Velocidades medias

La velocidad de cada filete líquido varía á cada instante en un río con mareas; además la velocidad de una corriente de agua varía según las profundidades y las distancias á las orillas. Pero para un caudal dado, la velocidad media es el cuociente del volumen escurrido por la sección media de escurrimiento.

A baja mar la velocidad media es:

de Cutipay al mar..... $\frac{845}{2380} = 0{,}35\ m$
de Valdivia á Cutipay..... $\frac{705}{2100} = 0{,}33\ m$

Á media marea:

de Cutipay al mar..... $\frac{1300}{2620} = 0{,}50\ m$
de Valdivia á Cutipay..... $\frac{1080}{2270} = 0{,}47\ m$

Las velocidades son aproximadamente proporcionales á la raiz cuadrada de las profundidades. Ahora bien, cerca de la punta Niebla la profundidad media es de 3,40 *m* y la máxima 10 *m*. Se debería tener, pues, siendo V_m la velocidad máxima y V la velocidad media $= 0{,}50\ m$.

$$\frac{V_m}{0{,}50} = \frac{\sqrt{10}}{\sqrt{3{,}40}} = 0{,}90\ m$$

Pero estando las grandes profundidades lejos de las orillas, esta velocidad se acrece aun; hemos visto que alcanza á 1,25 *m*.

Estos diversos cálculos se verifican, pues, y tienen grande importancia para el proyecto de canalización.

Corrientes de la Bahía de Corral

Las corrientes de la bahía de Corral son muy regulares. La primera onda que viene del Noroeste llega á la punta Bonifacio costea la tierra, haciendo un canal casi á pique; en seguida tuerce al Sur y penetra en la bahía que invade en todo sentido, con una velocidad de 0,30 *m* á 0,40 *m* por segundo, refiriéndose esta última cifra á la proximidad de la Peña del Conde y de la punta Piojo.

La vaciante al contrario es más rápida en el centro de la bahía que en los bordes; gira al Suroeste y se dirige hacia la punta Galera con una velocidad que alcanza á 0,50 *m*.

Según el *Anuario Hidrográfico* (III, 59):

«La única corriente notable de la costa de Valdivia es la que se encuentra desde la vecindad de la entrada de Corral hasta la punta Galera, producida sin duda por las numerosas corrientes de agua que se vacían en este puerto. Esta corriente alcanza su máximo de velocidad con el reflujo, ó sea de 2 millas á 2 millas y media, á lo largo de la costa cuyas sinuosidades sigue entre las puntas Gon-

zalo y Galera. Los buques costaneros saben aprovecharla. Saliendo de Corral con la vaciante son arrastrados al Sur hasta cerca de Chaihuín, donde encuentran el viento de tierra, que les permite alejarse de la costa.

«...Los sondajes efectuados al OSO del Morro Gonzalo y al ONO de la punta Galera han dado á conocer la existencia de un inmenso banco ó planicie de arena, frente á la entrada de Corral, formado por las masas de arenas que arrastran las corrientes de agua que ahí desembocan.»

A pesar de todos mis deseos, y por falta de un barco, no he podido reconocer este banco; habría querido tomar muestras de arena para compararla con las del río Valdivia y estar seguro de este modo de que la mayor parte de los sedimentos del río es llevada al mar. Es un vacío sensible en este trabajo. Tampoco he podido hacer sondajes fuera de la bahía, que tienen mucho interés.

Pero las curvas de nivel de 10, 12, 15, 18, 20 y 25 metros en la bahía, que se hallan dibujadas en la lámina XIX, fig. 1, hacen comprender cual es la marcha de las corrientes. En el Norte se aproximan casi hasta confundirse, hacia la punta Juan Latorre. Es la obra del primer flujo que se atraca contra esta orilla convexa como tiene costumbre de hacerlo.

La curva de 10 metros penetra hasta detrás del banco de las Tres Hermanas, en seguida sigue costeando la orilla sur hasta el Morro Gonzalo. Las curvas de 12 y 15 metros sólo se internan hasta la ante bahía; pero siguen también la orilla Sur. Las curvas de 18, 20 y 25 metros penetran apenas antes de inclinarse al Sur, de manera que el thalweg se dibuja casi recto, de Norte á Sur, de la punta Juan Latorre al fuerte de Corral.

Contra esta punta es, pues, donde se halla el canal principal, excavado por el flujo solo del Norte, mientras que las curvas espaciadas del Sur indican el paso de la corriente de vaciante, que deja depositarse en su camino una parte de los sedimentos arrastrados.

Bancos

Río.—Desde Valdivia al mar, en el río Corto, se encuentran varios altos fondos, el primero de los cuales se halla á lo largo del Islote. Pero los verdaderos bancos existen sólo á partir de la isla de San Francisco.

Hay que distinguir los bancos contenidos en el lecho mismo del río, de los depósitos que pueden encontrarse en las orillas, en las pequeñas caletas ó escotaduras que presentan las orillas. Desde San Francisco al mar todos los bancos verdaderos se componen de la misma arena, granada, con partículas de cuarzo blanco, otras de sílice negra, óxido de fierro, silicatos, etc. En general, los granos de los bancos de aguas abajo son más finos que los de aguas arriba, lo que demuestra que provienen de la parte superior del río.

En las pequeñas escotaduras de las orillas, al contrario, sólo se encuentra generalmente arena terrosa, formada á costa del suelo local mismo y que, encontrándose fuera de la acción de las corientes, no es arrastrada, quedando inmóvil.

Se observa muy bien este hecho en Carboneros, en la Peluca, en Fuente de Flores, etc.

La arena transportada proviene de la corrosión de las orillas; y se forma así aun en las partes próximas á la desembocadura, aunque en menor grado, porque la acción del agua es más enérgica en las porciones superiores, donde las corrientes son más rápidas.

Bahía de Corral.—En la bahía de Corral á cada caleta corresponde una arena especial formada en la localidad. A veces se compone de grandes granos blancos de cuarzo (embarcadero, playa de la punta NO de la isla Mancera, etc.) En otras partes, estos granos son muy finos (ensenada de Mal Paso); otras veces hay una mezcla de granos blancos y negros; en ciertos lugares, sólo estos últimos subsisten (la Huairona, punta SE de Mancera).

En los bancos Simón Reyes y de las Tres Hermanas, el más importante de todos, se encuentra la arena del río Valdivia. Estos bancos se deben, pues, á los transportes del río (tanto del río Corto como del Torna Galeones, donde la arena es idéntica). En la superficie de estos depósitos, en el banco de las Tres Hermanas, se encuentran conchuelas blancas, de moluscos muertos; pero este hecho no prueba contra el origen fluvial del banco. Estas conchuelas, en efecto, según los sabios señores Philippi, son las de la *Mactra edulis* (King) que vive enterrada en la arena y cuyas conchuelas sólo aparecen en la superficie después de su muerte, cuando el banco es removido por las olas.

Es muy importante distinguir también la manera cómo se forman las arenas que se encuentran en las playas de la bahía, y la del banco de las Tres Hermanas. No sólo difieren en su aspecto y

en su composición; pero el origen de las primeras se sigue fácilmente sobre todo en la costa Este de la isla Mancera. Se asiste a las fases sucesivas de la descomposición de los bancos esquitosos que ahí afloran; se dividen bajo la influencia del mar y de los agentes atmosféricos en grandes fragmentos que las olas reducen sucesivamente á guijarros, cascajo, arena gruesa y arena fina. En ninguna parte se encuentra algo semejante á los materiales del banco.

Esta arena viene, pues, del río; pero ¿por qué se deposita para formar este banco de contornos regulares, separado de Corral por un canal profundo, mientras que se une con la isla Mancera con profundidades mucho menores?

Formación del banco de las Tres Hermanas.—Á más del volumen considerable de agua dulce que descargan los ríos Valdivia y Torna Galeones, reciben aún durante el flujo un suplemento de agua salada. Penetra más por el Torna Galeones, que casi no tiene diferencia de nivel entre la bahía y su confluencia con el río Naguilán, y por otra parte es muy ancho en esta porción. El agua del mar lo remonta, pues, muy fácilmente.

En la ensenada de San Juan penetra también una capa de 1,70 *m* en las mareas de zizigias. Estas diversas cantidades se escurren conjuntamente en la vaciante.

Dirigiendo una mirada sobre el plano de la bahía, se ve que la embocadura del río Corto está dirigida de tal modo que la corriente que marchaba hasta ahí de Este á Oeste, es desviada bruscamente al Sur por la Punta Niebla. En este movimiento choca con la del Torna Galeones. De aquí resulta:

1.° Una pérdida de velocidad que ocasiona el depósito de una parte de los sedimentos que forman el banco de Simón Reyes;

2.° La proyección hacia el Sur de una porción del agua del Torna Galeones. Pasa entre la isla Mancera y la tierra, rechazando delante de sí el agua de la vaciante que sale de la ensenada de San Juan.

En definitiva, se establecen las corrientes que siguen, que forman como corrientes de aguas aisladas, distinguiéndose no sólo por su dirección, sino también por su salobridad y su temperatura:

1.° Una corriente principal que va del banco Simón Reyes á la Punta Amargos, vertiéndose en el mar;

2.° Una corriente de Norte á Sur entre la isla Mancera y la tierra, que remonta en seguida hacia la entrada de la bahía; y

3.° Esta segunda corriente encuentra el agua que en vaciante sale de la ensenada de San Juan y la arroja contra la costa Oeste de la bahía, a lo largo de Mal Paso, de Corral, de la Punta Laurel; mientras que ella está obligada á escurrirse contra la costa Oeste de Mancera.

Hay entre estas tres direcciones un triángulo muerto, donde el encuentro de las diversas corrientes provoca una calma relativa; ahí se hace el depósito de los sedimentos que constituye el banco de las Tres Hermanas.

Si esto es así, el banco sólo puede aumentar por las corrientes del Norte y del Este que provienen de los ríos y arrastran arenas; el agua que sale de la ensenada de San Juan es pura; lejos de transportar materiales corroe el banco por el Oeste y tiende á limitarlo por este lado.

Por esto es que los bordes N y E son achatados y el del O y S O á pique. La planicie superior cuya profundidad varía de 1 á 3 metros, termina bruscamente por este lado en esta última cota y está limitada por un talud muy parado.

Notemos bien, pues, que el banco es función de estas tres fuerzas, de las cuales dos lo alimentan y la tercera tiende á limitarlo.

Historia del banco de las Tres Hermanas.—Se lee en el *Anuario Hidrográfico* (V, 126):

«El banco aumenta de año en año, pues donde había de 5, 5 á 6, 1 metros de agua en 1788, sólo se hallaban 1, 3 *m* en 1835 y 0,45 *m* en 1872. La profundidad de las regiones vecinas á la parte más somera varía entre 0,91 y 2, 44 metros, en los momentos de toda baja mar. Eso hace presumir que el puerto del Corral se halla condenado á restringir su fondeadero de una manera paulatina y tal vez á desaparecer si no se ponen en práctica medidas salvadoras.

«En 1835 el banco distaba 833 metros de la Punta Laurel (Calvario) é igual cantidad del bastión izquierdo del fuerte del Corral; pero en 1868 se había reducido la primera á 690 metros y á 700 la segunda, lo que pone en evidencia el avance progresivo del banco hacia el surgidero, movimiento que se estima en 4 metros por año.»

Se ha insistido bastante en este Informe sobre la utilidad de los planos antiguos para establecer comparaciones análogas á las precedentes, para hacer á este propósito las reservas necesarias. Aun

es más peligroso apoyarse en planos imperfectos, para fundar una teoría, que no poseer ninguno. Consideremos el plano de 1835 levantado por los oficiales del *Beagle*. Admirando este trabajo ejecutado con tanta rapidez nos es imposible acordarle bastante autoridad para sacar conclusiones tan radicales. Un ejemplo bastará: en este plano la distancia entre la tierra firme y la Punta del Castillito en la isla Mancera es de 1000 metros, más ó menos; sólo es de 600 metros en el de los oficiales chilenos (1870). Cuando entre dos puntos inamovibles de medida fácil se observan tales diferencias, es permitido no acordar confianza á otras medidas, más difíciles.

Aun menos debemos fiarnos en las cartas del último siglo, tan imperfectas. La operación para fijar el contorno de un banco submarino no es muy cómoda. Exige el concurso de tres operadores ejercitados, uno que hace los sondajes teniendo en cuenta el estado de la marea, y hace las señales que los otros fijan. Con los teodolitos modernos se llega á una precisión suficiente; pero ¿con los antiguos instrumentos?

En cuanto á las diferencias de sondajes, hay que notar que toda braveza de mar modifica la parte superior del banco, acumula nuevos sedimentos ó arranca una parte de los antiguos.

También se ha querido atribuir estas diferencias á un solevantamiento de la costa, que habría tenido lugar después de 1835. Es posible; pero á pesar de nuestras investigaciones no hemos podido tener pruebas positivas. Se fundan en el hecho de que la gran roca que está frente al muelle de Corral, y sobre la cual se encuentra hoy el depósito del cable telegráfico, no figura en el plano del *Beagle*. Muchas otras piedras no están marcadas. Consideremos la roca *Atreal*, por ejemplo. Se indica en 1835 como que «aflora». En la actualidad, si ha habido solevantamiento posterior, debería emergir completamente. Sólo aflora aún á muy baja mar.

El plano de los oficiales de la Marina, que tiene más de 20 años de fecha, ofrece, al contrario, una exactitud tal, que puede servir de término de comparación. Ahora bien, las distancias entre la curva de 3 metros de profundidad del banco y el fuerte de Corral, por una parte, y á la punta Laurel, por otra, han cambiado poco desde esa época; son aún un poco mayores en el plano de la Comisión actual.

Lo que creemos es que el banco de las Tres Hermanas ha avan-

zado realmente en otro tiempo hacia el Oeste, pero que hoy día ha alcanzado el régimen del equilibrio. La cantidad de agua que se escurre de la ensenada de San Juan durante la vaciante, pasa por el canal situado entre Corral y el banco; es de 15 000 000 de metros cúbicos, con una marea de 1,50 *m*. La sección del canal es de cerca de 3000 m^2, de donde resulta una velocidad media de 0,25 *m*, que se duplica en el momento de la media marea. Á una velocidad de 0,50 *m* la arena no puede resistir sobre el talud Oeste del banco y es arrastrada; lo cual excluye la idea del avance hacia este lado.

Esto no quiere decir que el puerto de Corral no esté amenazado de embancarse. Es de temer que el canal entre la tierra y la isla Mancera se ciegue poco á poco. Sería muy conveniente para la conservación del canal del Norte, pues todo el volumen conducido por los dos brazos del río pasaría por ahí; pero entonces quedaría suprimida la corriente que existe entre el banco y la isla Mancera; el agua de la ensenada de San Juan podría pasar por este canal y no bastaría ya para dragar la parte Oeste del banco.

Hay, pues, que tomar medidas para la conservación del único puerto que Chile posee en el Sur.

Canalización del río Valdivia

Elección entre el río Corto y el Torna Galeones. —Los estudios anteriores sólo se refieren al río Corto; y, sin embargo, la primera impresión cuando se trata de canalizar uno de los dos ríos que conducen á Valdivia, es favorable al Torna Galeones. Por él suben hoy los grandes vapores á la ciudad, ya que en ninguna parte tiene profundidades menores de 4 metros.

En el río Corto, al contrario, hay dos pasos donde sólo se miden 2 metros en baja mar: uno en Palo del Diablo y otro en Alcones, lo que sólo permite pasar á barcos pequeños. Pero cuando una avenida aumenta un poco estas sondas, los vapores más grandes aprovechan la creciente para seguir esta vía más corta; en Marzo de 1892 he visto pasar la mayor parte de los vapores que hacen el servicio de Valdivia.

El Torna Galeones tiene un desarrollo de 32 kilómetros, presen-

ta varias curvas bruscas combinadas con angosturas (la Poza, Guacamayo, etc.)

El otro río, al contrario, sólo tiene dos curvas de gran radio y muy anchas.

Si sólo se quisiese obtener un calado de 4 á 5 metros, el gasto sería menor en el Torna Galeones; pero si es necesario alcanzar á 8 metros—y no comprendemos que se contentase con un canal que sólo admitiese un número limitado de naves—la ventaja queda á favor del río Corto, por cuanto el volumen de los dragados es menos considerable y son menos costosas las obras de rectificación. Por fin, la conservación de las profundidades será más fácil en el río Valdivia. La elección de esta vía se impone, pues, de lo cual hay que felicitarse.

Comparación de los anchos y las profundidades

Frente á Valdivia, donde el ancho es de 160 metros, las profundidades varían entre 9 y 12 metros. Del mismo modo en el Toro, más abajo de la confluencia con el río Cruces, donde el ancho alcanza á 250 metros. Allí donde el río se ensancha, la profundidad disminuye, y cuando el ancho es muy grande se forman bancos.

Si se construyen dos curvas que tengan por ordenadas, para una misma abcisa, los anchos y las profundidades medias, es decir, el cuociente de la sección por el ancho, afectan en general la misma forma. Hay anomalías, pero muy á menudo se explican con facilidad. Luego, como en todo río de fondo blando, la profundidad está en razón inversa del ancho.

Sistema que hay que emplear

Salvo los dos pasos de Palo del Diablo y de Alcones, las profundidades del río Valdivia permitirían subir la corriente á barcos mucho mayores de los que lo frecuentan hoy. Conviene, pues, ante todo, excavar estos dos puntos.

Pero un simple dragado no bastaría. El estado de una corriente de agua es la resultante de sus condiciones físicas; si no se las modifica, la mejora sólo será momentánea y la situación primitiva reaparece.

Es necesario, en consecuencia, cambiar el régimen del río; y para eso hay que seguir las indicaciones de la naturaleza, es decir, hay que estrechar el lecho entre límites que impidan el depósito de nuevos bancos. Con este objeto se ensayó en otro tiempo en Europa diques ó espigones transversales; pero jamás se ha obtenido buenos resultados sino con diques longitudinales que limitan el cauce como malecones. Es necesario forzosamente recurrir á ellos en este caso, no sólo en los pasos precitados, sino también en todas las partes donde el río es muy ancho.

Ahora bien, desde el momento que se determina la ejecución de semejantes trabajos, es necesario que el río los aproveche en toda la extensión de las necesidades comerciales, es decir, que debe alcanzar á una profundidad de 8 metros en baja mar. Se aseguraría así la prosperidad de la provincia llamada á un gran porvenir; y la flota del Estado encontraría también un abrigo sin rival de agua dulce.

Ancho del canal

Desde Valdivia á Cutipay el área media de las secciones (cuadro II) es de 2100 m^2, y el promedio de los anchos que difiere poco de los perímetros mojados es de 470 metros. La profundidad media es, en consecuencia, de 4,40 *m*.

Desde Cutipay á la bahía es de 3,40 *m*.

Si se busca el ancho necesario para obtener 8 metros, debiendo quedar constante la sección, para asegurar el escurrimiento del agua, se encuentra:

Desde Valdivia á Cutipay..... $\frac{2100}{8} = 262$ *m*
Desde Cutipay á la bahía..... $\frac{2380}{8} = 297$ »

Se puede, pues, adoptar como ancho:

De Valdivia á Cutipay..... 260 *m*
De Cutipay á la bahía..... 300 »

La primera cifra recibe su consagración de las consideraciones existentes; pues frente al *Bajo* se hallan anchos de 240 á 280 metros, que corresponden á profundidades de 9 metros.

Caudales futuros

Terminada la canalización, el movimiento permanente de los filetes líquidos ya no será variado sino casi uniforme. El cálculo del caudal se simplifica.

Reemplazando á U por su valor en la fórmula fundamental

$$RI = aU + bU^2$$

en que U es la velocidad media, se tiene

$$RI = a\frac{Q}{\Omega} + b\frac{Q^2}{\Omega^2}$$

de donde

$$Q = \frac{-a\ \Omega + \sqrt{a^2\Omega^2 + 4bRI\ \Omega^2}}{2b}$$

De Cutipay á la bahía se tiene:

	Á baja mar	Á media marea
Ω	2400	2520
R	8	8,40
I	0,0000166	0,000031

De donde se deduce

	Baja mar	Media marea
Q	1500 m^3	2030 m^3

De Valdivia á Cutipay

Ω	2080	2180
R	8	8,35
I	0,000014	0,000022

y entonces

Q_2	1130 m^3	1450 m^3

Luego el caudal aumentará en las dos secciones en las cantidades siguientes:

De Cutipay á la bahía...	650 m^3	700 m^3
De Valdivia á Cutipay...	420 »	230 »

Sólo hay que reflexionar á cerca de lo que va á suceder, para ver que estas cifras deben estar muy próximas á la verdad.

Velocidades medias

Tomando como anteriormente las velocidades medias, se obtendrá:

	Baja mar	Media marea
De Cutipay á la bahía.....	0,62 *m*	0,80 *m*
De Valdivia á Cutipay.....	0,54 »	0,66 »

Son precisamente las velocidades medias que se obtienen, haciendo el cálculo directamente en función de la pendiente y del radio hidráulico.

Consecuencias

Se ve que después de la regularización del lecho, el volumen escurrido será más considerable que hoy; este hecho se explica fácilmente:

1.° Siendo el lecho uniforme, el escurrimiento será más fácil. En el estado actual, los bancos, los cambios de sección obran como una sucesión de diques incompletos que retienen las aguas y, por consiguiente, elevan el nivel de aguas arriba. Después de la canalización el nivel bajará y se escurrirá más agua, aún de agua dulce, viniendo el excedente, en parte, del Torna Galeones;

2.° Siendo menos elevado el nivel de aguas arriba, en baja mar, se elevará por lo tanto de la misma cantidad durante la alta mar, siendo el lugar geométrico de las altas mares una horizontal; sin duda aún, á causa de la velocidad y como consecuencia de la fuerza viva, más considerables, se elevará un poco más. Luego el prisma de marea introducido durante el flujo será mayor, y el nuevo régimen del río se mantendrá mejor.

En cuanto al descenso del plano de agua de baja mar frente á Valdivia, que el cálculo dice ser de cerca de 0,08 *m*, tendrá poca influencia sobre las profundidades del río.

Fórmula de Humphrey y Abbott

Esta discusión puede verificarse con la fórmula que dan Humphrey y Abbott para el ancho del canal de rectificación de un río,

con el objeto de obtener una profundidad dada en baja mar (8 *m* en el caso actual).

Esta fórmula es:

$$p + w = \frac{195\ a\ s^{\frac{1}{2}}}{[0{,}93v + 0{,}167\ b^{\frac{1}{2}}\ v^{\frac{1}{2}}]^2}$$

en la que

p es el perímetro mojado.

w el ancho del canal que hay que construir.

a el área de su sección.

s la pendiente.

v la velocidad media.

$$b = \frac{1{,}69}{(r + 1{,}5)^{\frac{1}{2}}}$$

r radio hidráulico casi igual á la profundidad que se le sustituirá.

En el caso actual:

$p = 1{,}06\ w$ más ó menos.

$a = r\ w$.

$v = \frac{Q}{rw}$ siendo Q el volumen escurrido por segundo.

Sustituyendo los valores, se obtiene para el ancho: $w = 270$ metros entre Cutipay y la bahía.

Directamente habíamos encontrado 297 metros; se ve, pues, que un ancho de 270 á 300 metros es el que conviene al canal en esta sección. Se adoptan 300 metros, porque los diques longitudinales no podrán construirse con mucha regularidad. Además, el canal será más bien trapezoidal que rectangular; la sección real será, pues, más bien función de 270 que de 300 metros.

Extensión de los diques

Es claro que á los diques longitudinales no hay necesidad de construirlos donde el río presenta naturalmente bastante profundidad, y donde se puede estar seguro de que los trabajos no alterarán el régimen actual.

Frente á Valdivia las profundidades son considerables y no hay nada que hacer. Entre la ciudad y el Islote el ancho aumenta y las

profundidades disminuyen; pero éstas no dependen sólo del aumento del ancho. Hay en el medio de la distancia un filón de roca que corta el lecho á una profundidad de 5 metros. Este filón levanta el fondo; haciéndolo desaparecer se obtendrá el agua suficiente.

Los dos brazos á lo largo del Islote tienen: el de la derecha 500 metros, y el de la izquierda 100. En el brazo ancho la velocidad disminuye mucho y se ha formado un depósito considerable de arena; ahí se encuentra, además, piedras cuyo origen es difícil explicar. La corriente sigue más bien el canal de la izquierda, donde mantiene profundidades mayores, por lo cual lo frecuentan los vapores.

Desde Valdivia hay que construir un dique curvo que arroje las aguas contra la orilla derecha. Después se dragará á lo largo de la orilla un canal que tenga 200 metros á lo sumo de ancho, hasta la confluencia con el río Cruces.

De ahí hasta el Guacamayo no hay que trabajar. El Guacamayo tiene en la primera parte de su curso más pendiente que el río Valdivia; por esto las aguas lo siguen con rapidez y los árboles arrastrados pasan más bien por esta vía. Será necesario hacer aquí la misma cosa que al principio del Islote.

Se llega en seguida á Palo del Diablo. El examen de los planos (lámina XVII) es aquí muy significativo. El río, disminuido por el Guacamayo y la Cantera, se encuentra con un lecho demasiado ancho entre las islas del Rey y de San Francisco; un banco que se ha depositado á lo largo de esta última, ha angostado este ancho y se encuentra bastante profundidad hasta el Palo del Diablo.

Pero la isla San Francisco continúa separándose y terminada la curva cuyo vértice está en la Cantera, el agua es arrojada contra la orilla derecha hacia Estancilla, sólo que se extiende demasiado en un espacio muy ancho y la curva de nivel trazada en el plano muestra el vano esfuerzo que ha tentado. El río tiene ahí un ancho de más de un kilómetro, y resulta de estas diversas condiciones desfavorables el paso difícil que hay que mejorar.

Desde Cutipay al estero del Obispo el canal se mantiene pegado á la orilla derecha y no ofrece la profundidad requerida; pero dándosela con el dragado, se determinará una corriente más rápida á este lado; como al mismo tiempo la velocidad disminuirá

en los bancos que ocupan el resto del ancho, las dos causas reunidas bastan para mantener las profundidades creadas.

El segundo paso difícil está entre el estero del Obispo y Alcones; salvado este paso, se llegará hasta Carboneros en un canal cuyas irregularidades se corregirán fácilmente con la draga.

Trazado del canal

Todo lo expuesto anteriormente nos ha conducido, con el fin de obtener economías, á seguir el derrotero que recorren actualmente los vaporcitos que hacen el servicio entre Corral y Valdivia. También se habría podido construir un dique desde Palo del Diablo, que mantendría el agua contra la orilla izquierda hasta Alcones; pero este trabajo sería mucho más costoso, tanto por la longitud del dique, cuanto por la cantidad de arena que habría que sacar.

La economía no es, por lo demás, la única ventaja del trazado referido. Todos saben que en una corriente de agua, las grandes profundidas se encuentran siempre á lo largo de las orillas cóncavas y que es difícil mantener un canal en las partes rectas. Imitando lo que hace la naturaleza, dirigiéndose ya sobre la orilla derecha, ya sobre la izquierda, según las curvaturas, se tiene más certidumbre de que se conservará el nuevo régimen.

El plano de los trabajos (lámina XVIII) indica todos los que deben establecerse para mantener este régimen. Entonces hay que resolver la cuestión: ¿cómo deben hacerse los diques?

Enrocado

Para un canal de poca profundidad se podría emplear una barrera de madera; pero en fondos de 8 metros, á más de la dificultad del trabajo, se tendría que proveer una conservación difícil y costosa. No dudamos, pues, en proponer enrocados del modelo de los que se han efectuado en el Sena. Las piedras se encuentran en parte en las orillas del río, y el resto en las puntas Niebla y San Carlos.

La lámina XIX indica la manera de colocar los enrocados. En los puntos poco profundos se les dará grande espesor, para remediar los derrumbes que se producirán después del dragado del canal.

Los diques

Evidentemente, el trazado tipo consistiría en canalizar por completo el río. Indicamos en la lámina XVIII el plan general de este canal. Pero es inútil ejecutar todo el trabajo; estableciendo las porciones de muro estrictamente necesarias, se obtendrán los resultados buscados que se desean.

Si, sin embargo, en algún punto se reconociese, *a posteriori*, la necesidad de edificar otra porción de los diques, el plan general indica lo que habría que hacer. Las porciones de línea continua son las únicas necesarias; los elementos de línea indican el trazado completo.

Para establecer el plan del trazado, nos hemos basado en los admirables trabajos del señor Fargue, que ha obtenido resultados tan notables en el Garona. Pero al mismo tiempo nos hemos inspirado también en las condiciones especiales del río Valdivia, pues no se podría transportar íntegro un plan completo de un río á otro.

Así, las orillas sólidas de nuestro río no se asemejan á las del Garona; la protección de las orillas es casi inútil ó insignificante. Allá ha sido necesario encauzar á ambos lados. Aquí, salvo en los puntos en que es necesario pasar de una orilla á otra, sólo hemos previsto diques á un lado; las pequeñas irregularidades de las orillas conservadas no modificarán seriamente el régimen de una corriente de agua tan poderosa como el río Valdivia.

Los principios en que hemos basado nuestro trazado son los siguientes:

«Ancho creciente de aguas arriba hacia aguas abajo.

«Curvaturas progresivamente crecientes desde la inflexión al vértice y decrecientes desde el vértice á la inflexión; hemos limitado á una razón menor de la que se indica la diferencia de las curvaturas, á causa de las circunstancias locales.

«Luego el ancho es mayor en el vértice de las curvas.

«Desarrollo mayor de las orillas convexas que de las cóncavas, lo que conduce á las curvas excéntricas.

«Puntos de inflexión en el encuentro de las curvas convexas.

«Estrechamiento de las partes rectilíneas.»

De estos principios aplicados rigorosamente al trazado total, varios son inútiles en las porciones de curvas aisladas que propo-

nemos construir y que bastarán. Se tiene como garantía el régimen actual del río.

Tal es, en su conjunto, el proyecto de canalización del río Valdivia. Recomendando la ejecución de los trabajos, que consideramos indispensables, los hemos reducido por tanto á lo estrictamente necesario.

La bahía de Corral

Los medios de mejorar la bahía de Corral se deducen fácilmente de los estudios precedentes. Son los que siguen:

1.° Impedir el choque de las dos corrientes de vaciante del río Valdivia y del Torna Galeones. Un dique Norte en el río Corto y un triángulo sólido establecido á continuación de la orilla Sur, dirigirán la corriente de este río hacia la entrada de la bahía;

2.° La rama Sur de este triángulo, que se modela casi completamente sobre el banco Simón Reyes, arrojará en el mismo sentido la corriente del Torna Galeones;

3.° Un muro de enrocados, que parte de tierra, se unirá á la isla Mancera, cerrando el paso al volumen de agua que se escurre hoy por este canal; de esta manera toda el agua que en vaciante sale del Torna Galeones se dirigirá hacia la entrada de la bahía, paralelamente á la corriente del río Valdivia; y

4.° Un molo que sale de la extremidad Norte de la isla Mancera, se unirá á la punta Este, del banco de las Tres Hermanas.

Entonces toda el agua de vaciante de los dos brazos del río se dirigirá á la entrada de la bahía, y pasará con una velocidad que en las zizigias no será menor de 0,75 *m*, sobre la parte que se extiende entre la Huairona y el banco.

Este ya no podrá retroceder al Oeste, siendo mantenido por la corriente que sale de la ensenada de San Juan.

Es necesario notar que toda la parte situada entre el Frontón, el muro que reune la isla Mancera á la tierra y la punta Norte de esta isla, se llenará de arena, de modo que reemplazará el molo, que sería de un trazado más racional, pero más costoso, que debería establecerse entre el Frontón y la punta Norte de la isla. La cuestión de economía no dañará, pues, el resultado.

La lámina XVIII indica estas diversas construcciones; es, pues, inútil describirlas más.

Dragado

El efecto de los diques del río Valdivia no puede ponerse en duda. Á medida que se establezcan, el lecho se excavará y el socavamiento continuará hasta la profundidad requerida; se ha visto producirse este efecto frente á Valdivia sólo con la pequeña estrechez causada por la construcción del malecón Arturo Prat. La arena será arrastrada por la corriente hasta más allá de la punta Gonzalo.

Pero no se puede esperar que este efecto baste para llevar toda la arena de los bancos comprendidos entre los diques. Además se encuentran, aunque raras veces, rocas que no serán arrastradas y que será necesario dragar. La presencia de estas piedras, aisladas ó en bancos, es doblemente nociva; pues, sin ellas se habría podido emplear la bomba rotatoria, que trabaja más barato que la draga de capachos. Se podría remediar este inconveniente empleando por una parte la bomba rotatoria para las arenas, y para las piedras un *clam-shell* modelo de Mac-Cumming ó de Priestmann. Si es el Gobierno quien debe ejecutar este trabajo, y en todo caso si la draga debe quedar por su cuenta para los dragados de conservación, recomendaríamos que se construyera el casco de madera en el país y que sólo se encargasen las máquinas al extranjero. Se realizaría así una economía notable.

Á más de las dragas y cargadores, se deberá tener pequeños remolcadores, etc., etc.; incluimos el precio de estas máquinas en el del dragado.

Los desmontes dragados se transportarán al mar, ó se emplearán en rellenar el triángulo del banco Simón Reyes. No hay que pensar en llenar detrás de los muros, salvo en ciertos puntos. El canal limitado sólo debe considerarse, en efecto, como un lecho menor; el lecho mayor debe conservarse para recibir el excedente de las creces. Sólo más tarde la experiencia indicará qué terrenos se conquistarán definitivamente al río.

Ejecución de los diques

Altura.—En la parte del río que está frente á Cutipay, un banco considerable ocupa una gran porción del ancho y emerge en baja

mar. Luego, durante las últimas horas de la vaciante, la cantidad de agua que se escurre pasa exclusivamente por el canal y no basta, por tanto, para ahondarlo.

Eso prueba que la divagación del agua sobre los bancos es la causa del régimen actual.

La consecuencia que se debe sacar de esta observación para los diques que hay que construir, es muy neta. Deben elevarse á la altura de las aguas altas ordinarias, es decir, que del fondo á la cresta deben tener en promedio 9 metros.

Las distancias entre los diques, ó entre el dique y la orilla conservada, se cuentan desde la cresta; los enrocados se dispondrán según su talud natural. Será necesario echarlos á medida que se hundan. Se emplearán con este objeto chatas especiales.

Orden de los trabajos.—Si se tuviese que dragar todo el cubo de arena, la operación, sin duda alguna, debería principiar por arriba y continuar sin interrupción hacia aguas abajo; pero como la mayor parte de los sedimentos será arrastrada por la corriente, es importante que no pueda depositarse en el camino. Se ejecutarán, pues, los diques principiando por abajo, para determinar las velocidades de socavación. Desde entonces, á medida que los cubos de arena comprendidos entre los primeros diques construidos sean barridos, los otros no podrán detenerse en el canal y se irán al mar.

Hay en todo caso una razón de práctica corriente para no comenzar por arriba. Si se canaliza primero las partes situadas más abajo del Guacamayo, una parte del agua del Torna Galeones se escurrirá por el río Corto y el derrotero actual de los vapores se empeorará. Este resultado sólo debe producirse cuando se haya preparado un nuevo camino para las naves.

Con los trabajos descritos anteriormente se hará accesible el río Valdivia á todos los barcos, se asegurará el porvenir del fondeadero de Corral y en caso necesario se habrá preparado los elementos de un inmenso puerto de refugio detrás del banco de las Tres Hermanas, en la ensenada de San Juan, que bastaría dragar, sin temor de nuevos embanques. Pero creo que este último trabajo sería inútil, en presencia de la magnífica corriente de agua navegable que se habría creado.

CAPÍTULO IV

PRESUPUESTO

Las sumas indicadas á continuación se han calculado en pesos de 24 peniques, ó sea 2 francos 50 céntimos cada uno.

Bloques artificiales

La piedra del cerro Mutrún y de las Ventanas en Constitución, pesa cerca de 2,50, según una muestra cuyo peso específico he determinado. Según los promedios que hemos observado, una piedra de esta densidad, con arena buena y cemento Portland, da hormigón que pesa 2,15.

Los bloques artificiales de este hormigón tendrán 4 metros de longitud, 2,50 *m* de ancho y 2 *m* de altura. Su volumen será pues:

$$4 \times 2{,}50 \times 2 = 20\ m^3$$

y su peso

$$20 \times 2{,}15 \quad 43 \text{ toneladas.}$$

Aunque sólo se usa la cal del Theil en el Mediterráneo, por haber causado decepciones en el Océano Atlántico, no obstante podría emplearse, pues la he visto portarse muy bien en el mar de las Indias, en obras donde entraba hormigón. Sin embargo, no habiéndose hecho, que sepamos, ningún experimento en el Océano Pacífico, no nos atrevemos á aconsejarla y nos limitamos á prever el empleo del cemento de Portland.

Hormigón.—El hormigón tendrá la composición siguiente:

Cemento de Portland.....	0,30 m^3
Arena.....	0,40 »
Piedra chancada.....	0,90 »

Es una proporción algo fuerte, pero que ofrece entera garantía.

Cemento.—La calidad del cemento se comprobará rigorosamente; tal vez es probable que para Chile deben tomarse precauciones especiales que estudiamos en este momento. Los ingleses han experimentado contrastes al emplear sus cementos en el extranjero.

Arena.—Si bien la arena de ciertos bancos del río Valdivia podría admitirse, es necesario desechar en absoluto la arena que se encuentra en la playa de Constitución. Ya hemos dado las razones en un informe especial á propósito de la arena de la bahía de San Vicente (*). En cuanto á la que conduce el Maule, es enteramente impropia para el mortero que hay que emplear en el mar.

La arena para Constitución se deberá fabricar, pues, á máquina, con piedras elegidas, que se encuentran, por lo demás, fácilmente en el lugar.

Piedras.—Las piedras para el hormigón se quebrarán también mecánicamente, con aparatos que no den fragmentos chatos. Los pedazos tendrán de 2 á 5 centímetros de lado, 4 en promedio.

Precios

Cemento.—La última compra importante hecha por el Gobierno es la de 10 000 barriles de cemento Portland White Brothers, (decreto del 20 de Octubre de 1890), á razón de 14 chelines 8 peniques por barril de 180 á 182 kilogramos, lo que da, más ó menos, á 40 pesos la tonelada. Sin duda, se podrían obtener condiciones mejores; pero para prever las dificultades del desembarco en Constitución conservamos esta cifra.

Arena fabricada.—El metro cúbico vale $ 2,40.

Piedras quebradas.—El metro cúbico importa $ 1,60; este precio y el precedente son los que hemos pagado en condiciones análogas.

Hormigón.—Tomando como densidad del metro cúbico de ce-

(*) Léase el informe relativo al Dique de Talcahuano, página 99 de este folleto.

mento de Portland 1300, se tendrá, pues, para el precio del metro cúbico de hormigón, estimando los gastos de fabricación, en total, en 3 pesos, lo que resulta de datos tomados en grandes construcciones:

390 *kg* de cemento de Portland.....	$ 15,60
0,40 m^3 de arena.....	0,96
0,90 m^3 de piedras chancadas.....	1,44
Gastos de fabricación.....	3,00
Total.....	$ 21,00

Este precio es el del bloque en cancha. La colocación del metro cúbico cuesta generalmente $ 4. El precio total será, pues, de $ 25.

No conocemos ningún trabajo en que el hormigón haya costado tan caro; los cálculos que damos más adelante se han estimado todos por exceso. Se puede estar seguros de que el presupuesto no será excedido.

Enrocados

Constitución.—Los enrocados se ejecutarán con las piedras del cerro Mutrún y de las Ventanas, es decir, con materiales que están al pie de la obra, para la mayor parte de los trabajos.

Estas canteras se explotarán por medio de explosivos. Se deberá prever varias categorías de tamaños, según que las piedras se destinen á revestimientos ó á rellenos.

Valdivia.—Los enrocados se encontrarán, en parte, en las orillas mismas del río; pero será necesario tomar también en las canteras de las puntas Niebla y San Carlos.

Precios.—Las canteras de Constitución pertenecen al Estado ó á la Municipalidad; no se tendrá que pagar derechos; en Valdivia habrá que recurrir á la expropiación por causa de utilidad pública, de terrenos que, por lo demás, tienen poco valor.

En Francia, para el encauzamiento del Sena, el precio del metro cúbico de enrocados, comprendiendo la extracción, acarreo, embarque, transporte al pie de la obra, y colocación definitiva, ha sido en promedio de $ 0,68. Los bloques se sacaban de los bancos calcáreos situados en ambas orillas del río.

En los Estados Unidos, los precios que conocemos (en más de

cincuenta canteras) oscilan entre $ 1,40 y $ 3,60, según las cantidades y la naturaleza de los materiales pedidos y la dificultad de extracción. Los precios elevados se refieren generalmente á provisiones de granito (Block Island, Richmond Island, etc.).

El bajo precio en el Sena se debe á la proximidad y á la facilidad de la explotación de las canteras. Es necesario basarse, pues, más bien por analogía, en los precios obtenidos en los Estados Unidos.

Se podría establecer una diferencia de precio entre Constitución y Valdivia, en provecho de la primera ciudad mencionada; pero es difícil estimar de antemano semejantes rebajas; y para estar seguros de quedar dentro de la verdad adopto un valor uniforme de 4 pesos.

Dragados

El volumen del dragado en los dos ríos es considerable. Además es necesario adquirir para la conservación de los canales una draga especial con las herramientas accesorias, de manera que la amortización del valor de los aparatos influirá poco sobre el precio de la unidad. Con una elección juiciosa de los instrumentos, se podrá ejecutar la extracción de los desmontes á bajo precio. Siendo el transporte más largo en Valdivia que en Constitución, estimo el precio de costo para Constitución en..... $ 0,40
y para Valdivia en..... » ,050

BIBLIOTECA NACIONAL
BIBLIOTECA AMERICANA
"DIEGO BARROS ARANA"

CANTIDADES

Constitución

1.º MOLO DE LA ORILLA IZQUIERDA

BLOQUES ARTIFICIALES

Longitudes m	Sólido	Entre las curvas ...	Promedio m	SECCIÓN				Volumen m³
				Altura m	Base superior m	Base inferior m	Superficie m²	
Cabezo	Tronco de cono	8	8,00	9,50	8,00	28,00	"	8404,50
175	Prisma cuadrangular	7 á 8	7,50	9,00	7,90	25,50	150,30	26302,50
40	"	6—7	6,50	8,00	7,30	23,00	121,20	4848,00
22	"	5—6	5,50	7,00	6,90	20,30	95,20	2094,40
23	"	4—5	4,50	6,00	6,30	18,20	73,50	1690,50
22	"	3—4	3,50	5,00	5,80	16,00	54 50	1199,00
125	"	3	3	4,50	5,50	14,50	45,00	5625,00
						Total.....		50 163,90

En realidad, en un molo de bloques arrojados *al acaso* hay sólo $\frac{2}{3}$ llenos y $\frac{1}{3}$ vacío. El número anterior debería, pues, disminuirse de 16 721,30 m^3 y reducirse á 33 442,60 m^3, tanto más cuanto que el substratum de enrocados está destinado á impedir las pérdidas de bloques por hundimiento. Pero como por una parte es posible que los dos metros de espesor previstos para esta infraestructura no basten y que por otra algunos bloques pueden quebrarse, caer fuera del perfil, etc., es mejor dejar la previsión íntegra. Los empresarios tendrán justamente esta latitud para hacer propuestas con rebajas, según la experiencia de cada cual, lo que hace conservar al presupuesto un carácter de máximo seguro.

REVESTIMIENTO DEL LADO DEL ANTEPUERTO.—ENROCADOS

Promedio 10,50 $m \times 3 = 31,50$ (L = 407) Volumen = 12 820 m^3

MALECÓN.—ENROCADOS

Sección media $\frac{21 \times 9,5}{2} = 100\ m^2$

Longitud 407 Volumen = 40 700

RELLENO

Promedio de las alturas..... 3 *m*
» » los anchos..... 10 »
Longitud..... 400 » Volumen = 12 000

SUBSTRATUM

Bajo el cabezo						R = 14		Superficie	615,50
175	*m*	entre	las	curvas	7 y 8;	Base = 25,50		»	4462,50
40	»	»	»	»	6 y 7;	» = 23		»	920
22	»	»	»	»	5 y 6;	» = 20,30		»	446,60
23	»	»	»	»	4 y 5;	» = 18,20		»	418,60
22	»	»	»	»	3 y 4;	» = 16		»	352
125	»	»	»	»	3	» = 14,50		»	1812,50

Total..... 9037,70

Volumen: 9037,70 (H = 2) = 18 075,40

RECAPITULACIÓN

Bloques artificiales.....		50 164
Enrocados.....	18 075,40	
	12 820	
	40 700	71 595,40
Relleno.....		12 000

2.° MOLO DE LA ORILLA DERECHA.

Longitudes m	Sólido	Entre las curvas m	Promedio m	Altura m	Base superior m	Base inferior m	Superficie m	Volumen m³
Cabezo	Tronco de cono	7	7	8,50	7,30	23,00	,,	5320,00
50	Prisma cuadrangular	6 á 7	6,50	8,00	7,30	23,00	121,20	6060,00
85	,,	6—7	6,50	6,50	6,60	18,10	70,30	5975,50
39	,,	5—6	5,50	5,50	6,00	17,00	63,30	2468,70
24	,,	4—5	4,50	4,50	5,50	14,70	45,45	1090,80
27	,,	3—4	3,50	3,50	5,00	12,00	29,75	803,25
285	,,	3	3	3,00	4,60	11,00	23,40	6669,00
45	,,	2—3	2,50	2,50	4,40	9,60	17,50	785,50
45	,,	1—2	1,50	1,50	4,00	8,50	9,40	423,00
30	,,	0—1	0,50	0,50	4,00	8,50	3,15	94,50
							Total.....	29 690,25

La misma observación que se ha hecho anteriormente.

REVESTIMIENTO DEL ENROCADO

$8 \times 2(L = 914)$ Volumen = 14 624

SUBSTRATUM

$135 \times 23{,}00$
$39 \times 20{,}30$
$24 \times 18{,}20$
$27 \times 16{,}00$
$285 + 14{,}50$
$45 \times 13{,}50$
$45 \times 11{,}00$
$30 \times 8{,}50$
$185 \times 8{,}00$ Total... 11 735,50 × 2 = Volumen = 23 471

RECAPITULACIÓN

Bloques artificiales.....		29 690
Enrocados.....	14 624	
	23 471	38 095

Dragados.—El volumen de los dragados es fácil de calcular con el perfil longitudinal y los transversales: se eleva á

2 300 000 m^3

Estimación de los gastos

Los gastos serán, pues, los siguientes

1.° *Molo Suroeste*

Bloques artificiales.	50 164 m^3	á $	25 —	$ 1 254 100	
Enrocados.....	71 595 »	á »	4 —	286 380	
Relleno.....	12 000 »	á »	2 —	24 000	$ 1 564 480

2.° *Molo Noreste*

Bloques artificiales.	29 690 m^3	á $	25 —	$ 742 250	
Enrocados.....	38 095 »	á »	4 —	152 380	$ 894 630

3.° *Dragados*..	2 300 000 m^3	á $	0,40		920 000
				$	3 379 110
Imprevistos y riesgos 20%					675 822
				$	4 054 932

ó sea, en números redondos, cuatro millones de pesos.

Esta cantidad, lo repito, es un máximum. Para dar una idea: el molo de la orilla izquierda, la parte más importante de este trabajo, que tiene 407 metros de longitud, por fondos medios de 5,50 *m*, cuesta 1 377 680 pesos, ó sea 3384 pesos el metro corrido (8460 francos). Es una cifra que en los antiguos trabajos ha

sido pasada, pero que nunca se alcanza en los molos recién construidos, aún en los mares más malos.

La seguridad aparece mayor aún si se calcula el precio por metro de profundidad; se halla que es de 615 pesos (1540 francos), cifra muy elevada.

Con seguridad se obtendría una rebaja en una adjudicación pública.

Valdivia

El presupuesto de la canalización del río Valdivia se reduce á poca cosa, pues sólo se trata de enrocados y dragados.

ENROCADOS.—El cuadro V da su longitud:

CUADRO V

Puntos donde se construirán los dique	Ángulo	Radio	Longitudes
Canelos, antes de la punta del Islote	150°	1810	473
Guacamayo, más arriba	26,30'	830	384
" más abajo	13,30	1150	271
" partes en ala			300
Isla Mota	16	720	201
Isla San Francisco	42	500	367
Bahía San Francisco.			
Parte sensiblemente recta al Sur			750
Á continuación	30	330	999
Unión			173
Parte al Norte	67	740	865
Frente al estero del Obispo.			
Curva al Norte	19	1500	498
Otra	15	1500	392
Curva al Sur	18	850	267
Otra	19	1800	597
Curvas casi rectilíneas entre el río y la bahía			2750
Dique en la isla de Patos			100
" " " Mota			70
Total			9457

En la bahía:

De la tierra á la isla Mancera	600
De la isla Mancera al banco de las Tres Hermanas	900
Total	1500

En el río la sección media del enrocado es de 75 m^2 por 9000, más ó menos, y de 50 m^2 para los 500 metros restantes (diques, etc.).

El volumen es pues:

$$9000 \times 75 = 670\ 000\ m^3$$
$$500 \times 50 = 25\ 000\ »$$
$$\text{Total} \ldots\ldots\ 695\ 000\ m^3$$

En la bahía:

El molo que unirá la tierra á la isla Mancera tiene una sección media de 20 m^2. Volumen = 12 000 m^3.

El tajamar entre la isla Mancera y el banco de las Tres Hermanas tiene una sección de 70 m^2. Volumen 63 000 m^3.

El volumen total de los enrocados es, pues, de 770 000 m^3.

Dragados.—El cuadro VI da la cantidad total de arena que debe salir del canal para que tenga una profundidad regular. Pero la mayor parte de este volumen será arrastrado poco á poco por la corriente hasta el mar.

En realidad sólo se necesita á lo más un canal de 40 metros de ancho medio, para que dos buques puedan cruzarse. Entonces en gran parte del río no hay ningún dragado que prever. En el resto, admitiendo que sea necesario dragar todo este canal de 40 metros, el volumen que hay que sacar se reduciría á 1 360 000 m^3.

Hay que agregar el volumen que se debe sacar en el canal de la bahía, al que prevemos un ancho de 100 metros, lo cual da 400 000 m^3.

En todo 1 760 000 m^3.

Pero aún este volumen no será dragado, pues á medida que avance el trabajo, la mitad por lo menos marchará en suspensión en la corriente, sobre todo si esto se facilita por medios apropiados. No se tendrá que extraer, pues, más de 1 000 000 m^3.

CUADRO VI

Número de perfiles	Elementos de los perfiles	Dimensiones de las secciones m	Superficie m²	Longitud m	Cubos m³
1 á 7	Rectángulo ficticio.....	$2{,}60 \times 265$.....	689	1055	695 895
8	"	$4{,}20 \times 265$.....	1113	125	139 125
9	Trapecio.....	$\frac{1}{2}(4{,}70+6{,}40) \times 265$.....	1338,25	120	160 590
de 10 á 13	Rectángulo	$5{,}50 \times 265$.....	1457,50	640	993 800
14 (parcialmt.)	"	$5{,}60 \times 265$	1484,00	280	415 520
17 "	Trapecio + Triángulo.....	$\frac{1}{2}(6+3)\ 40+\frac{1}{2}\ (6+6{,}80)\ 120$.....	948,00	295	279 560
18 "	Triángulo + Rectángulo...	$\frac{1}{2}8 \times 30+7 \times 90$.....	750,00	250	187 500
19 "	2 Triángulos + Rectángulo	$\frac{1}{2}8 \times 20+\frac{1}{2}7{,}60 \times 50+7{,}50 \times 70$.....	795,00	200	159 000
20 "	Triángulo.....	$\frac{1}{2}8 \times 20$.....	80,00	195	15 600
21 "	Trapecio.....	$\frac{1}{2}\ (6+8)\ 80$.....	560,00	202	113 120
23 "	2 Triángulos.....	$\frac{1}{2} \times 8 \times 20+\frac{1}{2}8 \times 50$.....	280,00	240	67 200
24 "	"	$\frac{1}{2}8 \times 20+\frac{1}{2}4 \times 40$.....	160 00	260	41 600
A	"	$\frac{1}{2}5 \times 150+\frac{1}{2}1{,}60 \times 120$.....	471,00	265	124 815
25	2 Trapecios + Rectángulo	$\frac{1}{2}\ (60+120)\ 4+\frac{1}{2}\ (65+155)\ 2{,}70+0{,}70 \times 275$...	849,50	260	220 876
B	Rectángulo.....	5×275.....	1375,00	250	343 750
26	Trapecio	$\frac{1}{2}\ (5+4{,}50)\ 275$.....	1306,25	260	339 625
C	3 Trapecios.....	$\frac{1}{2}\ (2{,}10+7{,}90)\ 45+\frac{1}{2}\ (2{,}70+4{,}70)\ 45+\frac{1}{2}\ (4{,}7+5{,}5)\ 180$	1296	250	324 000
27	Trapecio.....	$\frac{1}{2}\ (8+6)\ 275$.....	1925	250	481 250
D (parcialmt.)	Triángulo + 2 Trapecios.....	$\frac{1}{2}\ 8 \times 25+\frac{1}{2}\ \ (30+50)\ 1{,}6+\frac{1}{2}150 \times 5{,}6$.....	1004	320	311 280
28	2 Trapecios.....	$\frac{1}{2}\ (6{,}5+1{,}9)\ 120+\frac{1}{2}\ (1{,}9+4{,}9)\ 155$.....	1031	322	331 902
E (parcialmt.)	2 Rectángulos	$5 \times 100+5{,}60 \times 90$	1004	275	276 100
29 "	Trapecio + Triángulo.....	$\frac{1}{2}\ (4+3{,}6)\ 90+\frac{1}{2}4 \times 100$.....	542	205	111 100
F	2 Triángulos.....	$\frac{1}{2}4 \times 160+\frac{1}{2}6 \times 120$.....	680	215	146 200
30	Rectángulo + 2 Trapecios...	$5 \times 50+\frac{1}{2}\ (1{,}3+5{,}3)\ 90+\frac{1}{2}\ (1{,}3+3{,}3)\ 140$.....	869	230	199 870
G	Triángulo + Trapecio.....	$\frac{1}{2}4 \times 50+\frac{1}{2}\ (4+5{,}6)\ 180$.....	964	260	250 640
31 (parcialmt.)	Rectángulo + Triángulo.....	$5 \times 150+\frac{1}{2}3{,}2 \times 60$.....	846	255	215 730
H "	Rectángulo + 2 Triángulos..	$6 \times 100+\frac{1}{2}2 \times 100+\frac{1}{2}16 \times 5$	740	225	188 700
32 "	Triángulo.....	6×120	720	230	165 600

I (parcialmt.)	2 Triángulos + Trapecio.. ..	$\frac{1}{2}8\times50+\frac{1}{2}2\times30+\frac{1}{2}$ (4+2) 90	600	195	117	000
33	Rectángulo	4×280	1120 00	345	386	400
34	Rect. + Tri + 2 Trap	$4{,}6\times120+\frac{1}{2}0{,}4\times120+\frac{1}{2}$ (4,7+6,3) 120+$\frac{1}{2}$ (4,2+4,6) 60	1500	335	502	500
35 (parcialmt.)	Tri. + Trap. + Rect	$\frac{1}{2}\times8\times30+\frac{1}{2}$ (1,7+0,9) 180+4×180	1074	420	451	080
K "	Rectángulo	6×110	660	230	151	800
36 "	Trapecio	$\frac{1}{2}$ (6,7+4,7) 170	969	210	203	490
L "	2 Triángulos + Trapecio	$\frac{1}{2}\times7{,}5\times60+\frac{1}{2}1{,}2\times60+\frac{1}{2}$ (100+60) 7	821	210	172	410
37 "	Triángulo + Rectángulo	$\frac{1}{2}1{,}50\times90+7{,}6\times40$	375,50	200	75	100
M	Rectángulo	$1{,}40\times285$	399	215	85	789
38	Trapecio + Rectángulo	$\frac{1}{2}$ (3+5,4) 75+2,80×210	903	250	225	750
N	2 Trapecios + Rectángulo	$\frac{1}{2}$ (5,2+2) 80+$\frac{1}{2}$ (2+4,2) 90+4,3×115	1061,50	270	286	605
39	Triángulo + 2 Rectángulos	$\frac{1}{2}8\times25+3{,}40+55+3{,}5\times142$	1024	235	240	640
Ñ	Triángulo + Rectángulo	$\frac{1}{2}5\times30+4\times255$	1095	240	262	800
40	2 Trapecios	$\frac{1}{2}$ (1+3,5) 50+$\frac{1}{2}$ (3,4+5,2) 235	1235,50	420	518	700
P + 42 (parcialmt.)	Rect. + 2 Triángulos	2 [$\frac{1}{2}$6+50) +$\frac{1}{2}$ (5,2+120) +5,6×115]	2216	545	1 107	720
41 "	Tri. + Trap. + Rect	$\frac{1}{2}5{,}4\times60+\frac{1}{2}$ (5,4+4,8) 90+5,4×60	945	420	396	900
Q "	2 Triángulos + Trapecio	$\frac{1}{2}6\times20+\frac{1}{2}6\times50+\frac{1}{2}$ (6,5+5,9) 100	830	255	211	650
43 "	2 Triángulos	$\frac{1}{2}8\times65+\frac{1}{2}7\times80$	540	270	145	800
R "	2 Triángulos	$\frac{1}{2}8\times65+\frac{1}{2}4\times126$	500	250	125	000
44 "	Trapecio + Triángulo	$\frac{1}{2}$ (1+7,6) 70+$\frac{1}{2}$ 6,50×90	593,50	230	136	505
S	Tri. + Rect. + Trap	$\frac{1}{2}$ 8×30+1×150+$\frac{1}{2}$ (0,7+4,7) 110	567	280	158	760
45	Trap. + Rect. + Trap	$\frac{1}{2}$ (0,75+4,25) 55+1×150+$\frac{1}{2}$ (1+3,4) 95	490,50	310	152	055
46	Trapecio + 2 Rectángulos	$\frac{1}{2}$ (8+4,2) 30+4,2×60+4,7×210	1422	335	476	370
47	2 Trapecios + Rectángulo	$\frac{1}{2}$ (8+5,5) 30+$\frac{1}{2}$ (5,5+5) 120+5×150	1582,50	180	284	850
48 (parcialmt.)	Trapecio + Triángulo	$\frac{1}{2}$ (1,2+5,5) 280+$\frac{1}{2}\times3{,}2\times30$	986	790	778	940
				Total	14 954	572

Estimación de los gastos

Enrocados, 770 000 á $ 4.....	$ 3 080 000
Dragados, 1 000 000 á $ 0,50..... ..	500 000
Total.....	$ 3 580 000
Imprevistos, 10 por ciento.....	358 000
Total general.....	$ 3 938 000

O sea cuatro millones de pesos en números redondos.

Se notará que agregamos sólo 10 por ciento de imprevistos en lugar de 20 por ciento calculados para Constitución. Esta diferencia se explica fácilmente por la de los riesgos que hay que correr; en el río se trabajará con mucho menos dificultad que en el mar.

Santiago, Mayo de 1892.

C. J. DE CORDEMOY.

ANEXO

Informe relativo al Dique Seco de Talcahuano

Traducido del francés por **A. Capdeville,**
Oficial 1.º del Ministerio de Industria y Obras Públicas

PRIMERA PARTE

Señor Ministro:

Tengo el honor de presentar a US. el Informe que el Supremo Gobierno ha tenido á bien confiarme por decreto de 28 de Septiembre de 1891, concebido como sigue:

«Comisiónase... para que informe... acerca del estado de los trabajos del dique de Talcahuano y de la forma en que se han llevado á cabo, indicando los que á su juicio conviniere modificar ó introducir en los planos primitivos.»

La extensión del programa, trazado de este modo, abarcaría el examen de los proyectos primitivos y de los medios de ejecución empleados. Este estudio exigiría un tiempo bastante largo y no tendría ya un interés práctico. Aunque á primera vista parece que hubieran podido introducirse serias modificaciones, ventajosas para la solidez y funcionamiento del dique, esta constatación es demasiado tardía. El material funciona; una parte de las mamposterías está hecha; no se puede, pues, ejercer ya acción sino en algunos puntos de detalle.

Espero, sin embargo, que el señor Ministro se dignará excusarme el haber comenzado por señalar esta situación al principio de este Informe, no teniendo otro objeto que el de deslindar mi responsabilidad.

HISTORIA

Para la mejor inteligencia de los hechos, me parece necesario recordar en pocas palabras la historia del dique de Talcahuano.

Los primeros estudios fueron hechos por el señor Lévêque en 1878 y completados en 1881. Habiéndose presentado proyectos contradictorios á los del señor Lévêque por los señores Santa María y Martínez, el Gobierno encargó la redacción de los planos definitivos al ingeniero holandés señor Dirks (1883), que fijó al dique las dimensiones siguientes:

Largo total del dique.....	174,40 metros
Largo del radier general.....	142,10 «
Ancho entre los coronamientos de los muros (á la entrada).....	22,80 «
Profundidad del agua á la entrada.....	9,25 «

El plano de comparación es el nivel de pleamar de aguas muertas.

La construcción debía hacerse en tierra, *probablemente* en la caleta del *Manzano*, indicada por el señor Martínez.

Contrato Dussaud.—El contrato celebrado con el señor Dussaud el 10 de Abril de 1888, contiene, entre otros, los artículos siguientes:

«Artículo primero. Don Luis Dussaud se compromete á ejecutar por su cuenta y riesgo un dique seco de mampostería y por el sistema de fundación de cajón ó cajones de hierro y aire comprimido, por la suma de 488 000 libras esterlinas. (*)

«Art. 2.° El local en que se construirá el dique es la caleta del Manzano, siempre que los sondajes que haga el contratista manifiesten que hay un fondo suficientemente sólido á la profundidad de quince metros bajo el cero de las mareas.

(*) Por disposición del Ministerio de Marina, de fecha 13 de Julio de 1889, se elevó esta suma á 546 320 libras esterlinas, es decir, á 13 658 000 francos oro.—Véase el *Boletín del Ministerio de Industria y Obras Públicas*, año 1889, tomo V, segundo cuatrimestre, pág. 71.—N. del T.

«Si no hubiere fondo sólido á la expresada profundidad, el contratista propondrá otras localidades de la misma bahía (Talcahuano), donde pueda ejecutar la obra con entera seguridad y el Gobierno se reserva la facultad de elegir entre las localidades designadas la que estime más á propósito.

«Art. 3.° El contratista es libre para elegir los procedimientos de construcción; pero ellos deben conformarse en un todo con las reglas del arte, de manera que parte alguna de la obra deje de tener el carácter de definitiva y de duración permanente.

«El contratista será responsable de las obras que haya ejecutado.

«Art. 4.° El dique seco tendrá las dimensiones en largo, ancho y calado determinadas en el proyecto del ingeniero don Justo Dirks, de 15 de Septiembre de 1883, *y presentará en sus detalles de construcción disposiciones análogas á las de los diques secos de Missiessy (Tolón), Marsella ó Génova.*

«Art. 5.° El Gobierno se reserva el derecho de introducir modificaciones durante el curso de la construcción de la obra, ya sea en las dimensiones del trabajo ó de sus partes, ya en los accesorios, ya en la naturaleza de los materiales.

.....

«Art. 8.° Los planos definitivos para la construcción del dique serán firmados por el contratista y se dejarán archivados, dándole recibo de ellos.

.....

«Art. 12. Los materiales de toda especie que se empleen en la construcción del dique serán de las mejores calidades conocidas (tomándose como base los empleados en la construcción de los diques secos de Tolón, Marsella ó Génova).»

Después de estudios personales, el contratista ha preferido ubicar el dique en el banco de *Marinao*, en profundidades bastante grandes, y construir las mamposterías por el sistema de dos pequeños cajones con aire comprimido. Es menester notar que el contrato de 10 de Abril de 1888 sólo impone las dimensiones dadas por el señor Dirks, y que, además, han sido modificadas más tarde. Ningún detalle se precisó, lo que debía necesariamente ocasionar divergencias entre el Estado y el contratista. Para resolverlas había que referirse á las disposiciones análogas de Missiessy, Génova y Marsella, estipulación bastante vaga, por no tener los expresados diques casi ningún punto común.

MEDIOS DE EJECUCIÓN

Elegida la ubicación de Marinao, ha tenido que hacerse con bloques artificiales y enrocados un recinto de abrigo. Para la ejecucion de estos trabajos accesorios, ha habido, parece, contratos especiales que no conozco.

Derrocamientos.—La roca se encuentra á los 5 metros, término medio, y hay que sacarla hasta la profundidad de las fundaciones. Se compone de capas muy variadas como composición y como resistencia; es una arenisca que por la presencia de amonitas y otros fósiles característicos se clasifica en los terrenos secundarios; según el doctor Philippi pertenece á la formación cretácea superior.

Para excavar la roca, se ensayó primero, como era natural, la draga y la mina submarina: el poco resultado obtenido hizo abandonar este sistema, que habría sido mucho más expedito. Hoy la draga por sí sola da un débil rendimiento, y el derrocamiento se termina trabajando directamente con los dos cajones de aire comprimido.

Cajones.—Cada cajón tiene cerca de 20 metros de largo por 6,50 metros de ancho y 3,30 metros de alto. Está suspendido por 20 tirantes de fierro, terminados en un tornillo de acero, á un puente superior que reposa sobre dos chalanas (fig. 3).

Cuando el cajón desciende hasta hallar la roca, los obreros comienzan la excavación empleando primeramente la mina; en seguida concluyen el emparejamiento con las herramientas del minero, continuando de esta manera hasta llegar al terreno sólido.

Terreno.—Al lado de partes resistentes, se encuentran, especialmente en las partes superiores, otras que no ofrecen ninguna consistencia. Se hallan á veces filones de arcilla amarillenta que provienen de la descomposición de rocas micáceas, casi fluídas, cuyo espesor es variable y que además se dice que desaparecen con la profundidad.

Las partes sólidas ofrecen una base excelente para las fundaciones. Sin poseer los medios exactos de ensayo, he efectuado uno, algo grosero, pero suficiente para atestiguar que se puede construir sobre esta roca con toda seguridad. Sobre una muestra irregular de buena calidad, próximamente de 0,20 metro por 0,10 metro y por 0,08 metro de espesor, hice reposar la base de un prisma recto cua-

drado de madera, de 21 milimetros por lado (sea 4,41 centimetros cuadrados de superficie). La otra base se cargó de piedra cuyo peso se elevó á 127 kilogramos. Cada centímetro cuadrado ha soportado, pues, $\frac{127}{4,41} = 28,80$ kilogramos. La madera no dejó impresión en la piedra. No teniendo una instalación conveniente, no he podido hallar el límite de la ruptura; pero se ve que la resistencia pasa con mucho de 30 kilogramos por centimetro cuadrado.

Ahora bien, en un máximum el peso que soportará cada centímetro cuadrado, frente á los muros, debido á una mampostería de 14 metros de altura y de 3000 kilogramos de densidad por metro cúbico, es de 4,20 kilogramos, y la presión que debe repartirse sobre la superficie de la fundación es realmente menor.

Pero, lo repito, especialmente en las capas superiores se tiene un terreno de resistencia muy variable. Es, pues, indispensable que la excavación se continúe hasta encontrar la arenisca sólida; según el sistema adoptado, la fundación presentará escalones longitudinales; no importa, la regla debe ser general. Á toda costa es preciso llegar á la roca de *resistencia igual y suficiente*. Entre ciertos límites es más peligroso fundar sobre un terreno de resistencia desigual que sobre un terreno de resistencia menor: las mamposterías sometidas á una compresión irregular están expuestas á una dislocación.

Excavación.—La excavación se opera trabajando la roca dentro de los cajones, primero á la mina, después á la picota en la capa inferior, á fin de nivelarla y no agrietarla. Es un procedimiento que exige grandes precauciones; el empleo de la mina tan cerca de las mamposterías ya construídas, y sobre rocas expuestas á desagregarse, es muy delicado. Es, pues, prudente limitar la porción que ha de trabajarse á la mina.

PROYECTO DEFINITIVO

El proyecto definitivo tal cual se ejecuta en este momento, no se parece ya al del señor Dirks. El dique tendrá una longitud total de 200 metros, y se halla dividido en su longitud en dos partes: una de 130 metros y otra de 70 metros. La primera tendrá 9 metros 25 centimetros de profundidad; la segunda solamente 8 metros. Barcos-compuertas, en número de 3, pueden aún operar tres

combinaciones de longitud. El gran compartimiento, cerca de la entrada, tendrá 23 metros de ancho y el otro 17 metros. El objeto que se ha querido alcanzar es de poder reparar al mismo tiempo dos buques de la armada. En el pequeño compartimiento sólo pueden entrar los buques menores que la *Pilcomayo*, según las dimensiones de los buques de la armada, que ha tenido á bien suministrarme, con mucha amabilidad, el señor Almirante Sub-secretario de Estado del Ministerio de Marina.

La figura 1 representa el plano general del dique y la figura 2 una sección transversal.

Mamposterías.—Cuando se ha terminado en un cajón la excavación, se introducen los materiales para la mampostería, y se construye un bloque que mide próximamente 19 metros de largo, 4 de ancho y 1,50 de alto (114 metros cúbicos).

Hé aquí el orden de la ejecución de la mampostería. Se construyen en primer lugar, por medio de los cajones, los dos muros *A* y *B*, en toda la longitud del compartimiento pequeño y del hemiciclo. Hecho eso se cerrará ese compartimiento pequeño, por medio de una ataguía provisional. Se agotará el interior y se hará la excavación. Se construirá en seguida el radier al aire libre.

Los muros se componen de dos partes: una inferior cuyo espesor es superior á 8 metros y que llega hasta el nivel del radier; la superior es más delgada (fig. 2).

La parte inferior no puede ejecutarse de una sola vez, pues el cajón tiene sólo 6,50 metros de ancho total. Se la construirá por medio de dos filas paralelas de bloques *MM'*. Cuando los bloques de la fila *M* se hayan terminado, lo que ha necesitado naturalmente cada vez el cambio de lugar en longitud del cajón, se fija éste contra el paramento *ab* del bloque *M* para excavar la roca y construir en seguida el bloque *M'*.

Pero las paredes del cajón impiden evidentemente juntar el bloque *M'* al bloque *M*, y queda entre ellos una ranura longitudinal de 0,60 metro de ancho que se llena con hormigón á medida que el trabajo avanza.

Del mismo modo que entre los bloques de la fila *M* quedan ranuras semejantes; de suerte que esos bloques inferiores del muro están colocados de manera que se contraponen, y hay así tres capas superspuestas.

Encima de estas tres capas debe terminarse el muro por bloques

aislados en el sentido de la longitud y que constituirán el espesor.

Examen del sistema.—En el fondo, el sistema consiste, pues, en poner unos al lado de otros, en la parte inferior de los muros, una serie de bloques de mampostería, cuyos intersticios se llenan con hormigón.

Ahora bien, éste no es el sistema empleado en Marsella, ni en Tolón (Missiessy), ni en Génova.

Entre estos tres puntos, se ha tratado de obtener, como siempre, un radier general que presente lo menos posible soluciones de continuidad.

En Marsella fué fácil, por haberse ejecutado los trabajos al aire libre al abrigo de una ataguía.

En Tolón (Missiessy) el radier se construyó de una sola pieza, con un solo cajón, inmenso, que abarcó toda la construcción.

En Génova, el cajón para la ejecución del radier tenía 38 metros de largo por 32 metros de ancho; de manera que el ancho pudo hacerse de una sola vez. En el largo, es verdad, hay varias junturas; pero solamente la longitud, (36 metros para la gran dársena), era ya una garantía; y además se han tomado disposiciones especiales para evitar los inconvenientes.

Naturaleza de la mampostería.—No sólo los bloques aislados de Talcahuano están expuestos á depresiones irregulares, que podrían traer dislocaciones parciales, á causa de que el terreno de las fundaciones no es muy homogéneo, sino también que la unión entre esos bloques, hormigón contra mampostería, no puede ser tan perfecta como si toda la construcción fuese de hormigón, como acontece en Missiessy y en Génova. Un hormigón bien apisonado es más impermeable que una mampostería, que no puede jamás garantizarse bajo este punto de vista. Además se concibe que el hormigón de los rellenos pueda quedar mal adherido á las paredes unidas de los morrillos, especialmente cuando esas masas están ya desde algún tiempo sumergidas en el agua del mar y pueden ser cubiertas con limo, que á causa del sistema empleado hay gran dificultad en quitar.

Estas críticas ¿significan, acaso, que se producirán filtraciones? No podré asegurarlo y me contento con decir que con otro sistema se habría puesto más á cubierto contra todo evento. Pero es muy posible que la construcción sea absolutamente impermeable.

Lo que es seguro, es que después del establecimiento de la ataguía provisoria, cuando se haya excavado y agotado el interior de la fosa, antes de construir el radier, las fundaciones de los muros soportarán del agua exterior una presión superior á la que experimentarán en seguida. Entonces, si el terreno de fundación no fuera muy homogéneo, si las junturas de los bloques no son muy impermeables, se declararán filtraciones.

Este será el momento crítico y decisivo. Si se consigue remediar los inconvenientes que se han podido constatar (y pienso que se conseguirá el fin deseado) nada habrá que temer en el porvenir, porque las cosas irán mejorándose, si los materiales empleados han sido de buena calidad.

MATERIALES

Piedra.—La piedra es excelente, es un granito compacto, extraído de una cantera situada á algunos kilómetros de San Rosendo (*).

Para activar el trabajo se ha pensado explotar otro yacimiento que me ha parecido de calidad muy inferior. Una muestra de la primera clase de piedra ha dado, según mis experiencias, 3 como peso específico, lo que es mucho.

Cal y cemento.—Además de la cal hidráulica del Theil, la Empresa ha recibido cemento de distintas marcas. En los primeros tiempos se han aceptado á veces, otras veces rehusado, sin examen científico completo.

El último ingeniero-inspector jefe de los trabajos, señor V. Martínez, hizo cesar este estado de cosas y sometió las cales y cementos á pruebas publicadas en el *Boletín del Ministerio de Industria y Obras Públicas* de Diciembre de 1890, las que deben consultarse para juzgar de estos materiales.

Las experiencias han sido ejecutadas en las mismas condiciones con que se llevan á cabo en los laboratorios europeos y se puede

(*) Por decreto de este Ministerio número 2,396, de 25 de Octubre de 1889, se dispuso que los Ferrocarriles del Estado transportarían al pie de la obra del Dique de Talcahuano, á lo menos por cada semana, mil toneladas de piedra, abonando el contratista 28 centavos por tonelada métrica, ó sea 4 pesos 20 centavos por carro cargado con 15 toneladas de piedra. (Véase el *Boletín del Ministerio de Industria y Obras Públicas*, tomo VI, página 282.)—N. del T.

tener tanta más confianza en ellas cuanto que consignan las irregularidades como las analogías.

No puedo sino aconsejar la lectura de ese notable trabajo. Debo, por lo tanto, tomar de él algunos resultados muy interesantes en la aplicación.

Aparte del análisis químico de ciertas materias, como el ácido sulfúrico y la magnesia, cuya presencia en cantidad notable en los cementos los hace inadmisibles (análisis que no ha podido hacer el señor Martínez por falta de laboratorio), el más importante ensayo es el de la resistencia á la tracción.

Resulta, pues, de las experiencias del señor Martínez que ninguno de los cementos empleados en Talcahuano habría sido admitido en Europa, ya que ninguno de ellos responde á las condiciones exigidas.

Sin embargo, nadie pondrá en duda el derecho del contratista para emplearlos; porque entre las marcas que ha recibido se encuentra aquélla que el Supremo Gobierno en sus pedidos considera como la mejor, el *Best Best*, y es precisamente el que en el mortero con arena ha dado peor resultado. Los otros serían, en consecuencia, superiores.

No he podido repetir las experiencias del señor Martínez por no tener los instrumentos necesarios; pero se comprende que la consecuencia sería la interdicción de la mayor parte de los cementos ensayados. Me permito aún á este respecto indicar la necesidad de tener un laboratorio de ensayos, hoy que los materiales de esta naturaleza se emplean en tan grande escala en Chile.

Arena.—La calidad de la arena empleada en la confección del mortero deja mucho que desear. Es de esa arena negra muy fina que se encuentra en una gran parte del litoral de la República, y cuyo examen ha tenido á bien hacer el señor Nogués, á instancias mías, en una muestra tomada en las riberas del Maule. El cuarzo sólo forma la décima parte (1/10), el resto comprende más ó menos la vigésima (1/20), de óxido magnético de hierro, de otros óxidos de hierro, de silicatos, de restos de rocas cristalizadas, etc. La composición precedente demuestra que debiendo ser esencialmente cuarzosa la arena para los morteros, la extraída de la bahía de San Vicente no ofrece las garantías necesarias; se puede aún convencerse más al notar que la menor presión basta para desagregarla.

Además, en las experiencias del señor Martínez, los morteros fabricados con esta arena han dado resultados muy inferiores á los obtenidos con la arena blanca, casi enteramente cuarzosa, proveniente de las pequeñas caletas situadas cerca de la *Punta Parra* en la bahía de Talcahuano.

Ésta es de grano más grande, muy limpia y daría un excelente mortero. Pero el acceso á las caletas es difícil, y sería tal vez necesario construir un muelle para embarcarla. Por otra parte, la cantidad de ésta no es muy considerable (más ó menos 2 000 metros cúbicos explotables).

La arena de la playa de Lirquén (en la misma bahía, de acceso fácil y muy extendida) es igualmente cuarzosa; pero es más fina que la de *Punta Parra*. Sin embargo, la de San Vicente es más fina todavía. Un cedazo de construcción rudimentaria que contenía, según creo, 150 mallas por centimetro cuadrado ha dejado pasar:

Punta Parra	Lirquén	San Vicente
Menos de 10 %	50 %	más de 85 %

Esta arena de Lirquén, bajo todo concepto, valdría, pues, más que la de San Vicente. Se obtendría un excelente resultado mezclándola con una cierta proporción de la de Punta Parra, cuya cantidad sería entonces suficiente.

Experiencias recientes han demostrado, en efecto, que la mejor arena es aquélla que contiene granos variados.

El peso del metro cúbico de estas arenas es, más ó menos, el que sigue:

Punta Parra	Lirquén	San Vicente
1 450	1 400	1 360

Mezclando $\frac{1}{10}$ de la primera con $\frac{9}{0}$ de Lirquén, se tendría una arena de más ó menos de 1 410 kilogramos de peso, que me atrevería á recomendar. Creo que la sustitución, al menos, de la arena de San Vicente por la de Lirquén se impone (*).

Cales y cementos.—Siendo indispensable un análisis químico para

(*) Después de presentado al Ministerio de Obras Públicas este Informe, se dió al contratista la orden de emplear la arena de Punta Parra, lo que actualmente se lleva á cabo.—N. del T.

poder dar un juicio sobre estas materias, el señor Lemétayer ha tenido á bien encargarse de hacerlo, análisis que acompaño al final de este Informe.

Cajones.—He examinado bajo el punto de vista de la seguridad de los obreros las amarras del cajón.

Éste, desprovisto de lastre, pesa, según se me ha dicho, 150 toneladas. Es la cifra que debe tomarse para el caso de la carga máxima, que tendrá lugar cuando se levante el cajón, después que se haya construído el último bloque superior, operación que exige, además, la supresión de las clavijas de la chimenea.

Los tornillos, en número de 20, deben, pues, soportar cada uno 7,50 T.; su vástago de acero, teniendo en el interior de la rosca 0,075 *m* de diámetro, ofrece una resistencia á la tracción de más de 40 T.

Los tirantes dobles que forman la cadena de soporte, tienen 0,050 *m* de diámetro y pueden soportar 11,75 T. cada uno y están cargados de 3,75 T. El pasador de unión, del mismo diámetro, basta igualmente para el peso que debe llevar. Sólo es de temer un accidente en el caso de una maniobra mal hecha, por apretar unos tornillos más que otros, accidentes que el hábito de los obreros hará más y más difícil su realización.

RESUMEN

En resumen, señor Ministro, tomando los hechos tales como se encuentran hoy día y sin buscar las críticas á que pudieran haber dado lugar los planos primitivos y la marcha de la ejecución adoptada, no puedo menos que formular las siguientes conclusiones:

1.ª Componiéndose el terreno de las fundaciones de capas diferentes, es indispensable, en el establecimiento de cada bloque, cavar hasta que se encuentre un suelo de resistencia *suficiente y homogéneo*.

2.ª Es preciso limitar prudencialmente la zona de extracción de la roca á la mina.

3.ª Es necesario tener mucho cuidado en el relleno de las ranuras de los bloques por medio del hormigón.

4.ª Si antes de la construcción del radier al aire libre se reconocieren filtraciones, será preciso extinguirlas por procedimientos

especiales, antes de ejecutar la mampostería. De otra manera, el porvenir del dique podría comprometerse.

5.ª La arena de San Vicente debe proscribirse y reemplazarse por una mezcla de la de Punta Parra y de Lirquén, en todo, ó por lo menos por la de Lirquén.

6.ª Salvo disposicion posterior, los cementos deben emplearse con mucha reserva en las proporciones actuales: la cal del Theil de los sacos manifiestamente averiados debe rechazarse; la de los demás sacos y barriles podrá emplearse en las partes que no estén expuestas á la acción del agua del mar.

Reciba, señor Ministro, el homenaje de mi profundo respeto.

Santiago, 28 de Octubre de 1891.

C. J. DE CORDEMOY.

Complemento

Este complemento trata del análisis de los cementos y de la cal del Theil, que se emplean en los trabajos del Dique seco de Talcahuano.

Las muestras que he remitido al señor Lemétayer han sido elegidas entre las buenas; he desechado todo lo que era evidentemente averiado, especialmente respecto de la cal del Theil. Adjunto á esta nota los resultados de los análisis que han sido ejecutados con una precisión especial por el sabio químico de la Quinta Normal, en vista de las consecuencias á que pueden dar origen.

Cementos.—El cemento *Niel-on-Rupell* presenta una finura de grano muy notable; la composición es casi normal; sin embargo, la proporción de ácido sulfúrico es un tanto fuerte. En Francia se rechaza todo cemento en que esta proporción alcanza 1,500 y ella llega aquí á 1,415. El sulfato de cal es muy peligroso en el mar.

«La pérdida por el fuego» que comprende el ácido carbónico, la humedad y las materias volátiles, da 1,500 + 3,300 = 4,800. Esto prueba que la conservación no es perfecta. «Si la pérdida por el fuego es superior á 3%, dice el señor Candlot, el cemento ha perdido una parte de su energía». Como á primera vista este cemento parece bien conservado, aunque presente partes aglomeradas en

forma de bolas, se ve que la cuestión del transporte del cemento á Chile, para obras delicadas, exige que se estudie con cuidado.

La cantidad de arena es de 2,800. Es demasiado también. «Si se encuentra más de 1,50% el cemento podría ser considerado como mal fabricado» (Candlot).

En el cemento *Excelsior* la conservación (pérdida por el fuego 4,800) está en grado igual al precedente. Hay en él menos ácido sulfúrico, pero más magnesia, substancia igualmente peligrosa. La cantidad de arena es absolutamente fuera de proporción: es de 3,300. Agregaré que esto no puede tener otro resultado sino el de influir en las proporciones de las mezclas.

Cal del Theil.—El análisis me obliga á volver sobre lo que he dicho á propósito de esta cal. La pérdida por el fuego es 9,400. Es claro que la acción del aire está muy avanzada y que la traba se hallaría muy comprometida. Hoy más que nunca creo que sólo se debe emplear esta cal, si se la acepta, en las partes de la obra no expuestas á la influencia del mar.

Proporciones de los morteros.—Para un dique la proporción de cemento debe ser de 500 kilogramos por metro cúbico de arena, cuando el cemento es de muy buena calidad. Es muy prudente, en Talcahuano, aumentar un poco esta proporción. Es lo que se hace actualmente (220 litros, que pesa 1300 kilogramos cada uno, por medio metro cúbico de arena), y creo que no se debe de ninguna manera tratar de disminuir las proporciones. Con la arena de San Vicente sería muy peligroso.

Aprovecho esta oportunidad para hablar todavía de esta arena y citar todo un pasaje, muy interesante para el caso presente, de uno de los autores que se han ocupado más recientemente de la cuestión:

«Las arenas gruesas contienen casi siempre cierta proporción de arena mediana y de arena fina, que hace su empleo excelente. Es preciso evitar, aún á costa de grandes sacrificios, el empleo de las arenas finas; en todo caso conviene emplearlas exclusivamente en las partes superiores de la obra ó en las mamposterías de relleno, al abrigo de los paramentos y aun á partir de cierto nivel, que debe determinarse según los casos.

«Cuando los morteros deben emplearse de mamposterías en el mar, susceptibles de ser dañadas inmediatamente después de hechas, conviene no perder de vista el aumento considerable de re-

sistencia que se obtiene con la arena gruesa al principio de la traba y examinar si en las partes expuestas á averías en el desarrollo de la construcción no sería más económico aumentar el grueso de la arena, aun cuando fuere necesario fabricarla ó hacerla venir de muy lejos, que de aumentar la proporción de cemento».

Estas reflexiones me parece que corroboran completamente lo que he dicho á propósito de la arena.

Reciba, señor Ministro, la expresión de mi profundo respeto.

C. J. DE CORDEMOY.

Estación Agronómica de Santiago.

Santiago, 7 de Noviembre de 1891.

Análisis núm. 230.—Muestra de cemento Excelsior, enviada por el señor C. J. de Cordemoy:

Designación de los cuerpos dosificados	Tanto por ciento
Acido carbonico	1,500
Cal total	59,000
Sílice combinada	23,200
Arena, etc	3,300
Peróxido de fierro	2,300
Alúmina	5,300
Magnesia	1,100
Ácido sulfúrico	0,885
Humedad y materias volátiles	3,300
Materias no dosificadas	0,115
	100,000

Cal viva	6,636
Carbonato de cal	3,409

P. Lemétayer.

Santiago, 7 de Noviembre de 1891.

Análisis núm. 231.—Muestra de cemento Niel-on-Rupell, enviada por el señor C. J. de Cordemoy:

Designación de los cuerpos dosificados	Tanto por ciento
Ácido carbónico	1,750
Cal total	60,000
Sílice combinada	20,100
Arena, etc	2,800
Peróxido de fierro	2,600
Alúmina	6,200
Magnesia	0,949
Ácido sulfúrico	1,415
Humedad y materias volátiles	3,950
Materias no dosificadas	0,236
	100,000
Cal viva	8,300
Carbonato de cal	3,977

P. Lemétayer.

Santiago, 7 de Noviembre de 1891.

Análisis núm. 232.—Muestra de cemento Theil, enviada por el señor C. J. de Cordemoy:

Designación de los cuerpos dosificados	Tanto por ciento
Ácido carbónico	2,000
Cal total	62,500
Sílice combinada	21,900
Arena, etc	2,200
Peróxido de fierro	0,415
Alúmina	1,585
Magnesia	1,015
Ácido sulfúrico	0,800
Humedad y materias volátiles	7,400
Materias no dosificadas	0,185
	100,000
Cal viva	14,700
Carbonato de cal	4,545

P. Lemétayer.

SEGUNDA PARTE

Santiago, 1.° de Noviembre de 1892.

Señor Ministro:

Estoy de acuerdo, respecto del estado actual de los trabajos del Dique de Talcahuano, con los otros dos señores miembros de la Comisión, con cuya compañía fuí muy feliz y muy honrado. Tal vez, en consecuencia, me habría sido suficiente firmar el informe común que hemos tenido el honor de presentar á US; pero la situación especial en que me ha colocado la publicación del Informe que el año último sometí á su consideración, el honor que me han hecho el Gobierno y la Honorable Cámara de Diputados de tomar en cuenta este Informe, me parece que pueden permitirme la libertad de añadir algunas palabras personales.

Me refiero á este primer Informe, en todo cuanto concierne al origen que atribuyo á las dificultades que se presentan hoy como entonces: un contrato bastante vago, ventajoso para el contratista en alto grado, sin duda á causa de la confianza del Gobierno en los promotores de la Empresa; la presentación por el contratista de un material (cajones) contrario á las prescripciones del contrato, y que, según mi parecer, no ofrecía las garantías de seguridad que el Estado tenía derecho de exigir; la novedad, en fin, de esta construcción, tanto para el contratista como para el país. Estas condiciones han bastado para que al principio, los trabajos no hayan podido tener el grado de precisión exigible y para que todas las obras subsiguientes hayan de resentirse por esta causa.

Importa que estas consideraciones se tengan presentes para que se pueda dar á mi opinión, sobre los puntos particulares, su verdadero significado.

En octubre del año último, cuando fuí á Talcahuano, los puntos principales, á los que concreté mi atención, fueron los siguientes:

1.° Dimensiones de los cajones;

2.° Ejecución de la albañilería, antes del desmonte completo de la roca;

3.° Calidad de la arena;

4.° Ejecución de la albañilería; y

5.° Calidad de los materiales.

Cajones.—No volveré á tratar de cuanto he dicho á propósito de la elección de estos aparatos, que han obligado á ejecutar la albañilería en contradicción á las reglas del arte, con gran retardo y pérdidas aún para el contratista. Pero cuando fuí consultado, hice notar que los trabajos estaban ejecutándose, y eran aceptados en esa forma. El cambio, entonces como hoy, habría ocasionado una pérdida de tiempo considerable que sería, en verdad, compensada, al menos en parte, por la rapidez ulterior de los trabajos. No estaba, no estoy aun bastante seguro si el empleo de estos cajones ocasionará necesariamente infiltraciones, para insistir en la necesidad inmediata de este camb o.

Ejecución de la albañilería antes del desmonte.—El Gobierno ha ordenado, después de esa época, que se desmonte completamente el lugar que ocupará el dique grande antes de edificar los muros. Esta excelente medida permitirá reconocer la naturaleza de la roca y aplicar más convenientemente los remedios, llegada que sea la ocasión. Me he pronunciado netamente sobre la naturaleza general de la roca de fundación: es muy buena. Á veces se encuentran vetas amarillas, en las cuales, por el contrario, no tengo confianza; se decía, hace un año, que siempre eran superficiales, y recomendaba su extracción á toda costa. En conformidad á mis previsiones, se han encontrado dos que se internan profundamente. Si las precauciones ordenadas se han ejecutado bien, puede decirse que se las ha salvado en las mejores condiciones posibles, lo que no quiere decir absolutamente en buenas condiciones.

Calidad de la arena.—En principio, la arena negra de San Vicente no es arena, si me refiero á la definición dada por un autor muy entendido (Debauve): «Las verdaderas arenas se componen de granos de cuarzo, más ó menos angulosos», la cual es también mi opinión. Ahora bien, el polvo en cuestión sólo contiene un décimo de cuarzo. Además, es muy fino y leo en un notabilísimo tra-

bajo recién publicado sobre los morteros hidráulicos: «Resulta de numerosos experimentos que con arena muy fina parece imposible, *aún empleando fuertes dosis* de cemento (subrayado por el autor), confeccionar morteros que resistan á las infiltraciones del agua del mar.»

Por arena muy fina el autor entiende «la arena que pasa por un cedazo de 175 mallas y que no pasa por el de 280, *arena análoga á las de las dunas.*» Es precisamente el caso en cuestión.

De otro trabajo, aún más reciente, de un ingeniero cuya competencia especial en las cuestiones de cemento Portland está fuera de discusión, podría estractar, si no temiese ser muy largo y muy técnico, la explicación de «*los graves accidentes* que, dice el autor, se han tenido que deplorar en los puertos en que sólo se tenía á disposición para los morteros, arenas de dunas», pues «para evitar la descomposición de los morteros por el agua de mar, se debe..... rechazar las arenas finas.»

Por fin, la composición de esta arena, que la menor presión basta para desagregar, no es tal que inspire confianza.

Y, si se me permite, por fin, de citarme, para mostrar por lo menos que mi opinión á este respecto no ha nacido del examen de lo que se ha hecho en Talcahuano, he creído deber, en los proyectos que he sometido al Gobierno, para Constitución por ejemplo, estipular que la arena debería ser fabricada, si no se encuentra que convenga, fuera de la playa.

He insistido mucho sobre este punto hace un año, porque había encontrado resistencia por parte del contratista para renunciar á la arena de San Vicente y soportar los gastos que era necesario hacer para tomar la magnífica arena cuazosa de Punta Parra. Me permito aún la misma insistencia, pensando que tal vez no es inútil para el porvenir.

Después del 18 de Noviembre último (1891), los morteros se fabrican con la arena de Punta Parra, por orden del Ministerio de Obras Públicas.

Debo agregar que los morteros hechos con la arena de San Vicente, para los bloques del muro de abrigo, hace tres años, no presentan señales de descomposición. Pero se sabe que la alteración de los morteros por el agua de mar sólo tiene lugar después «de largos años»; sin duda que los pocos bloques que existen construídos con esta arena, en las fundaciones del dique chico, deben

también hasta aquí haber resistido y no darán infiltraciones, cuando dentro de poco se vacie este recinto; pero no garantizaría la impermeabilidad en el porvenir, y me refiero á lo que se dice á este respecto en el informe común de la Comisión.

Ejecución de la albañilería.—He criticado la manera muy peligrosa como se ejecutaban al principio las junturas entre los bloques de albañilería. Soy feliz al agregar que este sistema se ha cambiado y al hacer justicia al ingenioso procedimiento empleado por el señor Krauss, ingeniero jefe del Dique, que, según su propia expresión, ha sacado «el mejor partido posible de los útiles de que dispone la Empresa».

Calidad de los materiales.—El contratista sólo emplea los materiales ordenados por la Inspección y que son buenos. Me permitiré, sin embargo, una reserva sobre lo que se me ha dicho allá del fraguado rápido del cemento, que tiene lugar en una hora. No poseyendo los instrumentos necesarios, no he podido verificar este hecho. Si es verdadero, haré notar que en Francia se rechaza todo cemento cuya toma llega á verificarse antes de tres horas. Agrego que se me ha dicho que este cemento ha recibido una alta recompensa en la Exposición de 1889 en París; no sé, por lo demás, en cuáles condiciones.

En resumen, señor Ministro, se han verificado desde mi primera visita á Talcahuano importantes modificaciones en los trabajos del Dique. A pesar del material inadecuado y de los tropiezos del principio, se puede esperar que, con una vigilancia continua, este trabajo llegue á responder á las legítimas esperanzas de Chile.

Soy con respeto, de US., señor Ministro, muy A. y S. S.

C. J. de Cordemoy.

Informe relativo al Dique Seco de Talcahuano presentado por la Comisión nombrada por decreto de 21 de Octubre de 1892

Santiago, 1.° de Noviembre de 1892.

Señor Ministro:

En virtud de lo dispuesto por decreto supremo número 1,272, de 21 de Octubre último, nos trasladamos á Talcahuano para examinar los trabajos del Dique Seco, y como resultado de nuestro cometido tenemos el honor de remitir á US. el siguiente informe:

En la parte del banco de Marinao donde fué ubicado el Dique por recomendación del señor ingeniero de Gobierno, don Gustavo Prowe, en virtud de sondajes que le habían manifestado la existencia de un suelo firme, rocoso y que fué aceptada por el Consejo de Obras Públicas en sesión de 24 de Mayo de 1889, se encontró en ese entonces, según esos mismos sondajes, que el fondo en el hemiciclo estaba á los 7 metros de hondura é iba subiendo hasta los 5 metros en la boca de la fosa grande, como lo manifiestan las curvas de nivel del croquis adjunto. En la actualidad, después de haberse dragado la costra blanda superficial del banco, obtuvimos, por sondajes que hemos tomado, siguiendo la dirección de los muros del Dique, las cotas que se apuntan en el cuadro adjunto (anexo número 2), dando una profundidad de 9 metros á 8,8 metros en su mayor parte; por consiguiente, no se nota descenso en el terreno del hemiciclo hacia la boca de la fosa grande; y por el contrario, el fondo tiene ondulaciones y no se inclina ni en uno ni en otro sentido en la parte que está ubicado el Dique.

Como la cota de fundación de los muros laterales es de 11,85 *m* bajo el cero de las mareas, quedará la parte extrema del Dique empotrada en el suelo firme de 2,35 *m* en el muro poniente y de 5,55 *m* en el muro oriente; pero en este punto puede ser que quede un poco de terreno blando sin dragar. El radier cuya cota de fundación es 12,26 *m* bajo el cero de las mareas, quedará más enterrado.

La clasificación geológica de este terreno, en vista de los fósiles que en él se han encontrado, es la *Arkosa* del terreno cretáceo.

El suelo, en la parte reconocida por los mismos derrocamientos ejecutados, es homogéneo y rocoso casi en su totalidad, no habiéndose encontrado más que un pequeño fallo de tres metros en el hemiciclo, y otro de diez á cien metros de distancia del anterior en las excavaciones del muro oriente. El terreno de este fallo dió, según las experiencias directas del señor Martínez, una resistencia de 13 kilogramos por centímetro cuadrado sin deformarse, y sólo se desagregó con un peso de 64 kilogramos por centímetro cuadrado.

Por lo tanto, en vista de la parte ya derrocada, nada hace presumir, por lo que toca á la clase de fondo, que no puedan continuarse los trabajos en esa localidad, sin afirmar que no se encontrarán fallos como los anteriores.

El estado de avance de las albañilerías, á la fecha, lo pone de manifiesto el plano número 3, habiéndose continuado en los muros oriente y poniente 102 metros en cada uno, y en ellos encontramos las mamposterías á la cota de 1,80 *m* sobre la línea de mareas en cien metros. Los muros terminan en un arranque formado de escalones, cuya altura media se encuentra á la cota de 5 metros bajo el cero de mareas, encontrándose, además, á la misma cota media próximamente el resto de la mampostería sumergida. Á la fecha se preparan las albañilerías para la ataguía transversal, para poner en seco la fosa chica.

Hemos examinado detenidamente la parte de los muros ya ejecutada y que está fuera del agua, y no hemos encontrado en ella indicios de asentamiento, ni rasgaduras, ni desplomes que hagan presumir que exista algún peligro para la obra, sin que por esto

podamos asegurar que una vez puesto en seco el Dique, no puedan resultar filtraciones ó vías de agua, lo que en la actualidad es completamente imposible poder constatar.

Por los datos que hemos obtenido y comprobado después, la fundación del muro del hemiciclo y una parte de los muros laterales de la fosa chica se principiaron colocando 16 bloques de mampostería, con sus junturas trabadas y entre los cuales, por la disposición de los cajones, quedaban entre ellos espacios de 60 centímetros, que se rellenaron después con hormigón. Esta manera de rellenar las junturas entre los diversos macizos de mampostería no la encontramos eficaz y puede dar origen á filtraciones posteriores, sin que por ello se encuentre comprometida la estabilidad de la obra. En cuanto á las filtraciones que estas junturas rellenas con hormigón puedan ocasionar, no hay que olvidar que sólo se encuentra en estas condiciones desventajosas, para evitar vías de agua, la primera hilada inferior de la mampostería, la cual se encuentra cubierta con el resto de ella y con el revestimiento de la fosa de carena.

Tachada con muy justa razón esta manera de operar, el señor contratista modificó su procedimiento, y el resto de las mamposterías se ha ejecutado valiéndose de una ingeniosa disposición de los cajones, que permite hacer las uniones de los diversos macizos que forman los muros, en seco y con mampostería, en condiciones, por consiguiente, muy superiores á la parte de fundación ya mencionada, en la cual las uniones se hicieron con betón como lo manifiesta el plano anexo número 4.

Sin embargo, no podemos considerar este nuevo sistema como el más perfecto, por cuanto la parte baja del muro está construída en dos secciones, y aunque con el nuevo procedimiento casi se puede considerar que vienen á formar un solo bloque, hubiese sido preferible y quizá más económico para el contratista, que esta parte del muro se hubiera construido con un solo cajón y de una sola vez.

No pudiendo condenar, *a priori*, el procedimiento empleado actualmente para la construcción de los muros laterales, por cuanto, como lo hemos dicho, bien ejecutado puede ser bastante eficaz

para impedir filtraciones. Y como á la fecha se encuentran suspendidos los trabajos de mampostería en los muros laterales de la fosa grande y se preparan albañilerías para construir la ataguía, que permitirá poner en seco la fosa chica, pudiendo verse entonces prácticamente la eficacia del procedimiento empleado, creemos, señor Ministro, que para no introducir perturbaciones notables en las faenas, sólo se debe exigir el cambio del sistema, empleando un cajón bastante grande para hacer el muro en su parte inferior de una sola vez, si en la práctica que vamos á obtener dentro de poco se ve que es deficiente el procedimiento actual.

Al iniciarse los trabajos se empleó en ello la arena de San Vicente para la confección de las mezclas, hasta el 18 de Noviembre de 1891, fecha en que fué tachada en vista de los ensayos hechos con los morteros. Á este respecto el señor Martínez, jefe de la Sección de Hidráulica, cree que, dadas las condiciones en que ha sido confeccionada la mezcla hecha con arena negra de San Vicente, si bien es un tanto inferior como resistencia á la que actualmente se confecciona con arena blanca cuarzosa de Punta Parra, resistirá bien á la acción del agua del mar y, por consiguiente, que no habrá lugar á temer la descomposición de los morteros por esta causa.

Por el contrario, la opinión del señor de Cordemoy es que, dada la composición de la arena negra de San Vicente, que sólo tiene un diez por ciento de cuarzo con feldspato y óxido de hierro, hay realmente que temer la descomposición de los morteros en un plazo de tiempo más ó menos largo, que se puede decir casi con entera seguridad que no será menor de cinco años, por cuanto los bloques de los muros del recinto de abrigo, que han sido construídos hace tres años con estos mismos morteros, no dan aún indicios de descomposición. Hay, además, para los bloques de mampostería de los muros del Dique la circunstancia atenuante de que quedarán cubiertos con mampostería de buena calidad, por la parte interior de la fosa, con el revestimiento de piedra canteada y demás albañilerías que quedan por ejecutarse.

Nosotros, respetando estas opiniones, no podemos pronunciarnos á este respecto, por cuanto no hemos hecho experiencias y no

podemos hacerlas por ser de largo aliento; pero como nos basta que exista una probabilidad de descomposición de los morteros confeccionados con arena de San Vicente para que, á nuestro juicio, se tomen ahora las precauciones del caso, para evitar que se produzca este fenómeno, puesto que aún es tiempo y hay medio de proteger esta pequeña parte de las mamposterías, que se encuentran en desventajosas condiciones, según la opinión del señor de Cordemoy, y sospechosa por lo menos para el resto de la Comisión que no ha podido hacer experiencias. Creemos más aún: que el Ministerio del cargo de US. puede exigir al señor contratista la ejecución de estas medidas precautorias, en atención á que ellas vienen á proteger una parte de la construcción ejecutada con bloques de mampostería con junturas de 60 centímetros rellenas con betón, lo que evidentemente, como lo hemos dicho, no es un procedimiento aceptable para trabajos marítimos y que no tenía derecho de usar, según las cláusulas de su contrato.

Como estos 16 bloques de mampostería, confeccionados con arena de San Vicente, se van á encontrar protegidos en la parte interior del Dique, con el revestimiento que se hará de buena mampostería y piedra canteada, creemos que, para evitar todo peligro por temor de descomposición del mortero, sirviendo al mismo tiempo eficazmente para disminuir las probabilidades de vías de agua por las junturas rellenadas con betón, será necesario exigir al señor contratista la ejecución de un muro de protección por la parte exterior, de dos metros de espesor, con la altura suficiente para toda la parte que creemos defectuosa.

La construcción de este muro no la creemos costosa á la fecha, siendo casi imposible si se piensa en ella cuando ya se hayan terminado las instalaciones; por cuyo motivo recomendamos este punto á la consideración de US., desapareciendo con esta medida, á juicio de la Comisión, las críticas que actualmente se hace á los trabajos.

Pasando ahora á contestar el cuestionario que US. ha tenido á bien remitirnos por nota número 294, de fecha 28 de Octubre próximo pasado, podemos decir á US. lo siguiente:

1.° *Naturaleza del terreno elegido ¿Será homogéneo?*—Ya lo hemos

dicho en nuestro informe; el suelo es la *Arkosa* del terreno cretáceo, bastante resistente, en gran parte de la extensión del dique. Hasta la fecha se han encontrado dos fallos y puede suceder que se encuentren otros en la parte que aun queda por reconocer.

2.° *Materiales empleados.*—Los que se usan á la fecha son los mejores que se pueden obtener. Al principio de los trabajos se aceptó la arena negra de San Vicente, y ya hemos indicado en el cuerpo de este informe nuestras opiniones á este respecto y la manera de corregir el desperfecto que ello ha ocasionado.

3.° *Grietas.—Hundimiento del muro oeste.*—No hemos visto ninguna grieta, ni hemos encontrado el menor indicio de hundimiento en los muros ya hechos.

4.° *Inconvenientes de que los muros de albañilería sean de dos espesores en lugar de uno.*—Creemos que lo que se ha querido preguntar es si hay inconveniente en que se construya la albañilería del mismo muro en dos porciones. Á este respecto, ya lo hemos dicho también en el cuerpo de nuestro informe, que creemos hubiese sido mejor hacer el muro con un cajón que permitiese su construcción de una sola vez; pero el procedimiento actual que permite hacer en seco todas las junturas de los macizos con mampostería, lo creemos más costoso para su ejecución, sin que podamos decir que sea defectuoso; por cuanto bien ejecutado podrá dar mamposterías que den lugar á pocas filtraciones, dando por lo demás seguridad completa para la estabilidad del muro.

5.° *Espesor adoptado para el emplantillado.*—Lo creemos muy suficiente.

6.° *Colocación de las cañerías de desagüe.*—Con la disposición actual del Dique no se necesitan cañerías de desagüe: el agua correrá directamente á las bombas.

7.° *¿Será ó no necesario un emplantillado general?*—Hemos creído entender que lo que se nos pregunta es si sería más conveniente haber trabajado el emplantillado antes que los muros laterales; á este respecto decimos que sí, sin que esto signifique que el trabajo en la forma que se ejecute se encuentre en malas condiciones.

8.° *En caso que sea necesario, ¿sería posible ó no hacerlo en el estado actual de los trabajos?*—Ya lo hemos dicho: habríamos creído preferible principiar por el emplantillado, para después colocar los muros laterales; y creemos que podrá colocarse lo que falta en bue-

nas condiciones, pero si fuera necesario en el estado actual hacer primero todo el emplantillado, ya no sería posible.

9.° *Espesor de los muros laterales.*—Lo creemos muy suficiente.

10. *¿Será un buen sistema el emplear una ataguía de albañilería que habrá que demoler después para cerrar provisoriamente el dique chico?*—No vemos inconveniente para que se construya esta ataguía, que apoyándose en los muros laterales del Dique en sus costados, y en el emplantillado definitivo en el fondo, será formada con materiales ligeros (piedra de San Vicente) lo que permitirá su fácil demolición, sin dañar las mamposterías del dique.

11. *Plazo para la conclusión definitiva del dique chico.*—No podemos fijar plazo para la conclusión definitiva del dique chico; por lo demás, ello tendría una importancia secundaria, mientras estén en actividad los trabajos. Suponiéndola terminada mucho antes que la fosa grande, no podría utilizarse, porque las chalanas que suspenden los cajones que trabajarían en esta última fosa impedirían el paso á los navíos que quisieran entrar á la fosa chica.

12. *Plazo para la conclusión definitiva del dique grande.*—Á este respecto diremos que no habiendo ningún acontecimiento extraordinario y si el señor contratista trabaja como debe y puede hacerlo, á la vez que la Administración, por su parte, ponga todo el empeño posible, en dos y medio años más los trabajos estarán enteramente terminados.

Dios guarde á US.

D. V. Santa María.

E. Vigneaux.

Camilo J. de Cordemoy.

ETUDE

SUR

LES PORTS DE CONSTITUCION ET CORRAL

LES PORTS DE CONSTITUCION ET CORRAL

ET

AMÉLIORATION DES RIVIÈRES MAULE ET VALDIVIA

CHAPITRE I

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

La République du Chili est essentiellement maritime. Un pays dont les côtes s'étendent du 18e au 55e degré Sud, sur une longueur de plus de 4000 kilomètres, auxquels il faut ajouter le développement des nombreux replis de ses golfes et de ses archipels, est appelé à devenir surtout une puissance navale, comme l'Italie, à laquelle on peut la comparer pour la forme, et dont la flotte commerciale est la première du monde après celle de l'Angleterre.

La vaste entreprise de chemins de fer, à laquelle s'est consacré le Gouvernement, touchera bientôt à sa fin, le territoire ne comportant guère qu'une ligne centrale avec quelques branches latérales. La plupart de celles-ci, comme la voie ferrée de Talca à Constitución, auront pour objectif les ports du littoral, ces portes de la mer par lesquelles le Chili enverra à l'étranger les produits d'un sol encore à peine exploité.

Tout concourt à rendre prochaine l'exécution d'un programme de travaux maritimes, destinés à coopérer au développement de la fortune publique et privée. Sans doute même, leur réalisation

ne pourra répondre assez vite aux nécessités reconnues. Déjà au grand entrepôt du Pacifique, Valparaiso, l'absence d'un abri contre les tempêtes du Nord et d'aménagements pour les besoins commerciaux, en rend la fréquentation parfois dangereuse et l'exploitation coûteuse.

Talcahuano, Coronel, situés sur de magnifiques baies, sont exposés aux vents de certains quadrants. Plus au Sud, Corral présente un abri sûr, mais restreint, au milieu d'une rade immense que des travaux bien entendus pourraient utiliser tout entière. Ce n'est pas tout. Ce port, l'unique de la côte méridionale, semble menacé dans son avenir par l'amoncellement des sables.

Les projets nécessaires à l'exécution des œuvres maritimes exigent des études préalables longues et difficiles; il serait prudent d'aviser à ce qu'elles ne fassent pas défaut au moment nécessaire. Chargé par le Gouvernement de l'établissement des plans pour Constitución et Valdivia, j'ai eu la bonne fortune de profiter de travaux antérieurs, dont quelques-uns très remarquables. Mais ce sont presque les seuls points pour lesquels on possède des termes de comparaison. S'ils n'avaient pas existé, il aurait fallu des délais beaucoup plus longs pour la présentation de cette étude.

Dans les travaux maritimes, la généralisation des faits conduit parfois à de grandes erreurs. Un examen superficiel, l'observation d'un résultat dans une autre localité, peuvent faire croire à une solution possible des problèmes posés. Il n'en est rien souvent; et la connaissance des conditions spéciales du point dont on s'occupe peut seule être la base d'un projet raisonné.

Avant de m'occuper exclusivement de Constitución et de Valdivia, et pour éviter les redites, j'ai jugé nécessaire de douner un résumé des observations que j ai pu réunir sur les côtes chiliennes. Non seulement elles serviront à éclairer les études particulières qui m'ont été confiées, mais ce seront aussi des jalons posés pour la réalisation du programme de recherches que je crois nécessaire à l'exécution des travaux futurs.

J'en ai pris les éléments dans mes observations personnelles et aussi dans diverses publications, notamment *l'Anuario Hidrográfico*,

l'*Anuario de la Oficina Central de Meteorologia*, et dans les documents inédits de l'*Oficina Hidrográfica*, qui ont été mis à ma disposition avec beaucoup de bienveillance.

Vents

Les stations météorologiques installées au Chili observent la direction des vents trois fois par jour. Ces renseignements, publiés dans l'*Annuaire Météorologique*, sont fort importants; mais il leur manque deux indications intéressantes: 1.° la vitesse exacte du vent; 2.° sa durée. Les divers observateurs ne sont pas d' accord sur les estimations, ce qui n'est pas étonnant. L'un écrit *Calme*, quand un autre marquerait *Vent faible;* et il peut en résulter de grandes différences dans la désignation des vents régnants. Des instruments enregistreurs seuls mettraient à l'abri de ces divergences.

J'ai réuni (pl. I) la traduction graphique, suivant le procédé ordinaire de la rose, des vents observés dans les diverses stations météorologiques de la côte. Les diagrammes indiquent le nombre de fois que chaque direction a été observée pendant l'année, mais non les vitesses relatives. Cependant, il est évident que les plages se ressentiront davantage d'un vent soufflant en tempête pendant deux jours que d'un autre, plus faible, qui aura duré une semaine.

L'Ingénieur maritime a à considérer les vents sous deux aspects différents:

1.° Pour leur influence sur l'entrée des bâtiments au port et sur leur sortie. Ce côté de la question change d'importance suivant la clientèle qui fréquente la localité: considérable, si ce sont des navires à voiles, presque insignifiant pour les bâtiments à vapeur ou dans le cas d'un remorquage développé;

2.° Pour leur action sur le régime des plages contigues à l'abri que l'on veut construire.

Suivant la direction des vents change celle des vagues; et ce sont elles qui modifient le plus énergiquement l'état du sable ou des galets du littoral.

Il peut arriver que les matériaux de la plage soient entrainés par des vagues violentes dans la direction opposée à celle des vents régnants, si l'action continue de ceux-ci ne suffit pas à rétablir l'é-

quilibre en sens inverse. Pourtant, quand ils soufflent régulièrement pendant une grande période de l' année, c'est leur influence qui est prédominante.

La direction des vents n'est souvent pas la même en pleine mer que sur la côte. A terre, elle peut encore être influencée par des obstacles; aussi la position d'un observatoire doit-elle être bien étudiée, avant l'installation.

Dans le Pacifique, ce sont les vents du nord qui sont les plus redoutables et ceux du troisième quadrant qui sont les plus fréquents, au moins dans la partie septentrionale Il est très difficile, par les diagrammes en rose de la pl. I de se rendre compte de la direction prédominante sur la côte. J'ai pensé à rendre la comparaison plus frappante et plus utile par l'emploi d'un autre procédé graphique, que je crois appelé à rendre de grands services.

Il consiste à construire le polygone des vecteurs que l'on obtient en considérant les vents comme des forces, en leur donnant leur direction réelle, et en représentant leur grandeur, à une échelle déterminée, par le nombre de jours où ils ont soufflé dans l'année. On obtient ainsi une résultante, qui exprime bien, déduction faite de la violence, quel est le vent prédominant, et comment son action doit s'exercer sur la plage.

J'ai réuni sur une carte du Chili (pl. I) les résultantes des différentes stations météorologiques, à la même échelle. Un simple coup d'œil fait voir les variations considérables qu'elles éprouvent, et montre combien il est erroné de conclure des résultats d'une localité à ceux d'une autre.

Il est intéressant, par exemple, de comparer la Serena à Coquimbo, Caldera à Copiapó. L'attention est surtout appelée sur ce fait que tandis qu' au nord la résultante vient du sud, c'est le contraire pour les stations méridionales, le changement devant se manifester probablement par le travers de Lebu, où malheureusement n'existe pas d'observatoire.

Il suffit de signaler l'intérêt qu'il y aurait à comparer ces modifications dans la direction générale des vents avec celle des deux branches du courant de Humboldt, qui se partagent, d'après les cartes, un peu plus au sud, l'une allant du sud au nord, et l'autre en sens inverse vers le Cap Horn. Les trajectoires sont indiquées d'après des observations déjà anciennes et sans doute peu multipliées. La Marine de la République rendrait des services éminents à

la Science en fixant d'une façon précise les limites de ces phénomènes.

La carte si curieuse des vents du Chili (pl. I) a d'ailleurs été vérifiée, du moins pour la direction de la résultante, par la formule de Lambert.

On sait qu'en appelant φ l'écartement de la résultante des vents du Nord vers l'Est, on a

$$\text{Tg. } \varphi = \frac{E-W+[NE+SE-SW-NW] \cos 45^\circ}{N-S+[NE+NW-SE-SW] \cos 45^\circ}$$

On verra, à propos des observations de Constitución et de Corral, la concordance entre cette formule et le polygone des vecteurs; ce dernier conserve l'avantage de donner, en outre de la direction, la véritable grandeur de la résultante.

Marées

Amplitude.—L'amplitude des marées est indiquée, sur toutes les cartes du Chili, de $1^m.50$ à $1^m.70$. C'est celle qui répond aux syzygies; mais nulle part je n'ai trouvé mention des irrégularités considérables qui affectent ce phénomène. A certains jours l'amplitude est très faible; et ce n'est pas constamment à la même date de la lunaison qu'a lieu le maximum, qui est parfois bien supérieur aux chiffres précédents.

Une particularité assez rare se présente au Chili, comme sur les côtes des États-Unis riverains du Pacifique: les marées de jour et de nuit sont très inégales. J'ai rarement vu le fait noté; cependant il l'est en partie, à propos de Constitución, par M. le Capitaine de vaisse au Salamanca, dans les termes suivants: «Comme presque sur toute la côte du Chili, la marée du matin est ici toujours plus grande que celle de l'après midi.» (*An. Hid.* III, 16).

Dans les canaux du Sud, la différence parait être plus considérable encore; car les missions hydrographiques ont eu leurs campements souvent inondés la nuit, bien qu'établis à un niveau très supérieur à celui de la marée du jour. (*An. Hid. I. passim*)

On sait que ces différences sont dûes à la valeur relative des forces diurnes et semi-diurnes qui agissent sur l'Océan.

Direction de l'onde-marée.—Sur les côtes du Pérou et des provinces chiliennes septentrionales, il est aisé de suivre l'onde-marée venant de l'Equateur et se dirigeant vers le Sud.

Les établissements de ports y sont les suivants:

Ports	Latitude	Heures
Payta	5°	3h20
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

Mais là, l'onde-marée semble s'arrêter. A Copiapó (28°) l'établissement du port est de 8h.30; et l'heure des hautes mers remonte vers le Nord, car on trouve:

Copiapó	28°	8.30
Flamenco	27	9.10
Pan de Azúcar	26	9.16
Mejillones del Sur	24	10

De Copiapó, la marée reprend nettement sa marche vers le Sud, et l'on a

Coquimbo	30°	9h30
Valparaiso	33	9.32
Constitución	35	10.10
Talcahuano	37	10.15
Corral	40	10.35
Chiloé	43	12
Cap Pilar	52	1

Si, dans le voisinage de la côte chilienne, se trouvaient des terres capables de détourner le cours de l'onde, on comprendrait

facilement l'anomalie qui existe à Copiapó; mais, au contraire, la mer y est libre sur une vaste étendue.

Il faut, je pense, chercher l'explication de ces irrégularités: 1.° dans la forme de la côte; 2.° dans les profondeurs de la mer près du rivage.

L'onde-marée qui part du Callao se dirige, suivant la tangente à la côte, directement sur Copiapó, par des fonds très considérables, qui dépassent 6000 mètres, d'après les sondages du navire *Relay* (Avis n.° 40, du 6 octobre 1890, de l'*Oficina Hidrográfica*).

Au contraire, pour atteindre Islay, Arica, Cobija et Mejillones, elle est obligée de faire un long détour, dans de bien moindres profondeurs.

Par conséquent, si elle arrive à Copiapó avant que son onde dérivée le long de la côte n'ait pu élever le niveau devant Mejillones, ce niveau se trouve inférieur à celui de Copiapó, et il se forme un courant de ce dernier point vers le premier, ce qui explique pourquoi l'heure de l'établissement du port remonte vers le Nord.

L'onde directe, du Callao á Copiapó, parcourt 2000 kilomètres en deux heures et demie, ce qui lui donne une vitesse de 220 mètres à la seconde; tandis que du Callao à Mejillones, l'onde dérivée fait 1700 kilomètres en quatre heures, soit 120 mètres par seconde.

Or, en prenant la formule de la vitesse de la propagation de la marée dans les mers ouvertes, de profondeur H,

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

on voit que H doit être de 5000 mètres environ du Callao à Copiapó, et de 1500 mètres le long de la côte de Pisco à Mejillones, ce qui rentre bien dans les données réelles.

La rencontre, à Mejillones, des deux ondes, venant l'une du Nord, l'autre du Sud, doit avoir pour résultat, si les considérations précédentes sont exactes, d'annuler les courants de marée dans les environs de ce port. C'est, en effet, ce que l'on constate (*An. Hid.* VII, 159).

C'est sans doute par des raisons analogues qu'on pourrait expliquer l'arrivée de l'onde aux îles Juan Fernández (IX^h30),

avant qu'elle n'ait atteint les îles San Félix (IX^{h}40), bien que celles-ci soient situées plus au Nord.

Quant à l'île de Pâques (IV^h), elle fait déjà partie de ce réseau océanien, où les observations sont trop rares pour qu'on puisse y suivre la marée.

L'onde dans les canaux du Sud.—Devant Chiloé, l'onde arrive à midi. Elle contourne l'île au Nord par le Canal de Chacao, et au Sud par le détroit qui sépare Chiloé de l'île Huafo et de Guaytecas. Les deux ondulations dérivées marchent à la rencontre l'une de l'autre.

A Ancud, l'établissement est de XII^{h}14. Les divers points des côtes, tant de l'île que du continent, étant séparés par des îlots, des récifs, les heures de pleine mer ne suivent pas une progression régulière. A l'entrée de la baie de Reloncavi, l'établissement est d' environ XII^{h}30; il est de XII^{h}47 à Puerto Montt, et de I^{h}10 dans la baie Ralun, à l'extrémité de l'estero de Reloncavi.

La branche descendante atteint les îles Changues vers XII^{h}30; et l'onde qui vient du Sud la renontre sans doute à la hauteur de l'île Chulín (I^h); car elle se trouve à XII^{h}30 à l'île San Pedro et à XII^{h}45 à Chaulín (*)

Dans ces canaux du Sud, à cause de la disposition des côtes, et sans doute parfois en vertu de la force vive acquise par les courants, l'amplitude de la marée peut atteindre 7 mètres, comme à Puerto Montt, Huildad, Puerto Obscuro, Calbuco.

Courants de marée.—Les courants déterminés par la marée sur les côtes du Pacifique sont de peu d'intensité. Il en est autrement dans les canaux du Sud; la mer ayant à remplir et vider successivement ces vastes espaces dans l'intervalle de 6 heures, il en résulte des courants d'une extrême violence en certains points.

Le phénomène est très marqué, par exemple, dans le détroit du Chacao:

«Peu de régions du pays offrent des marées aussi remarquables que celles qui ont lieu dans le détroit de Chacao, en toutes lunaisons, pour la régularité et la violence du flux et du reflux;

(*) Il faut se mettre en garde contre les erreurs commises au sujet des heures de l'établissement des ports dans certaines publications, et surtout dans le *South Pacific Directory*.

les eaux ressemblent à celles d'un torrent, et par les marées de syzygies, elles forment des tourbillons écumants.

«Dès que commence le flux, le courant pénètre entre la pointe Huapacho et l'île Doña Sebastiana, à raison de 3 à 4 milles par heure, dans le sens du canal, rapidité qui augmente peu à peu jusqu'à une vitesse de 5 à 8 milles par heure, et même 9 dans le voisinage du récif «Remolinos», où elle acquiert son maximum de force. Le jusant suit une direction inverse et a la même intensité que le flot.» (*An. Hid.*, VIII, 41).

Le phénomène serait encore plus marqué si les golfes d'Ancud et du Corcovado ne communiquaient pas avec la mer par le détroit du Huafo. Celui du Chacao aurait alors seul à assurer le remplissage et la vidange de la mer intérieure.

Courants généraux

Sur la côte Chilienne, le courant de Humboldt passe toujours à une certaine distance de la côte, et n'offre pas d'intérêt pour l'Ingénieur maritime. Il existe, en outre, un courant côtier se dirigeant très irrégulièrement, du Sud au Nord.

Marche des Sables

Le courant côtier, d'après l'opinion généralement répandue, entrainerait également les sables du Sud au Nord, le long de la côte.

Il suffit de jeter les yeux sur les diverses natures de sable qui se rencontrent sur les plages pour voir qu'il n'y a pas de transport général. Ils sont tantôt blancs, tantôt noirs, jaunâtres, etc., ce qui démontre que leur formation est toute locale. J'ai d'ailleurs commencé sur ce sujet un long travail qui sera l'objet d'un rapport ultérieur.

Mais on peut encore faire voir que cette opinion est dénuée de fondement par l'examen de l'embouchure des diverses rivières dn Chili.

Effet de la marche du sable sur les embouchures.—Partout où les alluvions marchent le long d'une côte dans un sens déterminé,

BIBLIOTECA NACIONAL
BIBLIOTECA AMERICANA
"DIEGO BARROS ARANA"

elles repoussent devant elles les embouchures des fleuves. Il y a de ce fait des exemples classiques toujours cités.

Ainsi, sur la côte normande de France, les sables venant de l'Ouest repoussent à l'Est les estuaires qu'ils rencontrent et déterminent sur leur rive gauche des pointes semblables à celle de Quivolgo. Telles sont les embouchures de l'Orne, de la Dives, de la Toucques, etc. En Angleterre, les déplacements de celle de la Yare, sur environ 4 kilomètres, sont célèbres (pl. II, fig. 1 et 2).

Aux Etats-Unis, des faits identiques ont été étudiés à la rivière de Manasquan, à Barnegat, à la rivière Shark, à Nantucket, etc.

La répulsion de l'embouchure par les sables qui s'avancent s'explique d' ailleurs aisément.

En conséquence, si le courant solide de sable se produisait sur la côte du Chili toujours du Sud au Nord, les embouchures des rivières devraient être constamment repoussées au Nord, sauf dans des cas spéciaux, comme on le verra pour la pointe de Quivolgo.

Or, il n'en est pas toujours ainsi, loin de là.

J'ai réuni sur les planches II, III et IV, à la même échelle de $\frac{1}{20000}$, et avec la même orientation, sept embouchures où les pointes de sable se détachent de la rive Nord, pour se diriger plus ou moins exactement vers le Sud. Ce sont les estuaires suivants: Rapel, Vichuquen, Maule, Lebu, Imperial, Queule et Toltén.

Toutes ces embouchures infirment donc la règle ci-dessus exprimée.

Six de ces cours d'eau présentent un caractère à peu près identique: Rapel, Vichuquén, Maule, Lebu, Imperial et Queule. La rive gauche est formée par un massif solide, la rive droite par une plage de sable; on pourrait donc croire là à une sorte de loi. Cependant, tandis que dans les quatre premiers (sauf un peu au Rapel, en sens inverse), la rivière se dirige presque en ligne droite à la mer, on voit bien qu'à Imperial et Queule le sable a chassé devant lui le fleuve du Nord au Sud, jusqu'à ce que celui-ci ait trouvé à s'appuyer contre les solides Pointes Cholñi et Ronca.

Mais, où cette action de répulsion se voit surtout, c'est à Toltén, où les deux plages Nord et Sud sont sablonneuses. Il serait inté-

ressant de relever le plan de cet estuaire avant et après une tempête: il doit présenter des modifications importantes.

Si l'on n'avait sur la côte que des fleuves comme les précédents, on en pourrait conclure que le transport du sable se fait du Nord au Sud; mais cette déduction serait erronée, et il n'y a, pour s'en rendre compte, qu'à examiner les estuaires des fleuves Maipo, Mataquito et Bío-Bío, figurés sur les mêmes planches, dans les mêmes conditions que les précédents.

Le Mataquito surtout est typique; il montre bien que là c'est du Sud au Nord que le sable se transporte; on dirait l'Impérial renversé. De même le Bio-Bio, car la pointe sablonneuse qui relie le Morro Ponpon à la rive Nord se forme en vertu de causes différentes, que l'on observe, par exemple, aux États-Unis à Richmond's Island, dans plusieurs des îles de la baie de Boston, et d'une façon si singulière à la presqu'île de Gien en France et à Argentaro en Italie.

J'ai enfin figuré, sur les planches précitées, les embouchures du Río Bueno, de l'estero de Topocalma et du marisma de Cahuil; on pourrait les appeler indifférentes: les deux rives forment des pointes qui avancent l'une vers l' autre.

Cette dernière classe mise à part, est il possible de donner une explication de ces faits? Il est probable qu'il faut les attribuer à l'action des vents dominants. Si l'on se reporte, en effet, à ce qui a été établi précédemment, au Sud la direction générale de la résultante des vents va du Nord au Sud, ce qui expliquerait la forme des embouchures de l'Impérial et du Toltén. Au Nord de Lebu, c'est le contraire, d'où la forme des estuaires du Mataquito, du Bío-Bío. Mais une raison générale ne saurait suffire à l'explication de tous les faits. A Quivolgo, je crois que c'est à une cause locale qu'il faut rapporter la genèse du singulier crochet qu'on y observe.

Ces questions générales élucidées, il sera plus facile d'entrer dans l'examen des deux localités qui m'a été confié. Les conditions particulières de Constitución et du Maule ont été étudiées par MM. les Ingénieurs Destabeau et Moreno; celles de Corral et du Río Valdivia par MM. les Ingénieurs Péron, Casanova et Campu-

sano. Je ne saurais trop leur adresser mes remerciements pour le dévouement et l'habileté avec lesquels ils ont accompli leur mission. Je me permets d'appeler la bienveillance du gouvernement sur les jeunes ingénieurs Chiliens qui ont donné des preuves répétées de leur zèle. Je les prie de croire que je n'oublierai pas leur intelligent concours.

CHAPITRE II

CONSTITUCIÓN ET LE MAULE

L'étude du port de Constitución a été faite en 1876-77 par M. l'Ingénieur A. Lévêque, dont le travail a été publié par le Gouvernement. Ces recherches consciencieuses et savantes n'auraient sans doute pas eu besoin d'être renouvelées, sans les profondes modifications survenues depuis l'époque où elles ont été effectuées.

D'abord, les progrès de la science ont été depuis lors considérables. Jamais les questions de travaux maritimes et de construction des Ports n'ont été autant débattues que durant cette période, et l'art de l'Ingénieur en a reçu un développement immense.

Puis, les conditions économiques du Chili ont changé; les travaux publics ont pris une ampleur qu'ils n'avaient pas en 1876, et peuvent être aujourd'hui conçus autrement qu'ils ne l'étaient en ce temps, où l'on était borné par un budget restreint.

Enfin, dans les dernières années la marine s'est presque complètement transformée. Les navires à voiles tendent à disparaître et sont remplacés par de grands vapeurs.

Il est vrai que, pour beaucoup de bons esprits, le rôle du port de Constitución doit se borner à une sorte de grand cabotage, auquel suffisent de petits navires. Je ne crois pas qu'on doive ainsi restreindre les prévisions d'avenir d'un pays appelé à se développer. D'ailleurs, pour la sécurité même de l'entretien du port, l'atteinte des grands fonds par les môles d'abri me semble indispensable; aussi, au lieu de ne rechercher que 6 mètres d'eau à l'entrée, je crois qu'il faut aller jusqu'à 8 mètres.

Enfin, au point de vue financier, il faut remarquer que les dépenses nécessaires pour donner toute satisfaction au commerce ne sont guère plus considérables que pour un établissement restreint.

Considérations générales

Constitución est située sur la rive gauche du Maule, à un kilomètre de la mer. Elle en est séparée par le cerro Mutrún, dont l'élévation est de 90 mètres, et où l'on pourrait établir des batteries qui défendraient avantageusement la ville.

La situation géographique est donnée ainsi:

Latitude: 35° 19' 8" S.

Longitude: 74° 47' 07" O. de Greenwich.

La ville de Constitución (l'ancienne *Nueva Bilbao*) date de la fin du dernier siècle et a toujours eu un certain mouvement maritime. Les navires qui vont mouiller dans l'estuaire du Maule y trouvaient-ils autrefois un accès plus facile? Voici ce que dit à ce sujet M. José I. Vergara, dans le volume de 1870 de *l'Annuaire Météorologique*:

«Le port n'offrait avant 1827 aucune difficulté notable au développement du commerce, ainsi que l'attestent ses anciens habitants et le tonnage des navires qui à toute charge et sans danger pouvaient y entrer. Mais une grande crûe qui eut lieu cette année-là, et qui fit changer en partie le cours du fleuve, et la diminution qu'a subie son débit par suite des dérivations nécessitées par les besoins de l'agriculture, ont altéré de telle façon ses conditions, qu'aujourdhui seuls les navires de très faible tirant d'eau peuvent franchir la barre, à certains jours, et avec le secours d'un remorqueur..... Avant l'année 1827....., la profondeur du canal de la barre variait entre 15 et 25 pieds anglais ($4^m.70$ à $7^m.60$) en automne et en hiver respectivement.»

M. Vergara a emprunté ces données à un rapport très intéressant de M. Felipe Santiago Astaburuaga, publié dans l' *Araucano* du 11 juillet 1845, n.° 777, et qui n'explique pas d'ailleurs les choses de la même manière. Avant 1827, le cours du Maule s'effectuait suivant une ligne sinueuse qui, partant de la pointe de pierre bordant *Astillero viejo*, allait frapper la pointe du nord appelée la *Grada* et arrivait en serpentant à la Pierre de *los Lobos*. De plus, la pointe de Quivolgo fermait alors, plus qu'aujourd'hui, l'embouchure, qui ne conservait pas plus de 100 mètres. «Cette pointe, dit l'auteur, agissait comme un ressort dont l'effet est admirable, formant comme une succession de petites crues», qui balaient la barre.

En 1827, ce banc fut coupé par la grande crue de l'année, et le cours du Maule fut partagé en deux canaux qui divisèrent la force du courant.

Ainsi avant l'époque précitée, le fleuve réalisait, naturellement, la forme bisinusoïdale, réputée aujourd'hui comme la forme type que doit affecter un cours d'eau. D'autre part, l'embouchure était très rétrécie; dans ces conditions, malgré les désavantages inhérents aux autres conditions de l'entrée, et qui seront examinés ci-après, la situation était bien meilleure que de nos jours.

Plans

Malheureusement, on n'a pas de plan antérieur à 1827, et l'on ne saurait demander des documents de cette nature à une nation qui venait de naitre à la souveraineté. Postérieurement à cette date, on possède trois plans originaux, ceux de MM. Léonce Señoret (1844), Manuel Señoret (1875) et de M. A. Lévêque (1876). Les deux premiers, très précieux pour la navigation, sont plutôt conçus au point de vue nautique; le dernier est complètement en harmonie avec les études nécessaires à l'Ingénieur.

Il indique l'état de l'embouchure dans les conditions normales, c'est à dire quand la barre et la plage de Quivolgo sont parvenues à la dernière période de leur transformation; c'est ainsi que je les ai vues en décembre 1890.

Les plans que je produis aujourd'hui (pl. VIII, IX, X et XI) montrent diverses phases de cette transformation. La comparaison, absolument topique pour les projets d'amélioration du fleuve, en sera faite plus loin. Elle indiquera l'urgence d'exécuter des plans précis de tous les points que la nature indique comme le théâtre futur de travaux maritimes.

Vents

L'Annuaire Météorologique, dans quelques-uns des ses fascicules, a publié des observations sur les vents qui frappent Constitución. Ils se répartissent ainsi dans l'année:

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

La planche I les indique tracés en rose et suivant le polygone des vecteurs. La résultante de celui-ci représente un vent venant presque du sud (3° avec le Nord), et soufflant pendant 100 jours.

La formule de Lambert donne $\varphi = 2° 50$.

La direction générale des lames devrait donc obéir à cette résultante; mais il faut tenir compte des variations éprouvées aussi bien par les vagues que par les vents à cause de la forme de la côte. En définitive, la direction générale des lames fait un angle de 40° O avec le Nord.

Courants de la mer

On n'admet généralement devant Constitución qu'un courant côtier, dirigé du sud au nord, avec une vitesse d'environ un mille par heure.

L'*Annuaire Hydrographique* (III, 15) dit: «En fait de courant général, on ne peut rien établir de définitif, faute d'études spéciales; car le grand courant chilien, ou de Humboldt, y devient presque insensible. Cependant, on note un petit courant vers le Nord, que l'on peut attribuer à la forte houle du Sud Ouest. Quant aux courants locaux, il en existe un faible, qui se dirige au Nord-Ouest de l'embouchure du Maule, et dont on peut attribuer l'origine au débit du fleuve.

«Les habitants de la localité disent exister un courant qui porte à terre entre le Maule et la pointe Humos; mais ils ne se fondent que sur le naufrage d'un navire, qui a eu lieu dans cette partie en 1871, et qu'ils attribuent à ce courant.»

Les études de la Commision actuelle ont pu éclairer en partie le régime très complexe et très variable des courants en jeu devant Constitución.

1.° Il y a d'abord le courant côtier, qui n'occupe qu'une largeur très restreinte, environ 200 mètres, contre la côte. Il existe au Sud devant la Caleta, et au Nord devant la plage de Quivolgo. Sa vitesse est d'environ om,40 par seconde à marée descendante et om.10 à marée montante. Il est complètement interrompu devant l'embouchure du Maule.

2.° Le courant qui sort du fleuve se continue en pleine mer; un flotteur qu'on lance à la Poza se dirige vers l'Ouest, et cela à quelque période que ce soit de la marée. La direction, presque constante, fait un angle de 110° à 120° avec le Nord vrai. Quant à sa vitesse, elle s'annule presque quand la mer montante est à sa hauteur moyenne, ce qui est bien conforme aux observations générales; au large de l'embouchure, elle ne s'arrête guère et suit toujours la même direction. Le maximum de vitesse observée est de 0,50 *m* en jusant.

3.° En dehors de l'action du Maule il existe, parait-il, au Nord de l'embouchure un courant qui porte au Nord et au Sud un courant qui se dirige vers le Sud. Faute d'un navire, il n'a pas été possible d'étudier ces mouvements, qui ont surtout de l'importance pour les bâtiments, à l'entrée et à la sortie.

Ainsi qu'on le voit, le régime des courants devant le Maule offre peu d'importance; et l'on ne saurait leur attribuer un rôle décisif dans les phénomènes qui s'y passent.

Marées

Les cartes assignent toutes à la marée devant Constitución une amplitude de 1,50 *m*, et l'établissement du port est fixé à X heures. De nos observations il résulte que cette heure est plutôt X^{h} 10.

Quant à l'amplitude, elle est très variable et les courbes des planches V et VI indiquent les résultats des mois de décembre 1891 et janvier 1892.

Il est intéressant de savoir comment ont été faites les observations, parce que l'installation peut être appliquée dans d'autres localités, vu le peu de dépenses qu'elle occasionne. On n'avait ni marégraphe enregistreur, ni aucun des instruments en usage, et il fallait utiliser les moyens dont on dispose à Constitución ou Valdivia.

L'appareil se compose d'un flotteur en bois ou métallique, convenablement lesté, cylindrique ou mieux sphérique, pouvant se mouvoir dans un long tube composé de quatre planches bien jointes, avec une ouvertoire très petite à la partie inférieure, pour que les mouvements du ressac ou des lames puissent à peine se faire sentir. Ce tube est fixé dans la rivière ou la baie, sur

un pieu. Un fil relie le flotteur à un petit chariot à quatre roues, assez lourd, qui se meut sur une planchette inclinée à 45°. Un crayon, lesté supérieurement, passe sans frottement dans la planchette horizontale du chariot. On fixe, matin et soir, une longue bandelette de papier sur la planche; et le crayon y marque un trait dont les extrémités indiquent les hauteurs maxima et minima de la marée.

La seule infériorité de cet instrument sur le marégraphe enregistreur est qu'il ne donne pas les heures. Pour obtenir les courbes de marée, on doit donc faire quelques observations directes.

Il est bon d'ajouter que les poulies de renvoi et les roulettes du chariot doivent avoir une grande mobilité; le fil doit être en même temps résistant et très flexible; on s'est bien trouvé de chainettes en cuivre.

Dans les dessins des courbes des hauteurs maxima et minima, on remarquera des lacunes. C'est que les instruments ont été souvent brisés par le public.

Amplitude.—On remarquera qu'aux étales de haute et basse mer, le niveau est très variable; c'est un phénomène observé également dans la baie de Corral. En dehors du moment des étales, la courbe est au contraire régulière et très aigue.

La plus grande amplitude diurne constatée a été exactement de 2 mètres, le 26 avril 1892, à la Poza. Cette marée a eu lieu à X^{h}10 du matin, le jour de la Nouvelle Lune, qui s'effectuait á 5 heures du soir. La pleine mer du lendemain a-t-elle été plus haute? Malheureusement, on n'a pu l'étudier. Pas plus que celle de la nuit du 26.

Sur les courbes des maxima des planches V et VI on peut remarquer que, trois fois sur quatre, le maximum s'est produit la veille de la syzygie, et le minimum le jour même de la phase de la lune, c'est à dire le lendemain. Il semble que le fait est absolument certain, car il se reproduit dans les courbes des quatre marégraphes installés à la Poza, au Muelle, au Dique du chemin de fer et à Ánima; mais il est tellement en désaccord avec les observations d'autres pays, que des observations plus minutieuses sont nécessaires pour le prouver. C'est surtout dans les localités à grandes marées, comme le Seno de Reloncaví, qu'on pourrait l'élucider.

Les mêmes courbes indiquent à plusieurs reprises des amplitu-

des de 1,80 *m* et 1,85 *m* pour les marées de nuit. Mais on doit compter au moins sur 2 mètres. Ces chiffres sont très intéressants, car ils peuvent servir de base aux calculs de l'écoulement des eaux du fleuve pendant le jusant.

Enfin, aux quadratures, l'amplitude de l'onde ne dépasse guère 0,50 *m*.

Niveau moyen.—On rapporte généralement au Chili les profondeurs d'eau au niveau moyen de la mer.

En Europe, on détermine le niveau moyen en prenant la moitié de la moyenne des hauteurs des deux mers consécutives au dessus de la basse mer intermédiaire.

On se sert aussi de la formule suivante, donnée par M. Bouquet de la Grye:

H, H_1, H_2 étant les hauteurs de l'échelle des marées correspondant à trois pleines mers consécutives,

h_0 la hauteur de la basse mer qui précède H_0,

h_1 et h_2 les deux basses mers suivantes,

N le niveau moyen,

On a:

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

Ce niveau moyen est généralement assez constant; c'est celui que prendrait la mer, si elle restait en repos. Cependant, même en France, où les marées sont beaucoup plus régulières que dans le Pacifique, on observe des différences très sensibles (0,70 *m*).

Au Chili, l'étude des courbes des planches V et VI indique:

1.° Qu'il y a deux lieux géométriques de niveaux moyens, l'un pour la marée diurne, l'autre pour la marée nocturne;

2.° Que ces lieux géométriques sont des courbes analogues à celles des maxima et des minima.

Il se présente donc des difficultés exceptionnelles pour la détermination d'un niveau moyen sur lequel on puisse être d'accord. Même la formule de M. Bouquet de la Grye donnerait des résultats très différents si on l'appliquait à des séries de hautes et basses mers consécutives. Aussi ai-je adopté comme plan de comparaison celui qui passe par le point le plus bas que nous ayons observé; c'est ce qui se fait en Europe. Bien entendu,

il peut se trouver un minimum plus bas encore; une longue série d'observations peut seule fixer à cet égard.

En tous cas, le plan de comparaison établi au niveau des plus basses mers de vive eau est le plus important pour les travaux maritimes.

A Constitución, il passe à 4,31 *m* au dessous de la marque figurée par une entaille dans le rocher que surmonte la petite statue de Mercure.

NIVEAU DES HAUTES ET BASSES MERS.—En général, dans les fleuves, le lieu géométrique des hautes eaux est un plan horizontal, de sorte que les points supérieurs atteints par l'onde ont tous la même cote. Parfois cependant, le niveau, en une localité donnée, reste au dessus ou au dessous du plan horizontal.

A Constitución, nous avons établi 4 marégraphes: Poza, Muelle, Dique, Ánima. Les planches V et VI résument les indications fournies par ces instruments; l'une retrace les courbes des maxima et minima de jour; l'autre, celles de nuit.

Ces courbes sont toutes rapportées au plan de comparaison ci-dessus désigné.

Leur examen indique d'une manière générale:

1.° Que les niveaux de basse mer vont en remontant de la Poza à Ánima;

2.° Que les niveaux de hautemer vont, au contraire, en s'abaissant entre ces deux points;

3.° Que les niveaux moyens sont presque sur une horizontale.

Les heures d'établissement des ports vont, bien entendu, en retardant.

Il n'en résulte donc pas moins que si l'on prend, au moment de la haute mer à la Poza un profil instantané jusqu'à Ánima, la pente de la surface du fleuve est en sens inverse, dè l'embouchure vers la source.

Ce fait est d'autant plus singulier, en l'espèce, que le Maule n'offre jamais de courant renversé. A toute période de la marée, le courant se dirige vers la mer.

Je dis «en l'espèce», parce que l'on connait des exemples de rivières où les lieux géométriques des pleines mers en deux points différents sont des plans inclinés vers l'amont; mais je ne trouve aucune trace d'indication du sens des courants dans ce cas. Seulement, les exemples qui sont à ma connaissance (Lune,

Forth, etc) sont ceux de fleuves à faible débit et à grande marée, où par conséquent le renversement du courant est certain.

Comme nos marégraphes n'étaient pas assez précis pour inspirer toute confiance, nous avons, à plusieurs reprises, contrôlé l'ascension de la marée par un nivellement soigné et l'observation directe de règles graduées, dont le zéro se trouvait sur une même horizontale.

On a toujours constaté les mêmes faits.

Ainsi, par exemple:

Le 6 mars, la haute mer atteignait à la Poza 1.49*m* } Différence
au Muelle 1.46 } 0.03

Le 11 mars, de même

au Muelle 1.20 } Différence
au Dique 1.18 } 0.02

Entre le Dique et Ánima, la différence est toujours très faible.

Le courant ne se renverse pas.—Il est facile d'en comprendre la raison. La pente du Maule, près de l'embouchure, est assez forte pour que la marée ne remonte pas très loin; on ne constate guère de changement de niveau que sur les 12 derniers kilomètres. En admettant, ce qui est très près de la vérité, une largeur moyenne de 400 mètres et une marée de 2 mètres d'amplitude à la mer, le volume du prisme de marée est donc de

4 800 000 mètres cubes

Or, pendant les 6 heures que dure à peu près la marée, le fleuve débite, à raison de 350 m^3 (volume mesuré directement en février 1892, à Moquegua, en dehors de l'influence de la marée).

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

Volume plus que suffisant pour remplir le prisme de marée et déterminer encore un écoulement excédant de 2 760 000 m^3, soit de 128 mètres par seconde en moyenne. Si cet écoulement était uniforme pendant les 6 heures de flux, à l'embouchure pour

une section de 2400 mètres carrés, la vitesse moyenne serait de 0,063 *m*.

Il n'est donc pas besoin d'eau salée pour combler le prisme de marée; aussi l'eau du Maule n'est-elle guère saumâtre; et si elle l'est un peu, c'est par suite de la diffusion résultant du contact avec la mer.

Courants du fleuve

On doit considérer la dernière portion du Maule comme une dépendance de la mer, du moins lorsque la disparition de l'épi de Quivolgo enlève toute trace de délimitation.

Ainsi à la Poza les vitesses du flux et du reflux se comportent comme les courants de pleine mer et sont plus fortes aux étales de flot et de jusant qu'à hauteur moyenne, bien que les eaux suivent toujours la direction naturelle du fleuve.

Le 26 avril 1892, on observait:

En mer moyenne	0,125 *m*
En haute mer	0,350
En basse mer	0,470

Mais ce régime change dès que la rivière est franchement constituée; ainsi, le 29 avril, on a observé au Muelle:

En mer moyenne montante	0,120 *m*
Après la pleine mer	0,370
En mer moyenne descendante	0,950
En basse mer	0,880

Debit du fleuve

Le débit propre du fleuve a été mesuré en février 1892, à Moquegua. Il a été trouvé de 350 mètres cubes. Mais les eaux étaient alors encore assez abondantes. En avril, elles avaient beaucoup baissé: nous n'avons pas eu le temps de faire un nouveau mesurage.

Á ce moment, le courant du fleuve, en mer montante et près du niveau maximum, était très réduit: même sur les bords et dans une certaine largeur, il se produisait un contre-courant très sensible.

Le débit près de l'embouchure, au moment du jusant, a été mesuré de diverses manières.

Remarquons que, d'après le calcul précédent, le débit total du fleuve, pendant les 6 heures de jusant, à l'embouchure, comprend le volume du prisme de marée, plus son débit propre, soit en tout

12 360 000 $m.^3$

Si le débit était constant, il passerait à la seconde

570 $m.^3$

Mais il n'en est pas ainsi; la vitesse maxima est un peu plus du double de la vitesse moyenne, ainsi qu'on le constate partout. En réalité nous avons trouvé comme débit maximum à la seconde 1200 mètres cubes.

Pissis, estimant la superficie du bassin du Maule à 20,000 $km.^2$ et à 0,50 m la quantité d'eau qui y tombe en noyenne annuellement, porte à 1000000 de mètres cubes le débit du fleuve par heure, soit 277 $m.^3$ par seconde. Un ingénieur, M. Bliss, qui a mesuré le débit à l'étiage, n'a trouvé que 194 $m.^3$. Je ne l'ai jamais vu si réduit; il est probable que, sauf de rares exceptions, le débit se maintient à 250 m^3 environ. Les calculs précédemment effectués au sujet du non renversement du courant devraient donc être révisés sur cette base; mais la conclusion à en tirer n'est guère changée.

Le Río Maule

Le Maule prend sa source dans un lac qui porte le même nom et est situé dans les Andes, à l'altitude de plus de 2000 mètres. Son parcours est d'environ 200 kilomètres; il reçoit, sur ses deux rives, de nombreux affluents, et devient navigable, pour des embarcations à fond plat, depuis Perales, à 70 kilomètres de la mer.

La pente générale, de Perales à la mer, est d'après Pissis de 1,3

‰; elle est irrégulière; le rivière se compose de bassins étagés, parfois très profonds (18 mètres devant Maquegua), séparés par des rapides dont le courant atteint plusieurs mètres de vitesse.

Les rives sont en majeure partie bordées de galets roulés; plus rarement on rencontre des berges de sable très fin, grisâtre, dont la presque totalité des grains passe par le tamis de 400 mailles au centimètre carré. Ce sable est composé, à peu près par parties égales, de grains de quartz, jaune, verdâtre, rosé, et de grains de divers oxydes de fer, magnétiques en partie, et de débris très menus de roches cristallines.

Le fond de l'estuaire proprement dit, qui s'étend sur une longueur de 6 à 8 kilomètres, jusque vers la localité connue sous le nom de Ánima, est pavé uniquement de galets. Cet estuaire mesure en moyenne 600 mètres de largeur. Il est coupé par une île, de 1200 mètres de longueur, sur une largeur maxima de 250 mètres; cette île laisse entre elle et la rive gauche un chenal de 100 à 150 mètres de largeur, dont le fond émerge depuis 1877, sur une certaine partie de sa surface, au moment des grandes basses eaux.

Le Maule se jette à la mer à l'est du cerro Mutrún; sa direction générale ne fait alors qu'un angle de 30° avec la ligne Sud-Nord.

L'embouchure est bornée à l'Ouest par une rangée de roches indépendantes: 1.° celle de *las Ventanas* (les Fenêtres), ainsi nommée à cause d'ouvertures qui la traversent; elle est reliée au cerro Mutrún par une plage de sable que la mer ne recouvre jamais. Cette plage forme un corridor parcouru d'ordinaire par des rafales de sable poussé par le vent; 2.° La *Gaviola*; 3.° la pierre de *los Lobos* (les Phoques), la plus éloignée; 4.° d'autres pierres plus petites et généralement submergées.

A l'est, la plage est sablonneuse sur une immense étendue, tant en largeur qu'en longueur. Le sable, desséché, est emporté par les vents dans la direction du Nord-Est, et forme des dunes qui s'avancent au loin sur les collines voisines.

Nature du sable

Le même sable compose les plages des deux rives, celle de la Caleta et la barre. Il est noir, avec quelques rares fragments blancs. La grosseur est différente suivant son gîsement, plus gros sur la barre, plus fin sur la rive droite, intermédiaire sur l'autre.

Le savant minéralogiste, M. Noguès, professeur à l'Université, a bien voulu analyser deux échantillons de ces sables. Voici les résultats qu'il a trouvés:

	Sable Rive Sud	Sable Rive Nord
Nombre de grains au dm^3.	7 à 8 millions	10 à 12 millions
Poids du dm^3.....	1 à 643 *kg.*	1 à 523 *kg.*

Un litre de chacun de ces sables a été passé sur un premier crible de 400 mailles au centimètre carré; et les résidus, successivement, sur des tamis de 100 et 49 mailles.

	S. Rive Sud	S. Rive Nord
Il a passé sur le 1.er crible.....	300 cm^3	640 cm^3
" 2.e "	500	300 à 344
" 3.e "	80 à 100	10 à 14
Résidu.....	100 à 120	6
Nombre de grains de ce résidu au litre.....	390000	300000

Examen particulier du sable de la rive Sud.—Le résidu resté sur le crible de 49 mailles contient des fragments de dimensions considérables, dont il sera question plus loin. Extraction faite de ces gros fragments, ce sable est composé, au litre:

1.° De 40000 grains de quartz blanc et jaunâtre, et d'autres de mêmes couleurs et d'aspect hyalin;

2.° De 20000 grains de fer oxydulé magnétique, Fe^3O^4

3.° De 330000 grains de divers oxydes de fer, silicates, débris de roches cristallines et autres.

Ces grains, usés par le transport, ont une forme plutôt elliptique que sphérique, le grand axe étant le double du petit. Pourtant quelques grains sont arrondis; ce sont ceux de quartz hyalin ou incolore, très transparent, dont le gisement d'origine est certainement différent de celui des grains jaunâtres.

Les gros fragments, dont le grand axe atteint jusqu'à 1 centimètre, permettent de reconnaitre la nature de la roche constituante. Ce sont:

1.° Des grains de quartz hyalin ou transparent de nuances diverses, quelques-uns portant des indices bien nets de substances métallifères; ils proviennent sans aucun doute de filons métallifères;

2.° Des fragments de micaschistes, provenant au moins de deux couches ou de deux gîsements différents, comme l'indiquent leur structure et leurs propriétés physiques. Débris incontestables de roches anciennes cristallophylliennes;

3.° Des fragments de diorite roulés;

4.° Des fragments d'hypersténite brisés et encore peu roulés;

5.° Des fragments roulés, allongés, arrondis, de roches pyroxéno-amphiboliques passant à la structure serpentineuse, à coloration verdâtre de diverses nuances;

6.° Des fragments de roches schisteuses verdâtres, rayées par une pointe d'acier.

Et, en outre, de l'oxydule de fer, des peroxydes de fer, des silicates, débris de roches ou de minéraux de filons et d'épanchement; des minéraux silicatés cristallisés blancs, jaunâtres, verdâtres ou rougeâtres; enfin des traces de carbonates et de matières organiques.

Sable de la Rive Nord.—Le résidu laissé sur le crible de 100 mailles contient, au litre:

1.° 40000 grains de quartz;

2.° 30000 grains de fer oxydulé;

3.° 370000 grains d'oxydes de fer, de silicates, de débris de roches cristallines et autres.

Ce sable présente la même composition minéralogique moyenne que celui de la rive Sud; les matériaux qui le composent ont la même origine; mais les grains de la rive Nord sont plus petits, plus roulés que les autres. Parmi les minéraux transparents silicatés, se trouvent quelques échantillons d'un vert-jaunâtre, d'un éclat particulier caractéristique.

Sable de la barre.—Le sable qui constitue la barre est identique aux précédents; mais les grains en sont plus gros.

Sable du Maule.—Le sable du fleuve est très différent de ceux de la plage et de la barre; il est beaucoup plus fin; sa couleur n'est pas noire, mais jaunâtre, ce qui est dû à la prédominance des éléments blancs et jaunes. La composition minéralogique n'est pas non plus la même.

Régime de la plage

Ainsi qu'on l'a dit ci-dessus, l'embouchure du Maule, dans les conditions ordinaires, présente l'aspect que M. Lévêque a consigné dans le plan qui est reproduit avec ce rapport (pl. XII). La rivière va déboucher près de la pierre de *las Ventanas*. De la plage Est, dite de Quivolgo, se détache un crochet caractéristique, qui ferme la majeure partie de l'estuaire.

Vis à vis de l'espace qui sépare les pierres de *las Ventanas* et de *los Lobos*, s'étend une barre ou bourrelet presque droit, sur lequel on ne sonde guère que 1,60 *m* d'eau.

C'est ainsi que j'ai encore vu l'embouchure en décembre 1890. De plus, un grand banc de sable était venu se coller contre la rive gauche, vis à vis de la pierre de *las Ventanas*, et s'avançait en épi dans le fleuve, sur une certaine longueur, rétrécissant encore l'espace laissé libre pour l'écoulement des eaux. Un plan levé le 27 octobre 1892 par M. l'Ingénieur 1.er de la Commission, D. Casanova, (planche XI), montre la même disposition.

Quand l'embouchure présente cette forme, elle reste très stable, ne subissant que des modifications peu sensibles dans la hauteur de la barre, modifications produites par les vagues.

Mais s'il survient une forte crûe du fleuve, la barre et la pointe de Quivolgo sont balayées; la rivière se jette alors dans la mer sur toute sa largeur, par des profondeurs de 10 mètres.

Lorsque les études actuelles ont été commencées, une forte crûe venait de se produire (octobre 1891), et l'embouchure était libre. Les navires entraient avec la plus grande facilité. A la fin des travaux, des modifications considérables s'étaient produites: la barre s'était reformée en partie, ainsi qu'une portion de la pointe de Quivolgo (avril 1892).

En juin, la barre était complète, mais le crochet de Quivolgo n'avait guère avancé.

Origine de la barre

Il n'y a pas dans la science de question plus controversée que celle de l'origine des barres, à ce point que leur définition même ne présente aucune rigueur.

Le long de certaines côtes, on trouve des bourrelets de sable ou de galets, entre la mer et des étangs; ils ont reçu le nom de cordon littoral. Mais parfois aussi on les désigne sous celui de barre; par exemple sur la côte occidentale d'Afrique.

Mieux vaut conserver cette dénomination pour ces nervures de sable, isolées ou multiples, dont les particules restent sous un angle plus raide que leur talus naturel, et qui obstruent l'entrée des estuaires soumis à l'influence de la marée.

Presque toutes les embouchures des fleuves qui débouchent directement dans les mers à marées sont encombrées de ces barres, en amont et en aval desquelles existent souvent de grandes profondeurs.

Pour certains ingénieurs, les matériaux des barres sont apportés par le fleuve lui-même. Les sables, tenus en suspension par le courant, arrivent jusqu'à la rencontre des eaux de l'Océan; là, la vitesse s'arrête, et les alluvions se déposent au point mort.

Pour d'autres, les sables proviennent de la mer et sont transportés soit par les courants maritimes, soit par l'action de la marée.

Pour d'autres enfin—et c'est la théorie la plus généralement acceptée par les ingénieurs anglais—les sables, provenant de la mer, sont entassés sous forme de barre par l'action des vagues.

Cette question pourrait rester indéfiniment à l'état d'hypothèse, puisque presque toutes les barres sont fixes et n'éprouvent que de légères modifications dans la hauteur du chenal, comme à Liverpool. Pour se rendre compte de leur origine, il faudrait les voir se former; et c'est là une circonstance tellement rare que je ne connais pas dans la Science d'exemple d'une pareille observation.

J'ai eu la bonne fortune de la réaliser à Constitucion.

Rappelons d'abord que j'ai établi ci-dessus que le sable de la barre et de la plage ne provient nullement du fleuve; ce fait est hors de contestation; il suffit de voir les échantillons à côté les uns des autres pour s'en rendre compte. La quantité d'apports très fins que peut apporter le courant du Maule s'en va directement à la mer qui l'entraine au loin; elle forme les vases du fond de l'Océan.

Quant au sable de la plage et de la barre, son état fait voir qu'il provient, soit d'autres rivières, soit de la décomposition des roches et falaises du littoral.

De rivières versant à la mer de grandes quantités de sable, il n'y a guère que le Bío-Bío, dont les apports sont identiques à ceux qu'on

rencontre sur la côte, depuis la Baie de San Vicente jusqu'à San Antonio. Mais le sable qu'on extrait de ce fleuve à Concepción est beaucoup plus fin que celui de la plage devant le Maule; ce n'est donc pas lui qui vient l'alimenter.

Il est, par conséquent, plus que probable que le sable dont il est question est le résultat de l'usure des roches et falaises voisines. La différence de grosseur indique qu'il vient du Sud; les parties les plus lourdes vont à la barre, où elles sont moins battues par les vagues; les autres, au contraire, s'usent sur les rives, et assez rapidement, si l'on en juge par le degré de finesse de celui de la plage Nord.

La comparaison de la barre à diverses époques de sa formation est encore plus décisive. Sur les planches VIII et IX, on voit nettement le sable déboucher de l'espace compris entre les pierres de *las Ventanas* et *los Lobos*, et s'avancer peu à peu, en repoussant devant lui les courbes de grande profondeur.

Suivons, par exemple, la courbe de 3 mètres; en comparant ses distances jusqu' à la tangente aux deux pierres, on trouve:

Dates	Distance	
3 décembre 1891.....	40	mètres
15 janvier 1892.....	160	»
15 février	200	»
2 mars.....	250	»

Les autres courbes l'accompagnent dans son infléchissement, et on les voit repoussées transversalement, la barre se dessinant nettement. Il ne vient rien de la rive droite; de ce côté, il y a un avancement, complètement indépendant, de la pointe de Quivolgo; mais entre le cap mobile qui sera plus tard la barre et cette pointe, les grandes profondeurs subsistent, ne se comblant que peu à peu *par les alluvions de l'ouest*. Les plans parlent trop nettement aux yeux pour qu'il soit besoin d'insister.

Causes du transport des sables.—Le transport peut être occasionné: 1.° par les courants généraux ou locaux de la mer; 2.° par les courants de marée; 3.° par les vagues.

1.° L'étude faite plus haut des courants de la mer, montre que leur action ne saurait expliquer le transport. D'abord, devant *la Ca-*

leta, d'où proviennent les sables, il faut faire abstraction des courants qui se dirigent vers l'Ouest ou le Sud. Reste le courant côtier, qui peut bien contribuer à conduire les alluvions jusqu'à la pierre de *las Ventanas*; mais il est interrompu en face de l'embouchure. Donc, si c'étaient les courants dont l'action fût ici décisive, les sables devraient s'arrêter à cette pierre, ou du moins être emportés au large par ceux qui sortent du Maule.

2.° Les courants de marée sont peu sensibles devant le fleuve; celui du flot, qui doit venir du Nord, serait contraire; celui de jusant se confond avec le courant propre de la rivière et porte en mer.

3.° Reste l'action des vagues. Il ressort clairement de l'examen des diverses phases de la formation de la barre que ce sont bien les lames qui engouffrent les sables dans le couloir entre les deux pierres, déterminent ainsi la création d'une plage sous-marine à l'ouest, déferlent sur cette plage et, par leur composante tangentielle, repoussent les alluvions vers Quivolgo.

Ainsi, pour Constitución, deux points sont acquis:

1.° Le sable de la barre provient du littoral Sud;

2.° Il est poussé à l'est par les vagues.

Cela ne veut pas dire que les autres forces en présence: courants, flux et reflux, etc. n'ont aucune action. Il est certain qu'elles en ont une sur la forme, la position de la barre... Mais cette influence est secondaire.

Et le fleuve? Quelle est sa part dans le phénomène?

Supprimons par la pensée les eaux du Rio Maule. Qu'arriverait-il? Le sable venant du Sud passerait par le couloir entre les deux Pierres, se répandrait à l'est, et comblerait l'estuaire actuel. Le rivage se fermerait donc au point occupé aujourd'hui par l'embouchure, et la ligne continue irait rejoindre la plage de Quivolgo, en face des Pierres. C'est évident.

Maintenant, jetons les yeux sur le plan de M. Lévêque, et considérons la situation de la barre. Elle coincide presque avec la place qu'occuperait la courbe de 1,50 *m* à 2 mètres, dans le cas de la disparition du Maule.

Ce n'est pas là un simple hasard; c'est un fait qui se constate souvent dans les rivières à barres.

Il semble que le phénomène, ainsi envisagé, s'explique aisément. Sur une côte, l'existence d'un estuaire est un fait accidentel, à

peine sensible. Les diverses forces en jeu le long du littoral ne peuvent donc être beaucoup influencées par des accidents d'ordre aussi secondaire; elles agissent presque comme s'ils n'existaient pas et par conséquent la mer tend à conserver son régime naturel.

Si la rivière est petite, la fermeture de l'embouchure par les alluvions marines a lieu complète ou à peu près, ainsi qu'on le voit souvent à Llico. Si le fleuve est important, l'eau douce conserve son domaine, qui peut même empiéter sur celui de la mer, en repoussant le barrage. Dans ce cas, comme le courant est plus violent au milieu de la rivière que sur les rives, c'est la partie médiane qui est le plus repoussée; d'où la forme de fer à cheval que l'on constate alors.

De plus, l'eau débitée par le fleuve, augmentée au jusant du volume d'eau salée introduit par le flot, ou tout au moins de la réserve par l'élévation du niveau de la mer, cette eau tend à se frayer un passage au travers de la bande factice du rivage; il en résulte que la barre ne peut s'élever au dessus d'une certaine hauteur; aussi se place-t-elle généralement à l'endroit où le fond aurait naturellement ce niveau.

Quand arrive une crûe, il faut bien que l'excédent d'eau passe; si les côtés ne cèdent pas, et si le fond est affouillable, la barre disparait, soit en partie (cas général), soit en totalité (cas de Constitución).

Le mínimum d'eau qu'on rencontre sur les barres est d'une constance singulière. Il varie, sur presque toutes les barres connues, de 1,50 *m* à 3,50 *m*. Cela ne semble étrange qu'au premier abord. En effet, le débit d'un fleuve et la largeur de son embouchure sont le plus souvent fonction l'un de l' autre. Si les estuaires sont trop larges pour la quantité d'eau qui y débouche, ils se comblent irrégulièrement; s'ils sont quelque peu proportionnels à ce débit, l'effet produit doit rester uniforme.

Conclusion.—Il faut donc déduire de cette étude que la barre, formée par les vagues avec du sable de la mer, se maintient à un niveau constant au dessous des basses eaux, dans les conditions ordinaires du Maule, et qu'elle disparait quand le débit est augmenté.

C'est là la base essentielle, absolue, de tout projet d'amélioration de l'entrée du Rio Maule.

Procédés d'étude

Les conclusions précédentes sont surtout le résultat de l'observation des déplacements des courbes de niveau. Il me semble intéressant de noter comment elle a été faite. Il n'était ni assez expéditif, ni commode de prendre des sondages relevés au théodolite. On a établi sur le littoral des doubles rangées de jalons; et les sondages étaient relevés à l'intersection de leurs alignements. On était donc certain de les opérer toujours aux mêmes points, ce qui donne une grande garantie d'exactitude.

Plage de Quivolgo

La barre n'est pas le seul élément dont on ait à tenir compte dans l'appréciation des phénomènes qui se passent à l'embouchure du Maule. Un autre, très important, est cette pointe de Quivolgo qui, en temps ordinaire, ferme plus des deux tiers de la distance qui sépare les rives du fleuve.

Nous avons dit que partout où les alluvions marchent le long d'une côte, dans un sens déterminé, elles repoussent devant elles l'embouchure des fleuves.

Seulement, qu'on le remarque bien, si le transport des sables le long du littoral de Quivolgo, était dû, soit au courant côtier, soit aux vagues, dans l'état ordinaire de formation complète du crochet ces alluvions devraient être rejetées vers le Nord; la pointe de Quivolgo existerait sur la rive gauche et porterait le nom de pointe de *las Ventanas*.

Comment expliquer cette anomalie?

M. Haupt attribue des cas analogues au courant de flot et peut-être a-t-il raison pour les espèces étudiées par lui et sur lesquelles il est impossible de se faire une idée complète, en l'absence de renseignements personnels. Mais, à coup sûr, au Maule, l'influence de cette force ne saurait être admise. D'abord, le courant de flot y est très peu sensible, et il est difficile de trouver une constance dans sa direction. Secondement, quand les crues se calment, on voit souvent, à l'embouchure, sur la rive droite, des bancs de galets se déposer, puis disparaitre quelques jours après sous l'in-

fluence des seules forces marines. Or, il n'y a aucun doute à cet égard, les galets ne marchent jamais poussés par les courants de la mer; il faut, pour les entrainer, ou la violence des crûes fluviales, ou le choc irrésistible des vagues. Ce sont donc ces dernières qui agissent sur les bancs dont il s'agit, et leur intervention souveraine montre que ce sont elles aussi qui doivent déterminer la création du crochet de Quivolgo.

Comment? Que l'on se reporte à la figure 1 de la planche X: elle retrace le plan de l'embouchure du Maule après une crûe. On voit que la direction des lames arrive à la rive droite sous un angle obtus. Suivons l'effet d'une vague qui frappe le rivage en A; en se retirant, elle ramènera en B une partie du sable affouillé en A. La lame suivante portera ce sable de B en C; il reviendra en D, et ainsi de suite. Or, la vague qui arrive est plus forte que celle qui se retire; il en résulte deux conséquences:

1.° Qu'une partie du sable s'arrêtera aux points B, D, F.... d'où elle sera chassée par la lame suivante;

2.° Que les distances AB, CD, EF.... seront plus courtes que celles BC, DE..... et que par conséquent la ligne ACE.... s'inclinera vers l'amont du fleuve. Ainsi s'expliquerait la naissance du crochet de Quivolgo, dont la forme définitive, d'ailleurs, ne dépend pas seulement des mouvements précédents, mais encore de la violence plus ou moins grande des vagues suivant les jours, de la variation de leur direction avec les vents, des dérangements d'équilibre produits par les tempêtes du Nord, des courants de flot et de jusant, etc. Mais la tendance générale est prédominante.

Cette explication, qui ne résulte que de l'étude des plans, méritait une confirmation. On peut l'avoir facilement, quand le crochet de Quivolgo est entièrement formé.

Si l'on jette dans la mer, en avant de cette plage et à une certaine distance du rivage, un flotteur X (pl. X. fig 1), on le voit s'avancer d'abord en X', puis revenir en Z. Pourquoi?

C'est que tant que le flotteur est suffisamment éloigné de la terre, il ne subit que l'influence du courant littoral, qui le transporte de X en X'; mais le déferlement des vagues le rapproche peu à peu du rivage, et il finit par se trouver dans leur zone d'action translatrice, où leur force est supérieure à celle du courant littoral. Dès lors, on voit le flotteur voguer de la droite à la gauche de

l'observateur, en zigzag, parfois remontant et descendant le long de l'estran, et finissant par gagner du terrain.

Des petits cailloux blancs, dans cette seconde phase de l'observation, indiquent la même action; quelques-uns se perdent en s'enfonçant, mais il en arrive toujours au but.

Le mécanisme de la formation de la plage de Quivolgo s'explique donc facilement; c'est le sable de la rive droite qui, sous l'influence des lames, est ramené vers le milieu de l'embouchure.

Effet des crues

Le Maule subit parfois des crûes considérables qui, ainsi qu'on l'a dit, portent plus de galets que de sable; du moins celui-ci va-t-il à la mer, pendant que les premiers restent à l'embouchure, pour quelque temps. Ces crûes, de plus, emportent la barre et le crochet de Quivolgo. Les matériaux de ces obstacles, entrainés principalement par les filets liquides du milieu de la rivière, dont la vitesse est la plus grande, vont se déposer au large et y forment un banc, qu indique nettement le plan de la planche VII.

La crûe, pour se frayer un passage, repousse, perpendiculairement au rivage, les sables accumulés devant l'embouchure; et cet effet se remarque très bien par la direction des courbes de niveau sur le plan de la planche VII.

Entre le banc et les berges sous-marines ainsi créées, il s'établit deux chenaux: l'un dirigé vers le Nord, l'autre vers le Sud.

Mais cet état de choses ne dure qu'autant que le mer reste belle; dès que les lames deviennent plus fortes, elles repoussent vers le rivage les sables du banc extérieur, qui reviennent prendre leur place et grossir la barre. Le banc disparait donc peu à peu; les courbes de niveau s'inclinent de plus en plus, jusqu'à retourner à leur position parallèle au rivage, ainsi qu'on les voit sur le plan de M. Lévêque.

Ce plan indique donc bien, comme je l'ai déjà dit, le régime définitif de la plage.

Remarquons qu'une grande partie du sable qui se déplace ainsi est toujours la même. L'apport nouveau n'est donc pas considérable; ce qui s'explique aisément, puisqu'il ne provient que de la décomposition des roches littorales voisines. Les dunes

et la plage immense de sable qui se trouvent au Nord de Quivolgo sont l'œuvre des siècles; chaque année ne leur apporte qu'un contingent réduit, et la conquête de la terre par les alluvions de la mer ne se fait que bien lentement.

Amélioration de l'entrée

Coupe de la Poza.—Sur le plan de l'embouchure du Maule, (plan Lévêque) on voit qu'à l'endroit appelé *la Poza*, juste vis à vis de l'extrémité de l'éperon de Quivolgo, se trouvent des courbes de niveau très rapprochées et qui indiquent jusqu'à la cote—15 mètres. Cette disposition se maintient depuis de longues années. Ces courbes de niveau s'étendent à l'amont et à l'aval, figurant une longue soucoupe ovale et profonde.

Ce n'est pas là un phénomène accidentel; il se reproduit lorsqu'on resserre brusquement la sortie d'un estuaire sablonneux, chaque fois que des conditions particulières ne s'opposent pas au creusement. Aussi un savant Ingénieur, de l'observation de phénomènes semblables en diverses localités, avait-il conclu à l'existence d'une loi ainsi formulée:

«Lorsqu'une baie à fond affouillable est séparée par un goulet, d'une mer sujette à l'action des marées, il se produit dans le goulet, sous l'action des courants alternatifs de marée, une fosse profonde s'étendant en amont et en aval, et les profondeurs se propagent en formant des chenaux qui s'étendent à de grandes distances des deux côtés de la passe.

«Lorsqu'un cours d'eau débouche dans la baie, l'action des courants de jusant se trouvant augmentée, l'effet indiqué se produit avec plus d'intensité.»

Exposée en ces termes, la loi est trop absolue; des conditions particulières peuvent modifier les résultats. Si elle se vérifie à la baie de Carlingford, à la Foyle en Irlande, etc. elle n'est pas vraie pour de nombreux estuaires, et il faut une étude pour chaque cas particulier, avant de conclure.

A Constitución on voit en même temps la loi se vérifier, et pourtant ne donner aucun résultat pratique. L'affouillement est bien produit par le goulet que détermine la pointe de Quivolgo, et même dans des proportions considérables; mais, tout en s'étendant à

l'aval, il ne se continue pas assez loin pour empêcher l'établissement de la barre.

Pourquoi? Probablement parceque le mode de formation de l'éperon de Quivolgo le fait trop rentrer dans l'estuaire du Maule. Quand l'eau sort du goulet, où elle a sa vitesse maxima, elle agit encore quelque temps sur le fond affouillable, mais s'étale vite, trouvant la mer libre devant elle, et perd son action. Lorsqu'elle arrive aux fonds de 2 et 3 mètres, elle n'a plus assez de vitesse pour entamer le sable, et tout le bénéfice retiré de la contraction de l'estuaire est perdu.

Si au contraire, comme à Carlingford, à la Foyle, à la Gironde, on arrivait dans les grandes profondeurs, si l'on pouvait déplacer l'éperon de Quivolgo et le reporter plus au large, il n'y a pas de doute que l'affouillement se produirait de la même façon, mais il se continuerait assez loin à l'aval pour que l'entrée conserve un fort tirant d'eau.

De la rive courbe.—Entrons plus profondément dans l'examen des phénomènes qui se passent à l'embouchure du Maule; car ce n'est qu'en aidant la nature qu'on peut espérer le succès dans les travaux maritimes.

La rive gauche, depuis la *Poza* jusque par le travers de la pierre de *las Ventanas*, est constituée par une courbe dont la concavité est tournée vers le milieu du fleuve. Contre cette face curviligne, les courbes de niveau profond se maintiennent aussi longtemps que les circonstances antérieures ne viennent pas modifier le régime spécial dû à cette disposition (plan Lévêque).

Là encore, il n'y a rien que de normal.

Les ingénieurs de la Seine Maritime ont reconnu que, dans les estuaires comme dans les rivières, les grandes profondeurs sont déterminées le long des rives concaves, à la condition que les courants de flot et de jusant suivent la même route, ce qui est le cas du Maule.

Conclusions.—On peut donc conclure:

1.° Qu'en reproduisant plus au large le goulet formé par la pointe de Quivolgo, on déterminera à la nouvelle passe les affouillements qui ont lieu à l'heure actuelle au droit de cette pointe;

2.° Que pour donner à l'entrée du Maule la profondeur minima de 8 mètres, il faut porter ce goulet près de la courbe naturelle de cette côte;

3.° Qu'en imposant à la rive gauche du nouveau chenal la forme concave, les grandes profondeurs se détermineront le long de cette rive.

Le plan Lévêque indique que le courant de jusant a une tendance marquée à approfondir un chenal dans la direction de la rive concave, car on voit, suivant la ligne $\alpha\ \beta\ \gamma\ldots$ les courbes de niveau de 5, 6, 7,...mètres s'infléchir en rentrant dans l'embouchure. C'est donc l'indication du chenal à tracer.

Réalisation de l'entrée

Môle Sud.—Il est évident, d'abord, qu'il faut établir un môle Sud, continuant la courbe naturelle concave de la rive gauche. Puisque le goulet doit être reporté au delà de la barre, ce môle doit fermer l'ouverture comprise entre les pierres de *las Ventanas* et *los Lobos*.

Pourrait-il s'arrêter là? Non. Au pied de la pierre de *los Lobos* il n'y a que 3 mètres d'eau. L'affouillement, on l'a vu ci-dessus, ne s'étendrait pas assez loin au delà de cette cote pour atteindre les fonds de 8 mètres.

Ce n'est pas tout. Le sable qui forme la barre et passe de la rive gauche à la rive droite, vient de la Caleta. Or, si cette baie est arrivée aujourd'hui à un régime plus ou moins stable, tantôt s'augmentant, tantôt diminuant, ce régime changerait si l'on modifiait les contours de la baie; et c'est ce que l'on ferait, en fermant le couloir qui sépare les deux Pierres.

La lame, oblique à la côte, tendra à amasser le sable contre l'épi formé par le môle; et il est plus que probable que cet amoncellement arrivera à l'extrémité de la pierre de *los Lobos*. Ce comblement se fera peut-être dans un temps relativement assez court, car il s'effectuera dans de faibles profondeurs. Une fois qu'il sera terminé, on aura tout lieu de craindre que le sable ne dépasse le musoir du môle.

Il est certain que le goulet ayant été reporté plus loin qu'aujourd'hui, le courant de jusant, plus fort que celui de flot, empêcherait le sable de séjourner devant l'entrée du port; mais il irait se déposer un peu plus loin et reformer une barre.

Les conditions seraient tout autres, si le môle atteignait les pro-

fondeurs voisines de 8 mètres. D'abord la Caleta mettrait beaucoup plus de temps à se remplir; puis, supposons le sable arrivé au musoir et le débordant, il sera, sous l'action du jusant, emporté dans les fonds de 10 à 12 mètres; et pour les combler, il lui faudrait une période de temps beaucoup plus longue.

Enfin, quelle que soit l'intensité du courant littoral, il est certain que le prolongement du môle en mer l'augmentera, et qu'il aura par suite une certaine influence même vis-à-vis de l'embouchure. C'est là un fait d'observation constante, qui a eu une action notable sur le régime du port d'Ymuiden, et qu'on a constaté directement au Chili sur ce courant «dont l'intensité croît en doublant les caps et rochers» (*Ann. Hydr.* III, 121). Par conséquent, la force d'entrainement des sables vers le Nord en serait accrûe.

Necessité d'un second mole.—Le courant de jusant devant se fixer le long de la courbe concave formée par le môle Sud-Ouest, est-il nécessaire de construire un second môle?

Au port de Bilbao, l'ingénieur M. E. Churruca n'a établi qu'un seul môle, sur la rive gauche, en prolongement de l'ancienne jetée de Portugalete; et ainsi qu'il l'avait prévu, les sables de la rive droite, provenant de la *Playa de las Arenas*, contenus par le courant du Nervion, se sont alignés parallèlement au môle, continuant la berge, et ont ainsi constitué eux-mêmes le môle de ce côté.

C'est un peu ce qui se passe, sous une autre forme, à Constitución; la nature établit elle-même l'éperon de Quivolgo et détermine ainsi le goulet de l'embouchure. Si l'on n'avait pas à compter avec les crûes du Maule, cet effet se produirait également dans le nouveau régime établi par la construction du môle Sud-Ouest. Les sables de la plage de Quivolgo avanceraient d'eux-mêmes en mer et formeraient le goulet plus au large.

Mais, dans un large estuaire comme celui du Maule, avec les crûes énormes, comme la fameuse *avenida* de 1877, qui balaient tout, on doit craindre que le chenal, dans ces convulsions, ne soit déplacé et rejeté vers le Nord. A coup sûr, il reviendrait plus tard reprendre sa place; mais au bout de combien de temps?

Un port ne saurait rester soumis à des vicissitudes pareilles. Un second môle, au Nord-Est, s'impose donc.

Largeur de l'entrée.—La chasse produite sur le lit, au jusant, se compose de deux quantités: 1.° le débit propre du fleuve; 2.° le

volume débité pendant le flot et qui a été retenu par le mur que constitue la marée montante.

Dans les fleuves à faible débit et à grande marée, comme le sont la plupart de ceux d'Europe, à ces deux éléments il vient s'en joindre un troisième: la quantité d'eau de mer introduite pendant le flux et qui s'écoule au reflux. Aussi, dans tout projet d'amélioration d'un estuaire, faut-il prendre grand soin de ne pas entraver l'introduction de la marée par le rétrécissement de l'entrée; on doit également veiller à ne pas diminuer le bassin de réception de l'eau salée, pour conserver à la chasse toute sa puissance.

Mais au Maule, on n'a rien à craindre de l'étroitesse de l'entrée, puisque la mer ne pénètre pas dans le fleuve; il suffit de ne pas gêner les mouvements des navires.

Si l'entrée était assez étroite pour qu'on puisse espérer qu'elle prendrait dans toute sa largeur une profondeur uniforme, la vitesse n'éprouverait pas les grandes variations qu'elle doit aujourd'hui à la forme capricieuse du lit.

D'autre part, une vitesse moyenne d'un mètre (deux nœuds) ne serait pas une gêne pour l'entrée des navires, et suffirait pour assurer la chasse. Pour un débit de 1200 m^3, appelant S la section du chenal, on aura

$$1200 = S \times 1m$$

D'où $$S = 1200m^2$$

L étant la largeur, et la profondeur de 8 mètres

$$S = L \times 8$$

D'où L = 150 mètres

C'est la largeur que devra avoir le chenal; elle est plus étroite que celle qui résulte de la formation naturelle de l'éperon de Quivolgo; il s'en suivra donc une chasse plus énergique et un approfondissement plus certain.

Comme la mesure du débit du fleuve n'a été prise que dans une saison, après un hiver très pluvieux, il se peut que le chiffre de $1200m^3$ éprouve des variations, qui influeraient sur la largeur ainsi trouvée; celle-ci n'est donc pas donnée d'une manière absolue. Pendant l'exécution des travaux préparatoires et surtout après celle du môle Sud, l'ingénieur chargé de la construction du Port

pourra se rendre compte, en toute connaissance de cause, de la véritable dimension à donner à l'entrée. Avec un peu de perspicacité, il dirigera l'exécution du môle Nord-Est, de façon à obtenir l'effet désiré; ce qu'il ne faut pas oublier, c'est que la largeur est fonction du débit à l'étiage, pour assurer la chasse.

Quand le volume charrié sera plus considérable, il en résultera un peu plus de rapidité du courant; mais il suffit de se rappeler qu'entre Liverpool et Birkenhead, la vitesse atteient 4 nœuds, pour voir que l'inconvénient ne serait pas bien grand, même dans une entrée n'ayant que 150 mètres.

On ne saurait d'ailleurs trouver que le rétrécissement est trop grand; au Havre, par exemple, l entrée n a que 100 mètres; de plus cette largeur se continue assez longtemps dans un chenal rectiligne, tandis qu'elle ne se présentera au Maule que sur une faible longueur, ainsi qu'on va le voir.

Forme du môle Nord-Est.—On se rappelle qu'avant 1827 le courant du Maule, après avoir frappé la pointe de *la Grada*, se rendait à l'embouchure par une courbe aboutissant à la pierre de *los Lobos*. Si cette direction existait encore, toute l'eau irait s appuyer contre le môle Sud-Ouest projeté, et déterminerait plus sûrement l'affouillement qui existait alors.

Cette disposition peut être reproduite artificiellement, et tout le volume débité peut être guidé sûrement, en donnant au môle Nord-Est la forme représentée sur le planche XIII.

Le courant du fleuve sera rejeté contre le môle Sud-Ouest; il n'y aura pas d'hésitation de la part ni du flot ni de l'ebbe à suivre le même chemin; et l'on n'aura pas à redouter de divagations dont le résultat serait la création de canaux secondaires. La réaction sur le fond sera complète, et les profondeurs dans le chenal seront assurées.

Il n'y a contre cette disposition qu'une objection: le môle présente son intrados à la vague. Mais, d'une part, la façon dont il sera construit le mettra en état de résister au choc, d'autre part, il est certain que le rivage Nord viendra s'adosser contre le mur, ainsi que l'indique le plan, et lui servira de risberme.

Effet du môle Nord-Est.—Pour achever ce qui a rapport à ce môle, remarquons que lorsque la plage Nord aura pris la situation qu'on vient de dire, les lames de direction générale la frapperont

suivant une direction oblique du 3e quadrant vers le 1.er, et que par conséquent le sable ne sera plus ramené du Nord au Sud.

Ainsi qu'on le voit sur le plan, ce môle ne s'avance pas aussi loin dans la mer que l'autre. Je le projette tel, qu'une tangente au musoir du môle Sud-Ouest, parallèle à la direction des lames, laisse en dedans le musoir du môle Nord-Est. Alors, des forces habituellement en jeu, action des vagues et courant côtier, aucune ne tend à faire entrer les sables. Il en sera autrement quand les lames viendront du Nord pendant les tempêtes; mais les faibles apports ainsi amenés seront repoussés par les forces ordinaires.

J'ai figuré sur le plan les courbes hypothétiques de niveau qui s'établiront à l'entrée, à l'instar de ce qui se passe actuellement—sans d'ailleurs coter ces courbes, ce qui serait téméraire.

Maintien du nouveau régime.—Le nouveau régime créé par l'établissement des môles peut-il être modifié par les apports de la rivière? Remarquons que rien n'est changé au dessus de la Poza. Si donc, la partie d'amont devait être comblée, elle le sera it aussi bien aujourd'hui que dans l'avenir, ce qui ne se produit pas. Quant à la partie d'aval, comme le courant y sera plus rapide qu'aujourd'hui. il y a encore moins de chances d'encombrement.

Mode d'exécution

Môle Sud-Ouest.—Pour constituer le mur d'abri Sud-Ouest, il y a à considérer deux parties: la première s'étend de la *Poza* jusque par le travers de l'extrémité de la pierre de *las Ventanas*; la seconde va de cette pierre au musoir. L'ensemble présente une courbure concave générale, formant un arc de cercle d'environ 1500 mètres de rayon.

La première partie, construite à l'abri du cerro Mutrún et de la roche de *las Ventanas*, est un simple quai en enrochements (feuille XIV, fig. 5) de 1 1/2 de base sur 1 de hauteur, dépassant de 1 *m* le niveau des hautes eaux. Il sera, par derrière, comblé avec des pierres de remplage.

La seconde partie se composera, après l'établissement d'un substratum en pierres naturelles, destinées à consolider le terrain par leur enfoncement dans le sable, de blocs artificiels (feuille XIV fig. 1 et 2). Comme c'est contre ce mur que se produira l'affouille-

ment, sa base sera minée. Pour éviter l'effondrement, on établira, du côté du chenal, un revêtement en pierres naturelles; à mesure de l'excavation, ces enrochements s'écrouleront, protégeant la base des blocs. (fig. 3 et 4, pl. XIV).

Ceux-ci seront jetés «pêle-mêle» à la mer; de cette façon, si quelques-uns sont renversés, le mal sera facilement réparable.

Il sera peut-être possible de faire une économie sur la construction de ce môle, en fermant d'abord au Sud les intervalles compris entre la pierre de *las Ventanas* et la *Gaviola* et la pierre de *los Lobos* d'autre part, par de forts enrochements et un blocage intérieur, qui serait vite appuyé par un apport de sables. Alors le quai en pierres naturelles serait continué jusqu'à la pierre de *los Lobos*. Au delà, on emploierait les blocs artificiels.

Môle Nord-Est.—Ce môle ne sera construit qu'après l'autre, il sera donc établi dans une aire relativement protégée. Ainsi qu'on le voit sur le plan, il ne part pas de la plage actuelle, mais s'enracine en terre ferme aux parties résistantes de la rive droite. Autrement, le courant pourrait passer par derrière, et s'ouvrir une issue au Nord à travers la plage de Quivolgo. C'est ce qui est arrivé à l'estuaire de Manasquan, aux Etats-Unis, par exemple, où des travaux considérables ont été rendus inutiles.

La portion comprise entre la terre ferme et la plage n'aurait guère à redouter la mer, et pourrait être économiquement construite en enrochements naturels. De la plage au musoir, on emploierait les blocs artificiels, dans le même système qu'à l'autre môle. Comme l'affouillement se produira à peine de ce côté, il n'y a pas à prévoir de protection intérieure en pierres.

Pendant les crûes, si ce môle fermait complètement l'embouchure, la ville de Constitución pourrait être inondée; aussi faut-il maintenir les blocs seulement au niveau de la haute mer, sur une partie de la largeur du mur. L'extrémité (sur 50 mètres) sera surélevée, tant pour porter peut-être un système d'éclairage que pour être facilement visible et ne pas constituer un écueil. Toute l'eau qui s'écoule en temps ordinaire, aux hautes mers de syzygies, passera, pendant les crûes, par la section d'entrée. Le surplus trouvera sa sortie par dessus la partie submersible du môle, sans que la ville ait à souffrir.

Le sable de la plage de Quivolgo viendra s'appuyer à l'extérieur du mur; mais l'eau des crûes qui passera sur le faîte, comme sur

un déversoir, pourras affouiller ce sable et l'enlever. Si on le reconnait nécessaire, on devra protéger le pied des blocs, du côté du large, par des enrochements.

Port intérieur

Le Maule présente, dans sa partie maritime, des fonds suffisants pour recevoir les navires qui le fréquentent; mais il est nécessaire de creuser une darse, pour l'admission de bâtiments de plus fort tonnage. Entre l'île et la ville, existe un canal d'environ 125 mètres de largeur. Fermé en amont par un barrage, et dragué à 8 mètres de profondeur, il constituerait un bassin très commode où les navires seraient à l'abri des crûes.

Pour y accéder, il faudra draguer, également à 8 mètres, un canal de 100 mètres de largeur. Comme l'approfondissement du chenal se fera naturellement de *la Poza* à la mer, il n'y aura à draguer qu'en amont.

Je ne prévois rien pour les installations intérieures, qui se modèleront sur le développement ultérieur du Port. Les terrains qui bordent le bras de l'île étant tous propriété particulière, il est inutile de réserver l'avenir sur ce point.

Feux de port

Le môle de la rive droite n'étant pas accessible, on n'y établira pas de feu qu'il faudrait entretenir chaque jour. On pourra y installer des lampes Pintsch, qui peuvent brûler longtemps sans l'intervention de l'homme; on pourra aussi construire sur le musoir des balises réfléchissantes, sur lesquels on projettera les feux de lampes électriques installées à terre.

Appareils

La première portion du môle Sud-Ouest, composée d'enrochements, se fera par les moyens ordinaires de terrassement. Pour les blocs artificiels, on emploiera des grues.

La première portion du môle Nord-Est sera construite comme

celle de l'autre mur. Pour le reste, comme on sera dans une surface abritée, le meilleur système, pour les blocs qui ne doivent pas dépasser le niveau de l'eau, est d'employer une grue flottante analogue à celle dout s'est servi M. Bindon Stoney, à Dublin.

Je donnerai à la fin de ce rapport le devis de l'établissement du port de Constitución.

CHAPITRE III

LA BAIE DE CORRAL ET LA RIVIÈRE DE VALDIVIA

Les deux provinces du Sud de la République, Valdivia et Llanquihue, encore inconnues dans une partie de leur territoire, sont appelées à un avenir que font présager les progrès accomplis durant les quarante dernières années. Parmi les sources de richesses dont la nature les a dotées, il faut compter en première ligne les grands lacs et les nombreux cours d'eau qui les sillonnent. A ce Mémoire est jointe une Carte Hydrographique de ces provinces, dressée tant d'après les documents déjà publiés, que d'après ceux qui se trouvent encore inédits dans les archives de la *Oficina Hidrográfica* (pl. XV).

On y voit que les lacs connus occupent une superficie de 2000 kilomètres carrés, soit le vingtième de l'aire de ces deux provinces, et qu'entre eux coulents des rivières qui en font communiquer un certain nombre. On a inscrit les hauteurs au dessus du niveau de la mer attribuées à ces vastes étendues d'eau. Ces documents ont bésoin d'être contrôlés et complétés; mais la carte servira de base aux études ultérieures (*)

Parmi les fleuves qui arrosent cette région, il en est trois qui présentent un très grand intérêt; les Ríos *Valdivia*, *Bueno* et *Maullin*. Ce chapitre est consacré à l'étude du premier, sur lequel est assise la ville qui porte le même nom, et dont l'importance s'accroît chaque jour.

(*) La *Oficina Hidrográfica* a publié, en 1882, un «Questionnaire relatif aux rivières de la République» très complet et parfaitement conçu en vue des études techniques. Il serait à désirer que ce Questionnaire reçut des réponses pour les principaux fleuves.

Le Río Valdivia

Le Río Valdivia prend sa source dans de lac Reñihue, situé par le 39° 50' de latitude Sud, et dont la superficie est de 50 kilomètres carrés. Son altitude est de 132 mètres. Ce lac reçoit lui-même les eaux de plusieurs autres, encore peu étudiés. En sortant du lac Reñihue, la rivière porte le nom de *Río grande de San Pedro*, qu'elle perd à son confluent avec le *Río Quinchilca*, pour prendre celui de *Calle-Calle*, qu'elle conserve jusqu'à la ville de Valdivia.

Un peu au dessous de cette ville, elle reçoit le *Río Cruces*, le principal de ses affluents, navigable sur une grande partie de son parcours; puis elle se sépare en deux bras: l'un, le *Rio Corto* ou *Río Valdivia* proprement dit, se rend presque directement à la mer, tandis que l'autre, le *Torna Galeones*, formé lui-même par la réunion de deux bras, ceux de *Guacamayo* et de *la Cantera*, fait un long détour avant d'arriver, presque au même point que le premier, dans la baie de Corral.

Le Rio Valdivia mesure environ 17 kilomètres de longueur, et le Torna Galeones en a à peu près 35, depuis Valdivia jusqu'à la mer.

Les coordonnées géographiques de Valdivia sont d'après Pissis:
Latitude Sud: 39° 48' 34"
Longitude O. de Greenwich: 75° 36' 53"

Plans.—Il existe plusieurs plans de la baie de Corral et du Río Valdivia. Celui de l'amiral Fitz-Roy (1835) est très intéressant; mais, scientifiquement, on ne peut accorder de confiance qu'à celui qui a été levé par les officiers de la Marine Chilienne, et publié en 1870. Les plans que la Commission actuelle publie ressemblent de si près au précedent, qu'on peut dire qu'ils ne présentent que des modifications de détail. La comparaison de l'état actuel du fleuve avec celui consigné dans la carte des officiers chiliens a pesé d'un grand poids dans les déterminations qui ont été prises pour les projets d'amélioration de la rivière et de la baie.

Régime des eaux.—Au dessus de Valdivia le Calle-Calle, qui passe dans plusieurs lacs, y dépose la majaure partie des sédiments qu'il a pu enlever aux contreforts des Andes. Aussi ses eaux sont-elles claires et abandonnent peu de ces dépôts sur les fonds d'aval. Mais elles en reprennent aux bancs de sable et de galets qui se

rencontrent dans son lit, et qui en tous cas constituent les berges au milieu desquelles elles coulent. Ces matières nouvelles se composent presque exclusivement de sable assez pur, provenant de l'usure des matériaux précédents.

Comme dans toute cette partie supérieure le Calle-Calle a peu de largeur, le courant y est assez fort et les dépôts rares. Le sable entrainé dépasse donc, en majeure partie, la ville de Valdivia et ne s'arrête guère qu'au dessous.

Comment marche ce sable?

Les eaux du Calle-Calle restent relativement claires même dans les crûes moyennes, et ne se salissent guère que dans les crûes exceptionnelles, lesquelles ne sont d'ailleurs généralement pas très fortes. J'ai filtré des quantités considérables d'eau, pendant les grandes pluies qui avaient élevé le niveau de la rivière en février de cette année (1892) et n'ai obtenu que très peu de résidus. C'est que le sable chemine, presque en totalité, en roulant sur le fond.

On peut s'en assurer en observant le fond du lit, et le bras de l'*Islote* est très favorable à cet examen. Le lit se compose de redans successifs, avec une contrepente très douce *de l'aval vers l'amont*, et terminés par un brusque talus à l'aval. C'est une sorte de large escalier à marches rondes inclinées vers la contre-marche supérieure (pl. XIX, fig. 4 et 5).

Il est facile de se rendre compte du mode de formation de ces gradins; il est tout à fait analogue à celui des dunes sous l'influence du vent. Supposons la rivière roulant des matériaux sur un fond plat et uni, et que pour une raison quelconque, la rencontre d'un caillou, d une branche, etc. une partie du sable s'arrête et forme un petit tas. D'autres matériaux, venant de la partie supérieure, agrandiront ce tas, qui s'étendra en amont suivant un talus allongé. Quand l'angle de ce talus devient très faible, les matériaux ne s'arrêtent plus, roulent sur le talus, et vont tomber en aval, où, protégés contre le courant, ils s'arrêtent. Le gradin se forme ainsi peu à peu; et le sable étant surtout entrainé par les filets liquides du milieu de la rivière, dont la vitesse est maxima, la marche prend la forme convexe vers l'aval.

Mais, de même que s'il pleuvait du sable au dessus des dunes, leurs parties creuses seraient comblées, de même si la rivière laissait déposer verticalement du sable tenu en suspension, les di-

verses marches seraient bientôt réunies. Donc, la forme que l'on vient de décrire ne peut se trouver que dans les rivières claires.

Au dessous du confluent avec le Río Cruces, on ne remarque plus ces escaliers; c'est que cette rivière, dont les apports sont semblables à ceux du Calle-Calle, est plus trouble; elle les tient en suspension. Quand ils se déposent en bancs, ceux-ci affectent une forme unie; ils sont très nombreux à partir de l'île San Francisco.

Il y a dans le Calle-Calle, au dessus d'Arique, des *barrancos* ou berges à pic, dont l'écroulement est continu et préoccupe de nombreux habitants de Valdivia pour l'avenir de leur fleuve. En réalité, ce n'est pas là un grand danger. D'abord, le cube qui s'éboule chaque année est moins important qu'on ne se le figure; le moindre calcul suffit à le prouver. D'autre part, ces *barrancos* sont formés d'argile qui se réduit en particules très ténues, qu'on ne retrouve pas sur les bancs; elles sont entrainées par le courant jusqu'à la baie de Corral, et de là à la mer.

Plus dangereux sont les résidus que l'on jette dans le fleuve, des usines établies le long des rives, et principalement des tanneries. Certes, la majeure partie est également emportée à l'Océan, mais s'il en reste des fragments emprisonnés dans le sable, ils lui donnent une consistance qui le rend plus difficile à enlever. Il est urgent que des mesures de police fluviale soient prises à cet égard.

Somme toute, les apports qu'on trouve dans la rivière sont le résultat de l'accumulation de nombreux siècles; leur volume augmente peu; ils ne sauraient donc être un obstacle à l'amélioration du fleuve.

Propriétés physiques de l'eau.—Bien que la marée se fasse sentir jusqu'à Antilhue, il entre très peu d'eau de mer dans le Río Valdivia. Des échantillons, pris à de courts intervalles, pendant les derniers moments d'une marée montante, m'ont donné les poids suivants pour un litre à + 4° centigrades.

A Valdivia	1001
A la pointe inférieure de l'ile Mota	1002,60
Devant Cutipay	1005,20
A l'entrée de l' embouchure	1011,10
Au milieu de la baie de Corral	1011,60

Il faut remarquer que même ce dernier chiffre est très faible, en comparaison du poids moyen des eaux du Pacifique, que j'ai trouvé voisin de 1030. En effet, quelque ouverte que soit la baie de Corral, l'eau y est très peu saumâtre. En hiver, elle peut être bue.

La température de l'eau du Río Valdivia, en été, varie de 16° à 20° C. Dans la baie de Corral, on rencontre des températures différentes, souvent à peu de distance, ce qui accuse l'existence de courants.

La baie de Corral

La baie de Corral, découpée entre la pointe Juan Latorre au Nord et le Morro Gonzalo au Sud, s'ouvre au Nord-Ouest, sur une longeur d'environ $4\frac{1}{2}$ kilomètres, et s'enfonce, presque du Nord au Sud, sur plus de 11 kilomètres. La première partie, où existent de grandes profondeurs, est complètement exposée aux vents du Nord et du Nord-Ouest, et en partie à ceux de l'Ouest.

La baie va en se resserrant jusqu'aux pointes Niebla et Amargos, entre lesquelles il n'y a qu'environ 1800 mètres. C'est derrière la pointe Niebla que se trouve l'embouchure du Río Valdivia. Le mouillage de Corral est en face, par des fonds de 10 à 12 mètres. Au delà s'enfonce l'anse de San Juan, encombrée par les sables. Au milieu de la baie existe l'île de Mancera; entre elle et Corral s'étale le banc de *las Tres Hermanas*.

Vents

Des observations météorologiques sont faites depuis de longues années à Valdivia et au phare de Niebla.

Corral.—De celles recueillies à Niebla de 1870 à 1875, il résulte que pour l'année les vents se répartissent à peu près de la manière suivante:

N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	Calme
49	18	81	16	19	16	63	76	27

La fig. 6 de la planche XIX indique la rose obtenue avec les données précédentes. Elle est frappante; on voit que les vents dominants sont justement ceux qui peuvent s'engouffrer dans l'entonnoir de la baie. Reste à savoir si ce n'est pas celle-ci et les hauteurs dont elle est entourée qui dévient vers l'entrée les courants aériens.

La fig. 7 de la même planche montre la résultante du polygone des vecteurs. Elle représente un vent unique, d'une durée de 79 jours. L'angle de direction, pris sur la figure, est de 16° 30 avec le Sud, ce qui donne le SSE ½ S.

La formule de Lambert donne 17° 45 avec le Sud, résultat bien voisin du précédent.

L'ensemble des vents observés au phare de Niebla durant la période indiquée, pourrait donc être remplacé par un seul, venant du NNO ½ N et soufflant durant 79 jours. Les vents de cette direction sont d'ailleurs les plus redoutables; car, dans les fréquentes tempêtes d hiver, le maximum d'intensité provient de ceux du NO.

Les résultats précédents concordent bien avec ceux donnés par M. F. Vidal Gormaz (*Ann. Hidr.* V, 106); mais si on les compare avec ceux des *Annuaires du Bureau Central de Météorologie* de 1886 et 1887, les deux derniers qui aient été intégralement publiés, on constate de grandes différences. En voici le résumé annuel:

N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	Calme
51	4	77	66	32	51	21	57	6

Les vents de SE, S et SO ont témoigné d'une grande continuité, et la résultante finale est un vent de SE ¼ E, qui aurait duré 33 jours, et dont l'angle est de 53° avec le Nord; c'est presque le renversement des autres observations. S'agit-il là d'un phénomène accidentel, ou bien y a-t-il eu quelque modification dans les conditions de l'observatoire de Niebla? Je n'ai pu le savoir.

Mais il est probable que c'est le premier résultat donné qui est le plus conforme à la réalité; il concorde avec ceux d'un grand nombre d'années, et aussi avec ceux de l'observatoire de la pointe *Galera*, situé à proximité.

Valdivia.—Les vents à Valdivia n'offrent plus de tout le régime de la côte. Les anciennes observations donnaient:

N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	Calme
41	14	1	74	35	56	31	66	47

La résultante fait un angle de 63° vers l Est avec le Nord, ce qui correspond à un vent de ENE $\frac{1}{2}$ N, avec une durée de 65 jours environ.

La formule de Lambert donne $\varphi = 62°$.

Il est intéressant de remarquer que les résultantes de Corral et de Valdivia sont presque normales l'une à l'autre. Des observations échelonnées le long du fleuve montreraient la rotation des vents, influencés par les accidents du terrain et aussi sans doute par la nappe d'eau elle même.

Comme à Corral, les dernières observations de Valdivia ne concordent pas avec les premières. La résultante qu'on en déduit souffle du NO. On peut, ici, présumer que ces variations proviennent du changement de situation des lieux où se font les observations.

Marées

L'heure de l'établissement du port à Corral et à Valdivia a été déterminée avec le plus grand soin, pendant les mois de Décembre 1891, Janvier, Février et Mars 1892. Elle a été trouvée, conformément aux résultats précédemment acquis par les officiers de la Marine, de X^{h}35 à Corral et XI^{h}35 à Valdivia, en prenant pour heure le milieu du temps qui s'écoule pendant la courte étale de pleine mer, laps de 12 à 15 minutes. (*)

Il y a donc une différence d'une heure entre les hautes eaux maxima, aux deux ports.

Si l heure de la marée est d'une constance suffisante aux jours

(*) Sur sept observations, de Décembre à Mars, six ont été régulières; mais le 12 Mars, quatre observateurs, placés à Corral, Carboneros, Cutipay et Valdivia, ont trouvé que la pleine mer s'est produite à l'heure de l'établissement de chaque localité, soit à X^{h}35 à Corral et XI^{h}35 à Valdivia. Pourtant, la pleine Lune ne devait avoir lieu que le lendemain 13, à 8^{h}13 du matin. Le 13, les observateurs de Corral et Valdivia ont constaté la haute mer avec le retard qu'elle aurait du avoir le lendemain d'une syzygie. Il y a là une anomalie que je me contente de signaler.

de syzygies, il n'en est pas de même aux autres jours. Pour les hauteurs également, il se présente des irrégularités très grandes.

D'abord, il faut noter qu'au dessus et au dessous du niveau moyen, la marée n'oscille pas d'une quantité égale; en d'autres termes, au point le plus élevé ne correspond pas nécessairement le point le plus bas, ce qui enlève toute symétrie aux courbes représentatrices du phénomène.

D'autre part, la différence entre les hauteurs diurne et nocturne est très marquée. Seulement, il faut bien s'entendre sur ces termes de jour et de nuit; le jour s'étend de 8 heures du matin, plus ou moins, à 8 heures du soir, et la nuit de 8 heures du soir à 8 heures du matin. Ce sont les marées qui ont lieu dans ce dernier intervalle qui sont les plus grandes; la différence atteint parfois 0,60 *m* à Corral et 0,50 *m* à 0,55 *m* à Valdivia.

L'amplitude maxima observée à Valdivia a été de 1,34 *m*; mais l'écart entre le point le plus élevé d'une marée et le point le plus bas d'une autre a été de 1,40 *m*.

La marée la plus faible n'a atteint que 0,36 *m*.

En Europe, la marée maxima a toujours lieu 36 heures après le passage de la Lune au méridien. Il aurait été très intéressant de constater la relation exacte entre ce passage et l'arrivée de l'onde la plus forte à Corral, et à Valdivia, car on sait que le Dr. Wewell assignait le Pacifique comme zone génératrice des ondes de marée. Mais il n'y a à cet égard aucune régularité; le 27 février étant jour de nouvelle Lune, on avait à Valdivia:

Marée	diurne	0,73 *m*
»	nocturne	1,19

et le lendemain

Marée	diurne	0,855
»	nocturne	1,32

La marée maxima avait donc lieu un jour après la syzygie (celle du 29 était plus faible).

Le 12 mars, veille de pleine Lune, on trouvait:

Marée diurne..... 0,74
» nocturne..... 1,11

et le lendemain, jour de la syzygie

Marée diurne..... 0,70
» nocturne..... 0,94

La marée maxima avait donc lieu la veille de la syzygie.

Quelquefois, elle se présente le jour même de la nouvelle ou de la pleine Lune.

Les courbes figurées à la planche XX montrent aussi qu'il n'y a aucune régularité dans l'augmentation ou la diminution progressive de la marée avec l'âge de la Lune, ou du moins qu'il se présente des anomalies qu'on ne rencontre pas en Europe. Il parait donc difficile de représenter les altitudes par une formule, et de les prédire pour un jour donné.

A Valdivia, comme dans toutes les rivières, le jusant est plus prolongé que le flot: en thèse générale, on peut dire que la marée y monte pendant 5 heures et descend pendant 7. Mais, tandis que dans les fleuves européens, où les marées de jour et de nuit sont égales, la différence entre la durée du flux et du reflux est constante, il n'en est pas de même à Valdivia, où, en conséquence, la marée n'embrasse pas exactement 12^h25.

Ainsi, le 12 mars 1892, la marée de jour n'a duré que 11 heures 45 minutes, se divisant ainsi: Flux: 4^h20. Reflux: 7^h25.

On se rend assez facilement compte de cette anomalie par ce fait que la marée de la nuit étant plus forte que celle du jour, s'élève plus rapidement dans le même temps. Quand, le 12 mars, la basse mer avait lieu à Valdivia à 7 heures du soir (tandis qu'elle aurait dû se manifester à 7^h40), les eaux remontaient depuis une demi-heure à Corral, et ce mouvement d'ascension arrêtait l'écoulement du fleure et le faisait gonfler devant Valdivia.

Bien entendu, elles continuaient en ce moment à s'écouler vers la mer. Le renversement du courant n'a d'ailleurs pas lieu à chaque marée à Valdivia, et est au contraire rare. D'observations répétées, il est résulté que ce renversement ne se produisait que lorsque l'amplitude de la marée dépasse la cote +0,93 au dessus du zéro, choisi au point le plus bas que j'aie noté.

A Corral, les marées ont environ 0,30 *m* de plus qu'à Valdivia. Elles montent et baissent régulièrement en 12h25, mais présentent aussi de grandes irrégularités dans l'amplitude, suivant l'âge de la Lune. La différence entre les marées diurne et nocturne se manifeste également. Il est probable enfin qu'il se produit, dans les deux ports, des amplitudes plus grandes que celles qui ont été observées dans les quatre mois précités.

A Cutipay, l'établissement du port est de X^{h}45, c'est à dire de 10 minutes en retard sur Corral. Le régime y est à peine fluvial; la planche XX représente des courbes comparatives de marées observées le même jour (12 mars) à Valdivia, Cutipay, Carboneros et Corral.

Niveau des basses eaux.—Ces courbes sont représentées rapportées à un même plan de comparaison. Un nivellement très précis a donné comme résultat 0,26 *m* de différence entre la basse mer de Corral et celle de Valdivia, le 12 mars 1892. Il est probable que cette différence est un peu plus forte dans les très grandes marées, de sorte que la différence de niveau entre les basses eaux, à Corral et à Valdivia, doit être d'environ 0,30 *m*.

Ce chiffre s'accorde bien avec les écarts d'amplitude des marées dans les deux ports.

La différence entre les basses mers étant, entre Valdivia et Cutipay de 0,18 *m* et avec Corral de 0,26 *m*, on voit qu'à la marée observée, l'eau s'est élevée, au dessus du O de Valdivia,

à Valdivia.....	à +0,74
Cutipay.....	+0,70
Corral.....	+0,70

Or, en adoptant pour lieu géométrique des pleines mers une horizontale, l'erreur est donc.

pour Cutipay.....	—0,04
Corral.....	—0,07

ce qui est insignifiant.

Remarquons que les différences de niveau entre Valdivia et Cutipay d'une part, et entre Cutipay et la baie d'autre part, ne sont

pas proportionnelles aux distances, celles-ci étant respectivement de 10000 et 5000 mètres, en chiffres ronds.

Le rapport des hauteurs est $\frac{0,18}{0,08} = 2,25$

Et celui des distance, $\frac{10000}{5000} = 2$

Ce qui retient les eaux, de Valdivia à Cutipay, ce sont les deux courbes prononcées que subit la rivière et les variations de sa largeur, tandis qu'elle est droite et presque régulière de Cutipay à la Baie.

Courants

Les courants du fleuve, bien entendu, changent à tout instant, suivant le moment de la marée. Ainsi qu'on l'a vu, il y a même renversement quand l'amplitude atteint 0,93 *m*. A partir de l'île Mota, le renversement s'effectue à chaque marée.

Dans les marées de jour, je n'ai jamais observé plus de 0,75 *m* de vitesse devant Valdivia. Entre Cutipay et la mer, j'ai constaté jusqu'à 1,25 *m* en jusant et 0,85 *m* en flux. Dans les grandes marées de nuit, la vitesse doit atteindre 1,50 *m*.

Débit du fleuve

Pissis, estimant à 8450 km^2 la superficie du bassin du Rio Valdivia, et à 2,859 *m* la moyenne annuelle de la quantité d'eau qui y tombe, compte 24 158 000 000 m^3 comme apport annuel des pluies sur cette surface, et par conséquent 2 757 000 m^3 comme débit du fleuve par heure, soit 766 m^3 par seconde.

D'après M. F. Vidal Gormaz, la superficie du bassin est de 8110 km^2 et la moyenne de pluie 2,691 *m*, ce qui ferait un débit de 694 m^3 par seconde.

Pissis ne tient pas compte de l'évaporation, parce que dans ces régions l'air est constamment humide.

En mesurant hors de l'action des marées les débits des divers affluents (sections calculées par des sondages directs de 10 en 10 mètres, vitesses prises au milieu de chacun des intervalles de 10 mètres, par le moulinet de Woltmann), j'ai trouvé:

Calle-Calle	400 m^3
Cruces	120
Futa, Angachilla, Naguilán, etc. ensemble	90
Total	610 m^3

Par le Guacamayo et la Cantera il passe environ 150 m^3 du Rio Valdivia dans le Torna Galeones, en moyenne; le premier conserve donc 350 m^3 à peu près.

Ces nombres subissent d assez fortes modifications suivant les époques. Ils changent aussi à chaque instant dans la zone soumise à l'influence des marées. Nuls au renversement, ils sont beaucoup plus considérables pendant le reflux.

Enfin, au renversement, il entre une certaine quantité d'eau de mer dans le fleuve, de sorte que le débit, au jusant, comprend: 1.° le débit réel du cours d'eau; 2.° le volume retenu pendant le renversement; 3.° l'eau salée entrée.

Il est très difficile de prendre des mesures directes de ces courants de marée, car les vitesses changent pendant l'opération. Un pareil jaugeage ne peut s effectuer que par l'application du théorème du travail, qui se résume dans la formule suivante:

$$z = \alpha \frac{Q^2}{2g}\left[\frac{1}{\Omega''^2} - \frac{1}{\Omega'^2}\right] + aQ\int_0^s \frac{X}{\Omega^2}ds + CQ^2\int_0^s \frac{X}{\Omega^3}ds$$

dans laquelle les lettres ont la signification suivante:

Q, débit du cours d'eau,
Ω', section du fleuve au point supérieur considéré,
Ω'', » » » inférieur »
Ω, section du fleuve en divers points intermédiaires,
X, son périmètre mouillé dans les mêmes sections,
s, longueur totale développée du lit,
ds, distances des sections
z, différence de niveau entre les sections extrêmes,
α, cœfficient = 1,1
a, » = 0,000024
C, » = 0,000366

Il n'est pas toujours facile d'appliquer la formule précédente; les conditions particulières de la rivière peuvent fausser les résultats dans une large mesure; mais sur le Río Valdivia, il y a la portion comprise entre Cutipay et la baie de Corral, qui présente un lit presque droit, une largeur sensiblement uniforme, et où par conséquent l'on peut obtenir un résultat assez approché.

Dans cette portion, nous avons relevé avec soin sept profils transversaux dont les éléments sont donnés par le tableau. Considérons d'abord le moment où la mer est basse à Cutipay; son niveau ne s'est pas encore sensiblement relevé à Corral; donc la différence de hauteur entre la surface des deux sections est celle trouvée par le nivellement:

$$z = 0{,}08\ m$$

Le tableau I donne les éléments des diverses sections; les intégrales étant calculées par la formule de Simpson, il en résulte

TABLEAU I

Profils.	Distances	X	Ω	Ω^2	Ω^3	$\frac{X}{\Omega^2}$	$\frac{X}{\Omega^3}$
1		600	2050	4 202 500	8 615 125 000	0,000 142	0,000 000 069
2		850	2250	5 062 500	11 390 625 000	0,000 167	0,000 000 075
3		720	2650	7 022 500	18 609 625 000	0,000 102	0,000 000 038
4		850	2150	4 622 500	9 938 875 000	0,000 183	0,000 000 085
5		650	2800	7 840 000	21 952 000 000	0,000 083	0,000 000 029
6		625	2200	4 840 000	10 648 000 000	0,000 129	0,000 000 058
7		625	2550	6 502 500	16 581 375 000	0,000 096	0,000 000 037
Moyennes....		700	2380			0,000 129	0,000 000 056

$$Q = 845\ m^3$$

Ainsi, au moment de la basse mer, il s'écoule, de Cutipay à la baie, environ $845 m^3$ par seconde.

Calculons maintenant le débit entre Valdivia et Cutipay. Les conditions physiques du fleuve étant ici beaucoup plus changeantes, nous avons mesuré 14 sections, dont les éléments sont fournis par le tableau II.

TABLEAU II

Profils	Distances	X	Ω	Ω^2	Ω^3	$\frac{X}{\Omega^2}$	$\frac{X}{\Omega^3}$
1		165	1340	1 795 600	2 406 104 000	0,000 092	0,000 000 068
2		225	1220	1 488 400	1 815 848 000	0,000 151	0,000 000 123
3		570	1575	2 480 625	3 906 984 375	0,000 229	0,000 000 148
4		280	2800	7 840 000	21 952 000 000	0,000 036	0,000 000 012
5		245	2400	5 760 000	13 824 000 000	0,000 043	0,000 000 018
6		285	2580	6 656 400	17 173 512 000	0,000 043	0,000 000 016
7		740	2390	5 712 000	13 651 919 000	0,000 129	0,000 000 054
8		650	2260	5 107 600	11 543 176 000	0,000 127	0,000 000 056
9		560	2270	5 152 900	11 697 083 000	0,000 108	0,000 000 047
10		410	1660	2 755 600	4 574 296 000	0,000 149	0,000 000 089
11		460	2340	5 475 600	12 812 904 000	0,000 084	0,000 000 035
12		900	2570	6 604 900	16 974 593 000	0,000 140	0,000 000 053
13		555	1970	3 880 900	7 645 373 000	0,000 132	0,000 000 072
14		600	2050	4 202 500	8 615 125 000	0,000 142	0,000 000 069
Moyennes....		475	2100			0,000 114	0,000 000 061

Ici, $z = 0{,}14$ *m*, parce que de la différence de niveau entre Valdivia et Cutipay, il faut retrancher 0,02 *m* hauteur dont l'eau s'est déjà élevée à la dernière station, quand elle est basse à la première.

De l'équation on conclut

$$Q = 705 \text{ m}^3$$

Ce débit ne comprend que le volume normal et celui qui a été retenu pendant le flux. Remarquons que le calcul est certainement moins exact dans cette section; la largeur y est très variable, les courbes sont prononcées, et les vitesses sont influencées par le Cruces, le Guacamayo et la Cantera.

Débit maximum

Le débit calculé ci-dessus a moins d'importance que celui qui a lieu à mi-marée, trois heures après la pleine mer, et qui est le maximum.

De Cutipay à la mer, il est facile de voir, sur les courbes comparatives des marées, que la différence z de niveau est en ce moment de 0,15 *m*.

Les périmètres mouillés n'ont pas pratiquement changé; mais il n'en est pas de même des sections. Au lieu de calculer chacune d'elles en particulier, j'ai augmenté celles du tableau I de l'excédent moyen, ce qui ne change guère le résultat, et l'on obtient ainsi les données du tableau III.

TABLEAU III

Profils	Distances	X	Ω	Ω^2	Ω^3	$\frac{X}{\Omega^2}$	$\frac{X}{\Omega^3}$
1		600	2290	5 244 100	12 008 989 000	0,000 114	0,000 000 050
2		850	2490	6 200 100	15 438 249 000	0,000 137	0,000 000 055
3		720	2890	8 352 100	24 137 569 000	0,000 086	0,000 000 029
4		850	2590	5 712 100	13 651 919 000	0,000 148	0,000 000 062
5		650	3040	9 241 600	28 094 464 000	0,000 070	0,000 000 022
6		625	2440	5 953 600	14 526 784 000	0,000 105	0,000 000 043
7		625	2790	7 784 100	21 717 639 000	0,000 080	0,000 000 029
Moyennes....		700	2620			0,000 106	0,000 000 041

D où $Q = 1300\ m^3$

En appliquant les mêmes calculs à la section comprise entre Valdivia et Cutipay, et prenant également sur les courbes comparatives des marées, $z = 0{,}22\ m$, on obtient le tableau IV.

TABLEAU IV

Profils	Distances	X	Ω	Ω^2	Ω^3	$\frac{X}{\Omega^2}$	$\frac{X\|}{\Omega}$
1		165	1400	1 960 300	2 744 000 000	0,000 084	0,000 000 060
2		225	1300	1 690 000	2 197 000 000	0,000 133	0,000 000 102
3		570	1770	3 132 900	5 545 233 000	0,000 182	0,000 000 103
4		280	2900	7 840 000	21 952 000 000	0,000 035	0,000 000 013
5		245	2490	6 200 100	15 438 249 000	0,000 039	0,000 000 016
6		285	2680	7 182 400	19 248 832 000	0,000 039	0,000 000 014
7		740	2650	7 022 500	18 609 625 000	0,000 105	0,000 000 039
8		650	2500	6 250 000	15 625 000 000	0,000 104	0,000 000 042
9		560	2470	6 100 900	15 069 223 000	0,000 092	0,000 000 037
10		410	1820	3 312 400	6 028 568 000	0,000 123	0,000 000 061
11		460	2520	6 350 400	16 003 008 000	0,000 072	0,000 000 028
12		900	2900	8 410 000	24 389 000 000	0,000 107	0,000 000 037
13		555	2150	4 622 500	9 938 375 000	0,000 120	0,000 000 055
14		600	2280	5 198 400	11 852 352 000	0,000 115	0,000 000 050
Moyennes		475	2270			0,000 096	0,000 000 046

D'où $Q = 1220\ m^3$

Influence des courbes

Mais ce nombre, pas plus que celui de $705m^3$ précédemment trouvé, n'est rigoureusement exact. En effet, dans cette section, les courbes exercent une influence qu'on ne saurait négliger.

On peut l'apprécier par la formule donnée par Abbott et Humphrey:

$$h = \frac{v^2 \sin^2 d}{134}$$

Pour l'appliquer, sur la courbe longitudinale qui suit les inflexions du thalweg du fleuve, on mène des tangentes à chacune des courbures, et l on trouve ainsi:

2	angles de	5°	3	angles de	30°
4	»	10°	1	»	35°
1	»	15°	2	»	40°
8	»	20°	1	»	45°
2	»	25°			

soit un total d'une circonférence et demie. On se conclut, pour une vitesse approximative de 0,50 *m*, h = 0,05 *m*. Il faut donc, dans l'appréciation des vitesses et par conséquent des débits, diminuer de cette quantité la différence de hauteur entre les deux points.

Alors

$$Q = 1080\ m^3$$

Vitesses moyennes

La vitesse de chaque filet liquide varie à tout instant dans une rivière à marée; de plus, la vitesse d'un cours d'eau varie suivant les profondeurs et la distance aux berges. Mais, pour un débit donne, la vitesse moyenne est le quotient du volume débité par la section moyenne d'écoulement.

A basse mer, la vitesse moyenne est:

De Cutipay à la mer: $\frac{845}{2380} = 0{,}35\ m$

De Valdivia à Cutipay: $\frac{705}{2100} = 0{,}33\ m$

A mi-marée

De Cutipay à la mer: $\frac{1300}{2620} = 0{,}50\ m$

De Valdivia à Cutipay: $\frac{1080}{2270} = 0{,}47\ m$

Les vitesses sont, approximativement, proportionnelles à la racine carrée des profondeurs. Or, près de la pointe Niebla, la profondeur moyenne est de 3,40 *m* et la maxima 10 *m*. On devrait donc avoir, V_m étant la vitesse maxima, et V la moyenne $= 0{,}50\ m$.

$$\frac{V_m}{0{,}50} = \frac{\sqrt{10}}{\sqrt{3{,}40}} = 0{,}90\ m$$

Mais les grandes profondeurs étant éloignées des berges, cette vitesse s'accroît encore; nous avons vu qu'elle atteint 1,25 *m*.

Ces divers calculs se vérifient donc, et sont d'une grande importance pour le projet de canalisation.

Courants de la baie

Les courants de la baie de Corral sont assez réguliers. Le premier flot, venant du Nord-Ouest, arrive contre la pointe *Bonifacio*, longe la terre en creusant un chenal presque accore; puis tourne au Sud et pénètre dans la baie qu'elle envahit en tous sens, avec une vitesse de 0,30 *m* à 0,40 *m* par seconde, le dernier chiffre se rapportant au voisinage de la *Peña del Conde* et de la pointe *Piojo*.

Le jusant, au contraire, est plus rapide au centre de la baie que sur les bords: il tourne au Sud-Ouest et se dirige vers la pointe *Galera* avec une vitesse qui atteint 0,50 *m*.

D'après l'*Annuaire Hydrographique* (III, 59):

«L'unique courant notable de la côte de Valdivia est celui qu'on rencontre depuis le voisinage de l'entrée de Corral jusqu'à la pointe Galera, produit sans doute par les nombreux cours d'eau qui se jettent dans ce port. Ce courant atteint son maximum de vitesse

avec le reflux, soit de 2 milles à 2 milles et demi, le long de la côte dont il suit les sinuosités entre les pointes Gonzalo et Galera. Les navires côtiers savent en profiter. Quittant Corral avec le jusant il sont entrainés au Sud jusque près de Chaihuin, où ils rencontrent le vent de terre, qui leur permet de s'éloigner de la côte.

«...Les sondages effectués à l'OSO du morro Gonzalo et à l'ONO de la pointe Galera ont fait connaitre l'existence d'un inmense banc ou plateau de sable, vis à vis l'entrée de Corral, formé par les masses de sable qu'entrainent les cours d'eau qui y débouchent.»

Malgré tout mon désir, et faute d'un navire, je n'ai pu reconnaitre ce banc; j'aurais voulu y prendre des échantillons de sable pour le comparer avec celui du Río Valdivia et être ainsi certain que la majeure partie des apports du fleuve est entrainée à la mer. C'est une lacune regrettable dans ce travail. Je n'ai pu, non plus, avoir des sondages en dehors de la baie, qui eussent offert un grand intérêt.

Mais les courbes de niveau de 10, 12, 15, 18, 20 et 25 mètres dans la baie, que j ai dessinées sur la planche XIX, fig. 1, font bien comprendre la marche des courants, Au Nord, elles s'approchent, presque à se confondre, vers la pointe Juan Latorre. C'est l'œuvre du premier flot, qui se colle contre cette rive convexe, ainsi qu'il a l'habitude de le faire.

La courbe de 10 mètres pénètre jusque derrière le banc de *las Tres Hermanas*, puis côtoie le rivage Sud jusqu'au *morro Gonzalo*. Les courbes de 12 et 15 mètres ne s'enfoncent que jusque dans l'avant-baie, mais vont aussi contre la rive Sud. Les courbes de 18, 20 et 25 mètres pénètrent à peine avant de s'incliner au Sud, de manière que le thalweg se dessine presque droit, du Nord au Sud, de la pointe Juan Latorre au fort de Corral.

C est donc contre cette Pointe que se trouve le chenal principal, creusé par le flot pur du Nord, tandis que les courbes espacées du Sud indiquent le passage du courant de jusant, qui laisse tomber sur sa route une partie des sédiments entrainés.

Bancs

Fleuve.—De Valdivia à la mer, par le Río Corto, on rencontre plusieurs hauts-fonds dont le premier se trouve le long de l'*Islote*.

Mais les véritables bancs n'existent qu'à partir de l'île San Francisco.

Il faut bien distinguer les bancs déposés dans le lit même du fleuve, des dépôts qui peuvent se trouver sur les berges, dans les petites baies ou découpures que présentent les rives. De San Francisco à la mer, tous les bancs véritables se composent du même sable, bien grenu, présentant des parcelles de quartz blanc, d'autres de silice noire, des oxydes de fer, des silicates, etc. D'une manière générale, les grains des bancs d'aval sont plus fins que ceux d'amont, ce qui établit leur provenance du haut du fleuve.

Dans les petites découpures des rives, au contraire, on ne rencontre généralement qu'un sable terreux, formé aux dépens du sol local lui-même, et qui, se trouvant en dehors de l'action des courants, n'est pas entrainé et reste sur place. On observera très bien ce fait à *Carboneros*, à la *Peluca*, à *Fuente de Flores*, etc.

Le sable de transport provient de l'usure des rives; et il s'en forme ainsi même dans les parties voisines de l'embouchure, bien qu'à un moindre degré, parce que l'action de l'eau est plus énergique dans les portions supérieures, où les courants sont plus rapides.

Baie de Corral.—Dans la baie de Corral, à chaque crique correspond un sable spécial, formé sur place. Parfois il se compose de gros grains blancs de quartz (embarcadère, plage de la pointe NO. de l'île Mancera, etc.). Ailleurs ces grains sont très fins (anse de *Mal Paso*); quelquefois il y a un mélange de grains blancs et noirs; en certains endroits, ces derniers seuls subsistent (la *Huairona*, pointe SE. de Mancera).

Sur les bancs *Simón Reyes* et de *las Tres Hermanas*, le plus important de tous, on trouve le sable du Río Valdivia. Ces bancs sont donc dûs aux apports de la rivière (tant du Río Corto que du Torna Galeones, où le sable est identique). A la surface de ces apports, sur le banc de *las Tres Hermanas*, on trouve des coquilles blanches de mollusques morts; mais ce fait n'infirme pas l'origine fluviale du banc. Ces coquilles en effet, d'après MM. Philippi, sont celle de la *Mactra edulis* (King), qui vit enfouie dans le sable, et dont les coquilles n'apparaissent qu'après la mort, quand le banc est remué par les vagues.

Il est de la plus haute importance de distinguer ainsi le mode de formation des sables qui se trouvent sur les plages de la baie, et

celui du banc de *las Tres Hermanas*. Non seulement ils diffèrent d'aspect et de composition; mais l'origine des premiers se suit facilement, surtout sur la côte Est de l'île Mancera. On assiste aux phases successives de la décomposition des bancs schisteux qui y affleurent; ils se divisent, sous l'influence de la mer et des agents atmosphériques, en gros fragments que les lames réduisent successivement en galets, gravier, gros sable et sable fin. Nulle part on n'y rencontre rien de semblable aux matériaux du banc.

Ce sable vient donc de la rivière; mais pourquoi se dépose-t-il pour former ce banc à contours réguliers, séparé de Corral par un chenal profond, tandis qu'il se raccorde avec l'île Mancera par des profondeurs beaucoup moins grandes?

Formation du banc de las tres hermanas.—En dehors du volume considérable d'eau douce apporté par le Río Valdivia et le Torna Galeones, ces fleuves reçoivent encore, pendant le flot, un appoint d'eau salée. Il en entre plus dans le Torna Galeones, qui ne présente presque pas de différence de niveau de la baie jusqu'au confluent du Río Naguilán, et qui est très large dans cette portion. L'eau de mer y remonte donc très facilement.

Dans l'ensenada de San Juan, il pénètre aussi une couche de 0,70 *m* dans les marées de syzygies. Ces diverses quantités s'écoulent ensemble au jusant.

Qu'on jette les yeux sur le plan de la baie, on verra que l'embouchure du Río Corto est dirigée de telle façon que le courant, qui jusque là courait de l'Est à l'Ouest, est brusquement rejeté au Sud par la Pointe Niebla. Dans ce mouvement, il est rencontré par celui du Torna Galeones. Il en résulte:

1.° Une perte de vitesse qui occasionne le dépôt d'une partie des sédiments qui forment le banc Simón Reyes;

2.° La projection vers le Sud d'une portion de l'eau du Torna Galeones. Celle-ci passe entre l'île Mancera et la terre, repoussant devant elle l'eau de jusant qui sort de l'ensenada San Juan.

En définitive, il s'établit les courants suivants, qui forment comme des cours d'eau isolés, qu'on reconnait non seulement à leur direction, mais même à leur salure et à leur température:

1.° Un courant principal allant du banc Simón Reyes vers la pointe *Amargos* et s'écoulant à la mer.

2.° Un courant allant du Nord au Sud, entre l'île Mancera et la terre, qui remonte ensuite vers l'entrée de la baie;

3.° Ce deuxième courant rencontre l'eau qui, au jusant, sort de l'ensenada San Juan, et le rejette vers la côte Ouest de la baie, le long de Mal Paso, de Corral, de la Pointe Laurel; tandis que lui, il est obligé de s'écouler contre la côte Ouest de Mancera.

Il y a entre ces trois directions un triangle mort, où la rencontre des divers courants amène un calme relatif; là se fait le dépôt de sédiments qui constitue le banc de las Tres Hermanas.

S'il en est ainsi, le banc ne peut être engraissé que par les courants du Nord et de l'Est, lesquels proviennent des rivières et charrient des sables; l'eau sortant de l'ensenada San Juan est pure; loin d'apporter des matériaux, elle ronge le banc à l'Ouest et tend à la limiter ce côté.

C'est pourquoi les bords Nord et Est sont aplatis, et celui de l'Ouest et du Sud-Ouest accore. Le plateau supérieur, dont les fonds varient de 1 à 3 mètres, se termine brusquement de ce côté à cette dernière cote, et est borné par un talus très raide.

Remarquons donc bien que le banc est fonction de ces trois forces, dont deux l'alimentent, et la troisième tend à le limiter.

Historique du banc.—On lit dans *l'Annuaire Hydrographique* (V, 126):

«Le banc augmente d'année en année; car, là où il y avait 5, 5 à 6, 1 mètres d'eau en 1788, il ne se trouvait que 1,3 *m* en 1835 et 0,45 *m* en 1872. La profondeur des parties voisines des fonds les plus hauts varie entre 0,91 *m* et 2,44 *m*, au moment des plus basses eaux. Cela fait présumer que le port de Corral se trouve condamné à restreindre son mouillage peu à peu, et peut-être à disparaitre si l'on ne prend pas de mesures conservatrices.

«En 1835, le banc était à une distance de 833 mètres de la pointe Laurel (Calvaire) et également du bastion gauche du fort de Corral; ces distances, en 1868, s'étaient réduites, la première à 690 mètres et la seconde à 700 mètres, ce qui prouve l'avancement progressif du banc vers le mouillage, mouvement que l'on estime à 4 mètres par an.»

J'ai assez insisté, dans ce mémoire, sur l'utilité des anciens plans, afin d'établir des comparaisons de la nature des précédentes, pour pouvoir faire à ce sujet les réserves nécessaires. Il est encore plus périlleux de s'appuyer sur des plans imparfaits, pour asseoir une théorie, que de n'en pas avoir du tout. J'ai sous les yeux le plan de 1835, levé par les officiers du *Beagle*. Tout en admirant ce tra-

vail, exécuté avec tant de rapidité, il m'est impossible de lui accorder assez d'autorité pour en tirer des conclusions aussi radicales. Un exemple suffira: Dans ce plan, la distance entre la terre ferme et la pointe de Castillito dans l'île Mancera est de 1000 mètres environ; elle n'est que de 600 mètres dans celui des officiers chiliens (1870). Quand entre deux pointes immuables, d'une mesure aisée, on observe de telles différences, il est permis de ne pas accorder sa confiance à d'autres mesures, plus difficiles.

Encore moins doit-on se fier aux cartes du siècle dernier, si imparfaites. L'opération de fixer les contours d'un banc sous-marin n'est pas très commode. Elle exige le concours de trois opérateurs exercés, l'un qui sonde, en tenant compte de l'état de la marée, et fait les signaux que les autres relèvent. Avec les théodolites modernes on arrive à une précision suffisante, mais avec les anciens instruments?

Quant aux différences de sondages, il faut remarquer que toute grosse mer modifie la partie supérieure du banc, y entasse de nouveaux apports ou emporte une partie des anciens.

On a voulu aussi attribuer ces différences à un relèvement de la côte, qui se serait opéré depuis 1835. C'est possible; mais, malgré toutes mes recherches, je n'en ai pu avoir de preuves positives. On s'est appuyé sur ce fait que le gros rocher qui se trouve devant le débarcadère de Corral, et sur lequel est établi aujourd'hui le réservoir du câble, ne figure pas au plan du *Beagle*. Bien d'autres pierres n'y sont pas marquées. Mais voici la roche *Atreal*, par exemple. Elle est indiquée, en 1835, comme «affleurant». Elle devrait maintenant, s'il y a eu un soulèvement postérieur, émerger complétement. Elle ne fait encore qu'affleurer, à très basse mer.

Le plan des officiers de la Marine, qui a plus de 20 ans de date, offre au contraire une exactitude telle qu'il peut servir de terme de comparaison. Or, les distances de la courbe de profondeur de 3 mètres sur le banc au fort de Corral et à la pointe Laurel ont peu changé depuis cette époque; elles sont même un peu plus grandes sur le plan de la Commission actuelle.

Ce que je crois, c'est que réellement le banc de las Tres Hermanas s'est jadis avancé vers l'Ouest, mais que le régime d'équilibre est atteint aujourd'hui. La quantité d'eau qui s'écoule de l'ensenada San Juan au jusant, passe par le chenal situé entre Corral et le banc; elle est de 15 millions de mètres cubes par les marées de

1,50 *m*. La section du chenal étant d'environ 3000 m^2, il en résulte une vitesse moyenne de 0,25 *m* qui est doublée au moment de la mi-marée. A une vitesse de 0,50 *m* le sable ne peut résister le long du talus Ouest du banc et est emporté; ce qui exclut l'idée d'augmentation de ce côté.

Ceci ne signifie pas que le port de Corral ne soit pas menacé d'ensablement. Il y a à craindre que le chenal entre la terre et l'île Mancera ne se remplisse peu à peu. Ce serait une bonne condition pour le maintien du chenal du Nord, car tout le volume débité par les deux bras du fleuve passerait par là; mais alors le courant existant entre le banc et l'île Mancera serait supprimé; l'eau de l'ensenada San Juan pourrait passer par ce chenal et ne suffirait plus à draguer la partie Ouest du banc.

Il y a donc des messures à prendre pour la conservation du seul port que le Chili possède dans le Sud.

Canalisation du Río Valdivia

Choix entre le Rio Corto et le Torna Galeones.—Les études précédentes n'ont porté que sur le Río Corto; et cependant la première impression, quand on songe à canaliser l'une des deux rivières qui mènent à Valdivia, est en faveur du Torna Galeones. C'est par lui que les grands vapeurs remontent à la ville, car il n'offre nulle part des fonds inférieurs à 4 mètres.

Dans le Río Corto, au contraire, il est deux passages où l'on ne trouve guère plus de 2 mètres à basse mer, l'un à Palo del Diablo, l'autre à Alcones, ce qui ne permet le passage que des petits navires. Mais, dès qu'une crûe a quelque peu augmenté ce mouillage, les plus grands bâtiments profitent des hautes eaux pour prendre cette voie plus courte; en mars 1892, j'y ai vu passer la plupart des vapeurs qui font le service de Valdivia.

Le Torna Galeones a un développement de 32 kilomètres; il présente plusieurs courbes brusques, combinées avec des largeurs réduites (La Poza, Guacamayo, etc.)

L'autre rivière, au contraire, n offre que deux courbes de grand rayon et très larges.

Si l'on ne voulait obtenir qu'un tirant d'eau de 4 à 5 mètres, la dépense à faire serait plus faible dans le Torna Galeones; mais si

c'est 8 mètres qu'il faut atteindre—et je ne comprendrais pas qu'on se contentât d'un chenal qui n'admettrait qu'un nombre limité de navires,—l'avantage tourne au profit du Río Corto, parce que le volume à draguer y est moins considérable et les œuvres de rectification moins coûteuses. Enfin, le maintien des profondeurs sera plus facile dans le Río Valdivia.

Le choix de cette voie s'impose donc, et il y a lieu de s'en féliciter.

Comparaison des largeurs et des profondeurs

Devant Valdivia, où la largeur est de 160 mètres, les profondeurs varient de 9 à 12 mètres. De même au *Toro*, au dessous du confluent du Río Cruces, où la largeur atteint 250 mètres. Partout où le fleuve s'étend, la profondeur diminue; et quand la largeur est trop grande, il se forme des bancs.

Si l'on construit deux courbes ayant comme ordonnées, pour une même abscisse, les largeurs et profondeurs moyennes, c'est à dire le quotient de la section par la largeur, elles affectent, en général, la même forme. Il y a des anomalies, mais le plus souvent aisément explicables. Donc, comme dans toute rivière à fond affouillable, la profondeur est en raison inverse de la largeur.

Systeme a employer

Sauf aux deux passages de Palo del Diablo et d'Alcones, les profondeurs du Río Valdivia permettraient la montée du fleuve à des navires plus grands que ceux qui le fréquentent aujourd'hui. Il importe donc, avant tout, de creuser ces deux points.

Mais un simple dragage ne saurait suffire. L'état d'un cours d'eau est la résultante de ses conditions physiques; si l'on ne les modifie pas, toute amélioration ne peut être que momentanée, et la situation primitive reparaitrait.

Il faut donc changer le régime du fleuve; et pour cela, suivre les indications de la nature, c'est à dire resserrer le lit dans des limites qui interdisent le dépôt de nouveaux bancs. À cet effet, on a essayé jadis en Europe des barrages ou des épis transversaux; mais on n'a jamais obtenu de bons résultats que des levées longitudina-

les, enserrant le lit comme des quais. Il faudra absolument y recourir ici non seulement aux passages précités, mais encore partout où le fleuve est trop large.

Or, du moment qu'on se résout à exécuter de pareilles œuvres, il faut que la rivière en profite dans toute l'étendue des besoins commerciaux, c'est à dire qu'elle atteigne une profondeur de 8 mètres en basses eaux. On assurerait ainsi la prospérité de la province appelée à un grand avenir; et la flotte de l'Etat trouverait aussi un abri sans rival, en eau douce.

Largeur du canal

De Valdivia à Cutipay, la moyenne de l aire des sections (tableau II) est de 2100 m^2 et celle des largeurs, peu différentes des périmètres mouillés, est de 470 mètres. La profondeur moyenne est donc de 4,40 *m*.

De Cutipay à la baie, elle est de 3,40 *m*.

Et si l'on cherche la largeur nécessaire pour obtenir 8 mètres, la section devant rester constante, pour assurer l écoulement de l eau, on trouve:

De Valdivia à Cutipay..... $\frac{2100}{8} = 262$ *m*.
De Cutipay à la baie..... .. $\frac{2380}{8} = 297$ *m*.

On peut donc adopter comme largeurs,

De Valdivia à Cutipay..... 280 *m*.
De Cutipay à la baie..... 300 *m*.

Le premier chiffre reçoit sa consécration des considérations existantes; car, vis à vis de «El Bayo», on voit des largeurs de 240 et 280 mètres correspondre à des profondeurs de 9 mètres.

Débits futurs

Quand la canalisation sera effectuée, le mouvement permanent des filets liquides ne sera plus varié, mais uniforme. Le calcul du débit en est simplifié.

Remplaçant U par sa valeur dans la formule fondamentale

$$RI = aU + bU^2$$

où U est la vitesse movenne, il vient:

$$RI = a\frac{Q}{\Omega} + b\frac{Q^2}{\Omega^2}$$

D'où

$$Q = \frac{-a\Omega + \sqrt{a^2\Omega^2 - 4bRI\Omega^2}}{2b}$$

De Cutipay à la baie, on a:

	à marée basse	à mi-marée
Ω	2400	2500
R	8	8,40
I	0,0000166	0,000031

On en déduit

Q	1500 m^3	2030 m^3

De Valdivia à Cutipay

Ω	2080	2180
R	8	8,30
I	0,000014	0,000022

et alors

Q	1130 m^3	1450 m^3

Donc, le débit sera augmenté, dans les deux sections, des quantités suivantes:

	à basse mer	à mi-marée
De Cutipay à la baie.....	650 m^3	700 m^3
De Valdivia à Cutipay.....	420 »	230 »

On n'a qu'à réfléchir à ce qui va se passer pour voir que ces chiffres doivent approcher très près de la vérité.

Vitesses moyennes

En prenant comme ci-dessus les vitesses moyennes, on obtiendra

	à basse mer	à mi-marée
De Cutipay à la baie.....	0,62	0,80
De Valdivia à Cutipay.....	0,54	0,66

Ce sont bien d'ailleurs les vitesses moyennes que l on obtient en les calculant directement en fonction de la pente et du rayon hydraulique.

Conséquences

On voit donc qu'après la régularisation du lit, le volume écoulé sera plus considérable qu'aujourd'hui: ce fait s'explique aisément:

1.° Le lit étant uniforme, l'écoulement sera plus facile. Dans l'état actuel, les hauts-fonds, les changements de section agissent comme une succession de barrages incomplets qui retiennent les eaux, et par conséquent élèvent le niveau d'amont. Après la canalisation, le niveau s'abaissera et il s'écoulera plus d'eau, même d'eau douce, l'excédent étant pris en partie au Torna Galeones.

2.° Le niveau d'amont étant moins élevé à basse mer, s'élèvera pourtant de la même quantité en pleines eaux, le lieu géométrique des hautes mers étant une horizontale; sans doute même, par suite de la vitesse et comme conséquence de la force vive, plus grandes, il s'élèvera un peu plus. Donc le prisme de marée introduit pendant le flot sera plus considérable, et le régime nouveau du fleuve se maintiendra mieux.

Quant à l'abaissement du plan d'eau de basse mer devant Valdivia, que le calcul porte à peu près à 0,08 *m*, il aura peu d'influence sur les fonds du fleuve.

Formule de Humphrey et Abbott

Cette discussion peut être contrôlée par la formule que donnent Humphrey et Abbott pour la largeur du canal de rectification d'une

rivière, en vue d'obtenir une profondeur donnée en basses eaux (8 *m.* dans le cas actuel).

Cette formule est:

$$p+w=\frac{195\ a\ s^{\frac{1}{2}}}{[0,93\ v+0,167\ b^{\frac{1}{2}}\ v^{\frac{1}{2}}]^2}$$

dans laquelle

p est le périmètre mouillé
w le largeur du canal à construire
a l'aire de sa section
s la pente
v la vitesse moyenne

$$b=\frac{1,69}{(r+1,5)^{\frac{1}{2}}}$$

r rayon hydraulique, presque égale à la profondeur, qu'on lui substituera.

Dans le cas actuel
$p=1,06\ w$ à peu près
$a=rw$

$v=\frac{Q}{rw}$, Q étant le volume à décharger par seconde:

Substituant les valeurs, on obtient pour la largeur
$w=270$ mètres
entre Cutipay et la baie.

On avait trouvé directement 297 mètres, on voit donc qu'une largeur de 270 à 300 mètres est bien celle qu'il faut donner au canal dans cette section. Je m'en tiens à 300 mètres, parce que les levées longitudinales ne pourront être construites avec une grande régularité. De plus, le canal sera plutôt trapézoïdal que rectangulaire; la section réelle sera donc plus près fonction de 270 que de 300 mètres.

Etendue des levées.

Il est clair que les levées longitudinales n'ont pas besoin d'être établies partout où le fleuve présente naturellement assez de pro-

fondeur, et où l'on peut être assuré que les travaux n'altèreront pas le régime actuel.

Devant Valdivia, les profondeurs sont considérables et il n'y a rien à faire. Entre la ville et l'*Islote*, la largeur augmente et les profondeurs diminuent; mais celles-ci ne dépendent pas seulement de l'augmentation de largeur. Il y a, au milieu de la distance, un filon de pierres qui coupe le lit par une profondeur de 5 mètres. Ce filon exhausse le fond; en le faisant disparaître, on obtiendra un mouillage suffisant.

Les deux bras le long de l'*Islote* ont, celui de droite 500 mètres et celui de gauche 100. Dans le grand bras, la vitesse diminue beaucoup, et il s'y est fait un abondant dépôt de sable; il s'y trouve, en outre, des pierres dont il est assez difficile d'expliquer l'origine. Le courant se porte plutôt dans le canal de gauche et y entretient des fonds plus grands; aussi est-il le chemin des navires.

Depuis Valdivia, il faut construire un épi courbe, qui rejette les eaux contre la rive droite. Puis, on draguera, le long de la berge, un chenal, qui aura 200 mètres au plus de largeur, jusqu'au confluent du Río Cruces.

De là jusqu'au Guacamayo, aucun travail. Le Guacamayo a, dans la première partie de son cours, plus de pente que le Rio Valdivia; aussi l'eau s'y porte-t-elle avec rapidité et les arbres entrainés passent plutôt par cette voie. Il sera nécessaire de faire ici la même chose qu'en tête de l'*Islote*.

On arrive ensuite à Palo del Diablo. L'examen des plans est ici très suggestif. Le fleuve, diminué du Guacamayo et de la Cantera, se trouve avoir un lit trop large entre les îles del Rey et de San Francisco; un banc déposé le long de cette dernière a retréci cette largeur, et l'on a assez de profondeur jusqu'à Palo del Diablo.

Mais l'île San Francisco continuant à s'écarter, et la courbe dont le sommet est à la Cantera venant à cesser, l'eau est rejetée contre le rive droite vers Estancilla; seulement, elle s'étend sur un trop large espace, et la courbe de niveau indiquée sur le plan montre le vain effort qu'elle a tenté. La rivière a là une largeur de plus d'un kilomètre, et il résulte, de ces diverses conditions défavorables, le passage difficile qu'il faut améliorer.

De Cutipay à Estero del Obispo, le chenal se maintient sur la rive droite et n'offre pas la profondeur voulue; mais en la lui donnant par le dragage, on déterminera un courant plus rapide de ce côté:

comme en même temps la vitesse diminuera sur les bancs qui occupent le reste de la largeur, les deux causes réunies suffiront pour maintenir les profondeurs créées.

Le deuxième passage difficile est entre Estero del Obispo et Alcones; ce pas franchi, on ira jusqu'à Carboneros dans un chenal dont les irrégularités se corrigeront facilement à la drague.

Tracé du chenal.

On est donc conduit, dans un but d économie, à suivre la route que prennent actuellement les petits vapeurs qui font le service entre Corral et Valdivia. On aurait pu, tout aussi bien, depuis Palo del Diablo, faire une levée qui retiendrait l'eau sur la rive gauche jusqu'à Alcones; mais ce travail serait beaucoup plus dispendieux, et par la largeur des levées et par le volume du sable à enlever.

L'économie n'est pas d'ailleurs le seul avantage du tracé indiqué. Chacun sait que dans un cours d'eau, les grandes profondeurs se portent toujours contre les rives concaves, et que le maintien du chenal est difficile dans les parties droites. En imitant ce qu'a fait la nature, en se portant tantôt vers la rive droite, tantôt vers la gauche, selon les courbures, on a plus de certitude d'obtenir la conservation du nouveau régime.

Le plan des travaux (planche XVIII) indique tous ceux qui doivent être établis pour le maintien de ce régime. Et d'abord, il faut résoudre la question: Comment doivent se faire les levées?

Enrochements.

Pour un chenal de peu de profondeur, on pourrait se contenter d'une barrière en bois; mais, pour des fonds de 8 mètres, outre la difficulté du travail, on aurait à pourvoir à un entretien pénible et coûteux. Je n'hésite donc pas à proposer des enrochements du modèle de ceux qui ont été effectués dans la Seine. Les pierres se trouveront, en partie sur les bords de la rivière, en partie aux pointes Niebla et San Carlos.

La planche XIX indique la façon de poser les enrochements. Sur les points peu profonds, on leur donnera une forte épaisseur,

pour remédier aux éboulements qui se produiront après le dragage du chenal.

Des levées.

Evidemment, le tracé type consisterait à canaliser entièrement le fleuve. J'indique, sur la planche XVIII, le plan général de ce chenal. Mais il est complètement inutile de mettre tout le travail à exécution; en établissant les portions de murs strictement indispensables, on obtiendra les résultats cherchés.

Si cependant, sur quelque point, on reconnaissait, *a posteriori*, la nécessité d'édifier une autre portion des levées, le plan général indique ce qu'il y aurait à faire. Les portions en traits pleins sont les seules qui soient nécessaires; le pointillé indique le tracé complet.

Pour établir le plan du tracé, je me suis basé sur les admirables recherches de M. Fargue, qui a obtenu des résultats si remarquables sur la Garonne. Mais je me suis en même temps inspiré des conditions spéciales du Río Valdivia, car l'on ne saurait transporter de toutes pièces un plan complet d'une rivière à une autre.

D'abord, les rives solides de notre fleuve ne ressemblent pas à celles de la Garonne; la protection des berges est presque inutile, ou insignifiante. Là bas, il a fallu encaisser des deux côtés. Ici, sauf aux points où il a été nécessaire de passer d'une rive à l'autre, je n'ai prévu de levées que d'un côté; les petites irrégularités des berges conservées ne sauraient modifier sérieusement le régime d'un cours d'eau aussi puissant que le Río Valdivia.

Les principes sur lesquels j'ai basé mon tracé sont les suivants:

«Largeur croissante de l'amont à l'aval.

«Courbures progressivement croissantes de l'inflexion au sommet et décroissantes du sommet à l'inflexion; j'ai limité à un rapport plus faible qu'il n'est indiqué la différence des courbures, à cause des circonstances locales.

«Donc, largeur plus grande au sommet des courbes.

«Développement plus grand des rives convexes que des rives concaves, ce qui conduit à des courbes excentrées.

«Points d'inflexion à la rencontre des courbes convexes.

«Resserrement des parties rectilignes.»

De ces principes, rigoureusement appliqués au tracé total, plusieurs sont inutiles dans les portions de courbes isolées que je propose de construire, et qui suffiront. On en a pour garant le régime actuel de la rivière.

Tel est, dans son ensemble, le projet de canalisation du Río Valdivia. Tout en recommandant d'exécuter les travaux que je regarde comme indispensables, je les ai pourtant réduits au strict nécessaire.

La Baie de Corral

Les moyens d'amélioration de la baie de Corral se déduisent aisément des études précédentes. Ce sont les suivants:

1.° Empêcher le choc des deux courants de jusant du Río Valdivia et du Torna Galeones. Une levée Nord, dans le Río Corto, et un triangle solide établi à la suite de la rive Sud, dirigeront le cours de ce fleuve vers l'entrée de la baie;

2.° La branche Sud de ce triangle, qui se modèle presque complètement sur le banc Simón Reyes, enverra dans le même sens le courant du Torna Galeones;

3.° Un mur en enrochements, partant de la terre, ira se réunir à l'île Mancera, fermant le passage du volume d'eau qui s'écoule aujourd'hui par ce canal; de cette façon, toute l'eau qui au jusant sort du Torna Galeones se dirigera vers l'entrée de la baie, parallèlement au courant du Río Valdivia;

4.° Un môle, partant de l'extrémité Nord de l'île Mancera, ira rejoindre la pointe Est du Banc de las Tres Hermanas;

Alors toute l'eau de jusant des deux bras du fleuve se dirigera vers l'entrée de la baie, et passera avec une vitesse qui, aux syzygies, ne sera pas moindre de 0,75 *m*, sur les fonds qui s'étendent entre la Huairona et le banc.

Celui-ci ne pourra plus reculer vers l'Ouest, étant maintenu par le courant qui s'échappera de l'ensenada San Juan.

Il faut remarquer que toute la partie située entre le Frontón, le mur de réunion de l'île Mancera à la terre et la Pointe Nord de cette île se comblera de sable, de manière à remplacer le môle, qui serait d'un tracé plus rationnel, mais plus coûteux, qu'on de-

vrait établir entre le Frontón et la pointe Nord de l'île. La question d'économie ne nuira donc pas au résultat.

La planche XVIII indique ces diverses constructions; il est donc inutile de les décrire davantage.

Dragage

L'effet des levées du Río Valdivia ne peut être mis en doute. A mesure qu'on les établira, le lit se creusera et le creusement continuera jusqu'à la profondeur voulue; on a vu cet effet se faire sentir devant Valdivia, même après le léger rétrécissement apporté par la construction du quai Arturo Prat. Le sable sera entrainé par le courant jusqu'au delà de la pointe Gonzalo.

Mais on ne saurait espérer que cet effet suffise à enlever tous les sables des bancs compris entre les levées. D'ailleurs, on rencontre, bien que rarement, des roches qui ne seront pas enlevées, et qu'il faudra nécessairement draguer. La présence de ces pierres, isolées ou en bancs, est doublement fâcheuse; car, sans elles, on aurait pu employer la pompe rotative, qui travaille à bien meilleur marché que celle à godets. On pourrait remédier à cet inconvénient, en employant d'une part la pompe rotative pour les sables, et, pour les pierres, un *clam-shell*, modèle de Mac-Cumming ou de Priesmann. Si c'est le Gouvernement qui doit exécuter ce travail, et en tous cas, si la drague doit rester à son compte pour les dragages d'entretien, je recommanderai de faire exécuter la coque en bois dans le pays et de ne demander que les machines à l'étranger. On réaliserait ainsi une économie notable.

Outre les dragues et les porteurs, on devra avoir des petits remorqueurs, etc. etc: je fais entrer le prix de ces machines dans celui du dragage.

Le transport des déblais dragués se fera à la mer, ou pour combler le triangle du banc Simón Reyes. Il ne faut pas songer à combler derrière les murs, sauf en certains points. Le chenal délimité ne doit être, en effet, considéré que comme un lit mineur; le lit majeur doit être conservé, pour recevoir l'excédent des crûes. Ce n'est que plus tard que l'expérience indiquera les terrains à conquérir définitivement sur le fleuve.

Exécution des levees

Hauteur.—Dans la partie du fleuve devant Cutipay, un banc considérable occupe une grande portion de la largeur et émerge aux basses eaux. Donc, pendant les dernières heures du jusant, la quantité d'eau qui s'écoule passe exclusivement par le chenal, et ne suffit pourtant pas à le creuser.

Cela prouve que la divagation de l eau sur les bancs est la cause du régime actuel.

La conséquence à tirer de cette remarque, pour les levées à établir, est bien nette. Elles doivent s'élever à la hauteur des hautes eaux ordinaires; c'est à dire que du plafond à la crête elles doivent avoir en moyenne 9 mètres.

Les distances entre les levées ou entre la levée et la rive conservée sont comptées de la crête; les enrochements se disposeront suivant leur talus naturel. Il faudra les jeter au fur et à mesure de leur enfoncement. On se servira à cet effet de chalands spéciaux.

Ordre des travaux.—Si l'on avait à draguer tout le cube de sable, l'opération, sans nul doute, devrait commencer par l'amont et se continuer sans interruption vers l'aval; mais comme la majeure partie des apports sera enlevée par le courant, il est important qu elle ne puisse se déposer en route. On exécutera donc les levées à partir de l aval, pour déterminer les vitesses d'affouillement. Dès lors, à mesure que les cubes de sable compris entre les premières levées effectuées auront été balayés, les autres ne pourront s'arrêter dans le chenal et s'en iront à la mer.

Il y a, en tous cas, une raison de pratique courante pour ne pas commencer par l'amont. Si l'on canalise d'abord les portions situées au dessous du Guacamayo, une partie de l'eau du Torna Galeones s'écoulera par le Río Corto et la route actuelle des navires en sera rendue plus mauvaise. Ce résultat ne doit se produire que lorsqu'on aura préparé aux bâtiments un nouveau chemin.

Avec les travaux précédemment décrits, on aura rendu le Río Valdivia accessible à tous les navires, assuré l'avenir du mouillage

de Corral, et au besoin préparé les éléments d un immense port de refuge derrière le banc de las Tres Hermanas, dans l'anse de San Juan, qu' il suffirait de draguer, sans crainte de nouveaux ensablements. Mais, je crois que ce dernier travail serait inutile, en présence du magnifique cours d eau navigable qu'on aurait créé.

CHAPITRE IV

DEVIS

Les sommes que l'on trouvera ci-après sont toutes comptées en pesos de 24 peniques, soit 2.' 50 l un.

Blocs artificiels

La pierre du Cerro Mutrún et de *las Ventanas*, à Constitución, pèse environ 2, 50 d après un échantillon dont j'ai déterminé le poids spécifique. Selon les moyennes que j'ai observées, une pierre de cette densité, avec du bon sable et du ciment de Portland, donne du béton qui pèse 2,15.

Les blocs artificiels de ce béton auront 4 mètres de longueur, 2,50 *m* de largeur et 2 *m* de hauteur. Leur volume sera donc:

$$4 \times 2{,}50 \times 2 = 20\,m^3$$

Et leur poids

$$20 \times 2{,}15 = 43 \text{ tonnes}$$

Bien que l'on n'emploie guère la chaux du Teil que dans la Méditerranée, parce qu'elle a causé des déceptions dans l'Océan Atlantique, comme j'ai vu du béton où elle entrait se comporter très bien dans la mer des Indes, on pourrait s'en servir. Cependant, aucune expérience, à ma connaissance, n'ayant été faite dans l'Océan Pacifique, je n'oserai la conseiller et me borne à prévoir l'emploi du Ciment de Portland.

BÉTON

Le béton aura la composition suivante:

Ciment de Portland	$0,30m^3$
Sable	0,40
Pierres cassées	0,90

C'est une proportion un peu forte, mais qui offre toute garantie.

CIMENT

La qualité du ciment devra être rigoureusement surveillée; il est même probable que pour le Chili on doit prendre des précautions spéciales que j'étudie en ce moment. Les Anglais ont éprouvé bien des mécomptes dans l'emploi de leurs ciments à l'étranger.

SABLE

Autant le sable de certains bancs de Valdivia serait admissible, autant il faut proscrire absolument celui que l'on trouve sur la plage de Constitución. J'en ai déjà donné les raisons dans un rapport spécial, à propos du sable de la Baie de San Vicente. Quant à celui qu'apporte le Maule, il est tout à fait impropre pour le mortier à employer à la mer.

Le sable à Constitución devra donc être fabriqué à la machine, avec des pierres choisies que l'on trouve d'ailleurs aisément sur place.

PIERRES

Les pierres pour le béton seront aussi cassées mécaniquement, avec des engins ne donnant pas de fragments plats. Les morceaux auront de 2 à 5 centimètres de côté, 4 en moyenne.

Prix

CIMENT

La dernière adjudication importante faite par le Gouvernement est celle de 10 000 barils de ciment de Portland *White brothers* (décret du 20 Octobre 1890), à raison de 14 schellings, 8 pence par baril de 180 à 182 kilogr., ce qui fait à peu près 40 pesos la tonne. On pourrait sans doute obtenir de meilleures conditions; mais pour prévoir les difficultés du débarquement à Constitución, je conserve ce chiffre.

SABLE FABRIQUÉ

Le mètre cube vaut $ 2,40.

PIERRES CASSÉES

Mètre cube $ 1,60; ce prix et le précédent sont ceux que j'ai payés dans des conditions analogues.

BÉTON

En comptant la densité du mètre cube de ciment de Portland à 1300, on aura donc pour le prix du mètre cube de béton, les frais de fabrication étant estimés en totalité à 3 pesos, ce qui résulte de données recueillies sur de grands chantiers:

390 *k* ciment de Portland.....	$ 15,60
0,40 m^3 sable.....	0,96
0,90 m^3 pierres cassées.....	1,44
Frais de fabrication.....	3,00
	$ 21,00

Ce prix est celui du bloc en chantier. Pour la mise en place, le mètre cube revient généralement à 4 $. Le prix total sera donc de $ 25.

Je ne connais aucun travail où le béton soit revenu aussi cher; les calculs que je donne ci-après sont tous, de même, estimés largement. On peut donc être certain que le devis ne sera pas dépassé.

Enrochements

CONSTITUCIÓN

Les enrochements seront exécutés avec les pierres du Cerro Mutrún et de *las Ventanas*; c'est à dire avec des matériaux rendus à pied d'œuvre, pour la majeure partie des travaux.

Ces carrières seront exploitées à l'aide d'explosifs. On devra prévoir plusieurs catégories de grosseurs, suivant que les pierres seront destinées à des revêtements ou à des comblements.

VALDIVIA

Les enrochements se rencontreront en partie sur les bords mêmes du fleuve; mais il en faudra aussi emprunter aux carrières riveraines des pointes Niebla et San Carlos.

PRIX

Les carrières de Constitución appartiennent à l'État ou à la Municipalité; on n'aura donc pas de droit à payer; à Valdivia, on devra avoir recours à l'expropriation pour cause d'utilité publique, de terrains ayant d'ailleurs peu de valeur.

En France, pour l'endiguement de la Seine, le prix du mètre cube d'enrochements, y compris extraction, bardage, embarquement, transport à pied d'œuvre et mise en place, a été en moyenne de $ 0,68. Les blocs étaient tirés de bancs calcaires situés sur les deux rives du fleuve.

Aux États-Unis, les prix que je connais (sur plus de cinquante

chantiers), oscillent entre $ 1,40 et $ 3,60, suivant les quantités et la nature des matériaux demandés et la difficulté d extraction. Les prix élevés se rapportent généralement à des fournitures de granite (Block Island, Richmond Island, etc.)

La modicité du prix, dans la Seine, est dû à la proximité et à la facilité d exploitation des carrières. Il faut donc se baser plutôt par analogie sur les prix obtenus aux États-Unis.

On pourrait faire une différence de prix entre Constitución et Valdivia, au profit de la première, mais il est difficile d estimer par avance des écarts semblables; et pour être certain de rester un peu au dessus de la vérité, j'adopte une valeur uniforme, au mètre cube, de $ 4.

Dragages

Le volume du dragage, dans les deux rivières, est considérable. De plus, il sera nécessaire d'acquérir, pour l entretien des chenaux, une drague spéciale avec les outils accessoires, de sorte que l amortissement de la valeur des appareils pèsera peu sur le prix de l unité. Avec un choix judicieux des instruments, on pourra exécuter l'enlèvement des déblais à très bon marché. Comme le transport sera plus long à Valdivia qu'à Constitución, j'estime le prix de revient,

pour Constitución, à..... $ 0,40

et pour Valdivia à..... 0,50

QUANTITÉS

Constitución

1.° MÔLE DE LA RIVE GAUCHE

BLOCS ARTIFICIELS

Longueurs m	Solide	Entre les courbes m	Moyenne m	SECTION Hauteur m	Base supérieure m	Base inférieure m	Surface m²	Volume m³
Musoir	Tronc de cone	8	8,00	9,50	8,00	28,00	"	8404,50
175	Prisme quadrangulaire	7 à 8	7,50	9,00	7,90	25,50	150,30	26302,50
40	"	6—7	6,50	8,00	7,30	23,00	121,20	4848,00
22	"	5—6	5,50	7,00	6,90	20,30	95,20	2094,40
23	"	4—5	4,50	6,00	6,30	18,20	73,50	1690,50
22	"	3—4	3,50	5,00	5,80	16,00	54,50	1199,00
125	"	3	3	4,50	5,50	14,50	45,00	5625,00
						Total.....		50 163,90

En réalité, dans un môle en blocs jetés «pêle-mêle», il y a seulement deux tiers de plein et un tiers de vide. Le nombre précédent devrait donc être diminué de 16 721,30 m^3 et être réduit à 33 442,60 m^3 d'autant plus que le substratum en enrochements est destiné à empêcher les pertes de blocs par enfoncement. Mais comme d'une part il est possible que les deux mètres d'épaisseur prévus à cette infrastructure ne suffisent pas, et que d'autre part il y aura des blocs cassés, déjetés latéralement, etc., il vaut mieux laisser la prévision entière. Les entrepreneurs auront justement cette latitude pour faire des offres au rabais, suivant leur expérience, et l'on conserve au devis son caractère de maximum assuré.

REVÊTEMENT DU CÔTÉ DE L'AVANT PORT.—ENROCHEMENTS

Moyenne 10,50 $m \times 3 = 31,50$ (L = 407) Volume = 12 820 m^3

QUAI.—ENROCHEMENTS

Section moyenne $\frac{21 \times 9,5}{2} = 100\ m^2$

Longueur 407 Volume = 40 700

COMBLEMENT

Moyenne des hauteurs..... 3 m
» des largeurs..... 10 »
Longueur..... 400 » Volume = 12 000

SUBSTRATUM

Sous le musoir		Base	R = 14	Surface	615,50
175 m	entre les courbes	7 et 8;	»	25,50	»	4 462,50
40 »	»	6 — 7	»	23,00	«	920,00
22 »	»	5 — 6	»	20,30	«	446,60
23 »	»	4 — 5	»	18,20	«	418,60
22 »	»	3 — 4	»	16,00	»	352,00
125 »	»	3	»	14,50	»	1 812,50
				Total.....		9 037,70

Volume: 9 037,70 (H = 2) = 18 075,40

RÉCAPITULATION

Blocs artificiels.....		50 164
Enrochements.....	18 075,40	
	12 820,00	
	40 700	
	71 595,40	71 595
Comblement.....		12 000

2.° MÔLE DE LA RIVE DROITE

Longueurs m	Solide	Entre les courbes m	Moyenne m	Hauteur m	Base supérieure m	Base inférieure m	Surface m	Volume m³
Musoir	Tronc de cone	7	7	8,50	7,30	23,00	"	5320,00
50	Prisme quadrangulaire	6 á 7	6,50	8,00	7,30	23,00	121,20	6060,00
85	"	6—7	6,50	6,50	6,60	18,10	70,30	5975,50
39	"	5—6	5,50	5,50	6,00	17,00	63,30	2468,70
24	"	4—5	4,50	4,50	5,50	14,70	45,45	1090,80
27	"	3—4	3,50	3,50	5,00	12,00	29,75	803,25
285	"	3	3	3,00	4,60	11,00	23,40	6669,00
45	"	2—3	2,50	2,50	4,40	9,60	17,50	785,50
45	"	1—2	1,50	1,50	4,00	8,50	9,40	423,00
30	"	0—1	0,50	0,50	4,00	8,50	3,15	94,50
							Total.....	29 690,25

Même observation que ci-dessus.

BIBLIOTECA NACIONAL
BIBLIOTECA AMERICANA
"DIEGO BARROS ARANA"

REVETEMENT EN ENROCHEMENTS

$8 \times 2(L = 914)$ Volume = 14 624

SUBSTRATUM

$135 \times 23{,}00$
$39 \times 20{,}30$
$24 \times 18{,}20$
$27 \times 16{,}00$
$285 \times 14{,}50$
$45 \times 13{,}50$
$45 \times 11{,}00$
$30 \times 8{,}50$
$185 \times 8{,}00$ Total... $11\,735{,}50 \times 2$ = Volume = 23 471

RÉCAPITULATION

Blocs artificiels		20 690
Enrochements	14 624	
	23 471	38 095

DRAGAGES

Le volume des dragages est facile à calculer, d'après les profils en long et en travers; il s'élève à 2 300 000 m^3.

ESTIMATION DES DÉPENSES

Les dépenses s'établiront donc ainsi:

1.° *Môle Sud-Ouest*

Blocs artificiels.....	50164 m^3	à $ 25	$ 1 254 100	
Enrochements.....	71595	" 4	286 380	
Comblement.....	12000	" 2	24 000	
				$ 1 564 480

2.° *Môle Nord-Est*

Blocs artificiels.....	29 690 m^3	à $ 25	$ 742 250	
Enrochements.....	38 095 "	4	152 380	
				$ 894 630

3.° *Dragages*

2 300 000 m^3 à $ 0,40	$ 920 000
	$ 3 379 110
Imprévu et risques 20°/₀.....	675 822
	$ 4 054 932

Soit, en nombres ronds, 4 millions de pesos.

Cette somme, je le répète, est un maximum. Pour en donner une idée, le môle de la rive gauche, la partie la plus importante de ce travail, qui a 407 mètres de longueur, par des fonds moyens de 5,50*m*, revient à 1 377 680 pesos, soit à 3 384 pesos le mètre courant (8 460 francs). C'est un chiffre dépassé dans les anciens ouvrages de ce genre, mais qui n'est jamais atteint pour les môles nouvellement construits, même dans les mers les plus mauvaises.

La sécurité apparait plus grande encore si l'on calcule le prix par mètre de profondeur; on le trouve de 615 pesos (1 540 francs) chiffre très élevé.

On aurait certainement un rabais dans une adjudication publique.

Valdivia

Le devis de la canalisation du Rio Valdivia se réduit à peu de chose, car il ne s'agit que d'enrochements et de dragages.

ENROCHEMENTS

Le tableau V en donne la longueur:

TABLEAU V

Points ou seront construites les levées	Angle	Rayon	Longueurs
Canelos, avant la pointe de l'Islote	150°	1810	473
Guacamayo, au dessus	26,30'	830	384
" au dessous	13 30	1150	271
" parties en retour			300
Isla Mota	16	720	201
Isla San Francisco	42	500	367
Baie San Francisco.			
Partie sensiblement droite au Sud			750
A la suite	30	330	999
Raccord			173
Partie au Nord	67	740	865
En face du Rio Obispo.			
Courbe au Nord	19	1500	498
Autre	15	1500	392
Courbe au Sud	18	850	267
Autre	19	1800	597
Courbes presque rectilignes entre le fleuve et la baie.			2750
Barrage de l'ile Patos			100
" de l'ile Mota			70
Total			9457

Dans la Baie:	
De la Terre à l'ile Mancera	600
De l'Ile Mancera au banc de las Tres Hermanas	900
Total	1500

En rivière, la section moyenne de l enrochement est de 75 mètres carrés, pour 9000 mètres environ, et de 50 m^2 pour les 500 autres mètres (barrages, etc.)

Le volume est donc:

$9000 \times 75 = 670\,000\ m$

$500 \times 50 = 25\,000$ ensemble——— m^3 695 000

Dans la Baie:

Le môle qui reliera la terre à l île Mancera a une section moyenne de 20 m^2

Volume m^3..... 12 000

L'épi entre l'île Mancera et le banc de las Tres Hermanas a une section de 70 m^2

Volume m^3..... 63 000

Le volume total des enrochements est donc de 770 000 mètres cubes

DRAGAGES

Le tableau VI donne la quantité totale de sable qui doit sortir du canal pour qu il ait une profondeur régulière. Mais la majeure partie de ce volume s'en ira peu à peu, entrainée par le courant à la mer.

En réalité, on n a besoin, tout au plus, que d'un canal de 40 mètres de largeur moyenne, pour que deux navries puissent se croiser. Dès lors, sur une grande partie du parcours de la rivière, on n a aucun dragage à prévoir. Sur le reste, en admettant qu il faille draguer tout ce canal de 40 mètres, le volume à enlever se réduirait, d'après les nombres inscrits aux feuilles de profil longitudinal, à

1 360 000 m^3

Il faut y ajouter le volume à enlever du chenal de la baie, auquel je prévois 100 mètres de largeur, ce qui donnera

400 000 m^3

En tout 1 760 000 m^3

Mais on n'arrivera même pas à draguer ce volume, car à mesure de l'enlèvement, la moitié au moins s'en ira entrainée par le courant, surtout si l on facilite ce départ par des moyens appropriés. On n aura donc pas à extraire plus de

1 000 000 de mètres cubes.

TABLEAU VI

Numéros des profils	Eléments des profils	Dimensions des sections m	Surfaces m²	Longueurs m	Cubes m³
1 à 7	Rectangle fictif.....	$2{,}60 \times 265$.....	689	1055	695 895
8	"	$4{,}20 \times 265$.....	1113	125	139 125
9	Trapèze	$\frac{1}{2}(4{,}70+6{,}40) \times 265$.....	1338,25	120	160 590
de 10 à 13	Rectangle.....	$5{,}50 \times 265$.....	1457,50	640	993 800
14 (part.)	"	$5{,}60 \times 265$	1484,00	280	415 520
17 "	Trapèze + Triangle.....	$\frac{1}{2}(6+3)\ 40+\frac{1}{2}\ (6+6{,}80)\ 120$.....	948,00	295	279 560
18 "	Triangle + Rectangle	$\frac{1}{2}8 \times 30+7 \times 90$.....	750,00	250	187 500
19 "	2 Triangles + Rectangle....	$\frac{1}{2}8 \times 20+\frac{1}{2}7{,}60 \times 50+7{,}50 \times 70$	795,00	200	159 000
20 "	Triangle	$\frac{1}{2}8 \times 20$.....	80,00	195	15 600
21 "	Trapèze	$\frac{1}{2}\ (6+8)\ 80$.....	560,00	202	113 120
23 "	2 Triangles.....	$\frac{1}{2} \times 8 \times 20+\frac{1}{2}8 \times 50$.....	280,00	240	67 200
24 "	"	$\frac{1}{2}8 \times 20+\frac{1}{2}4 \times 49$.....	160 00	260	41 600
A	"	$\frac{1}{2}5 \times 150+\frac{1}{2}1{,}60 \times 120$.....	471,00	265	124 815
25	2 Trapèzes + Rectangle...	$\frac{1}{2}\ (60+120)\ 4+\frac{1}{2}\ (65+155)\ 2{,}70+0{,}70 \times 275$...	849,50	260	220 876
B	Rectangle.....	5×275.....	1375,00	250	343 750
26	Trapèze	$\frac{1}{2}\ (5+4{,}50)\ 275$.....	1306,25	260	339 625
C	3 Trapèzes.....	$\frac{1}{2}\ (2{,}10+7{,}90)\ 45+\frac{1}{2}\ (2{,}70+4{,}70)\ 45+\frac{1}{2}\ (4{,}7+5{,}5)\ 180$	1296	250	324 000
27	Trapèze	$\frac{1}{2}\ (8+6)\ 275$.....	1925	250	481 250
D (part.)	Triangle + 2 Trapèzes.....	$\frac{1}{2}\ 8 \times 25+\frac{1}{2}\ (30+50)\ 1{,}6+\frac{1}{2}150 \times 5{,}6$.....	1004	320	311 280
28	2 Trapèzes.....	$\frac{1}{2}\ (6{,}5+1{,}9)\ 120+\frac{1}{2}\ (1{,}9+4{,}9)\ 155$.....	1031	322	331 902
E (part.)	2 Rectangles.....	$5 \times 100+5{,}60 \times 90$	1004	275	276 100
29 "	Trapèze + Triangle.....	$\frac{1}{2}\ (4+3{,}6)\ 90+\frac{1}{2}4 \times 100$.....	542	205	111 100
F	2 Triangles.....	$\frac{1}{2}4 \times 160+\frac{1}{2}6 \times 120$.....	680	215	146 200
30	Rectangle + 2 Trapèzes.....	$5 \times 50+\frac{1}{2}\ (1{,}3+5{,}3)\ 90+\frac{1}{2}\ (1{,}3+3{,}3)\ 140$.....	869	230	199 870
G	Triangle + Trapèze.....	$\frac{1}{2}4 \times 50+\frac{1}{2}\ (4+5{,}6)\ 180$.....	964	260	250 640
31 (part.)	Rectangle + Triangle.....	$5 \times 150+\frac{1}{2}3{,}2 \times 60$.....	846	255	215 730
H "	Rectangle + 2 Triangles.....	$6 \times 100+\frac{1}{2}2 \times 100+\frac{1}{2}16 \times 5$	740	225	188 700
32 "	Triangle.....	6×120	720	230	165 600

I (part.)	2 Triangles + Trapèze	$\frac{1}{2}8\times50+\frac{1}{2}2\times30+\frac{1}{2}$ (4+2) 90	600	195	117	000
33	Rectangle	4×280	1120 00	345	386	400
34	Rect. + Tri + 2 Trap	$4{,}6\times120+\frac{1}{2}0{,}4\times120+\frac{1}{2}$ (4,7+6,3) 120 + $\frac{1}{2}$ (4,2+4,6) 60	1500	335	502	500
35 (part.)	Tri. + Trap. + Rect	$\frac{1}{2}\times8\times30+\frac{1}{2}$ (1,7+0,9) 180 + 4×180	1074	420	451	080
K "	Rectangle	6×110	660	230	151	800
36 "	Trapèze	$\frac{1}{2}$ (6,7+4,7) 170	969	210	203	490
L "	2 Triangles + Trap	$\frac{1}{2}\times7{,}5\times60+\frac{1}{2}1{,}2\times60+\frac{1}{2}$ (100+60) 7	821	210	172	410
37 "	Triangle + Rectangle	$\frac{1}{2}1{,}50\times90+7{,}6\times40$	375,50	200	75	100
M	Rectangle	$1{,}40\times285$	399	215	85	789
38	Trapèze + Rectangle	$\frac{1}{3}$ (3+5,4) 75 + $2{,}80\times210$	903	250	225	750
N	2 Trapèzes + Rectangle	$\frac{1}{2}$ (5,2+2) 80 + $\frac{1}{2}$ (2+4,2) 90 + $4{,}3\times115$	1061,50	270	286	605
39	Triangle + 2 Rectangles	$\frac{1}{2}8\times25+3{,}40+55+3{,}5\times142$	1024	235	240	640
Ñ	Triangle + Rectangle	$\frac{1}{2}5\times30+4\times255$	1095	240	262	800
40	2 Trapèzes	$\frac{1}{2}$ (1+3,5) 50 + $\frac{1}{2}$ (3,4+5,2) 235	1235,50	420	518	700
P + 42 (part.)	Rect. + 2 Triangles	2 [$\frac{1}{2}$6+50) + $\frac{1}{2}$ (5,2+120) + 5 6×115]	2216	545	1 107	720
41 "	Tri. + Trap. + Rect	$\frac{1}{2}5{,}4\times60+\frac{1}{2}$ (5,4+4,8) 90 + $5{,}4\times60$	945	420	396	900
Q "	2 Triangles + Trapèze	$\frac{1}{2}6\times20+\frac{1}{2}6\times50+\frac{1}{2}$ (6,5+5,9) 100	830	255	211	650
43 "	2 Triangles	$\frac{1}{2}8\times65+\frac{1}{2}7\times80$	540	270	145	800
R "	2 Triangles	$\frac{1}{2}8\times65+\frac{1}{2}4\times126$	500	250	125	000
44 "	Trapèze + Triangle	$\frac{1}{2}$ (1+7,6) 70 + $\frac{1}{2}$ $6{,}50\times90$	593,50	230	136	505
S	Tri. + Rect. + Trap	$\frac{1}{2}$ $8\times30+1\times150+\frac{1}{2}$ (0,7+4,7) 110	567	280	158	760
45	Trap. + Rect. + Trap	$\frac{1}{2}$ (0,75+4,25) 55 + $1\times150+\frac{1}{2}$ (1+3,4) 95	490,50	310	152	055
46	Trapèze + 2 Rectangles	$\frac{1}{2}$ (8+4,2) 30 + $4{,}2\times60+4{,}7\times210$	1422	335	476	370
47	2 Trapèzes + Rectangle	$\frac{1}{2}$ (8+5,5) 30 + $\frac{1}{2}$ (5,5+5) 120 + 5×150	1582,50	180	284	850
48 (part.)	Trapèze + Triangle	$\frac{1}{2}$ (1,2+5,5) 280 + $\frac{1}{2}\times3{,}2\times30$	986	790	778	940
				Total	14 954	572

ESTIMATION DES DÉPENSES

Enrochements:	770,000 m^3 à $ 4	$ 3 080 000
Dragage	1 000 000 m^3 à » 0,50	500 000
		3 580 000
	Imprévu 10%	358 000
	Total général	$ 3 938 000

Soit 4 millions de pesos en nombres ronds.

On remarquera que je ne porte que 10% d'imprévu, au lieu de 20% comptés pour Constitucion. Cette différence s'explique facilement par celle des risques à courir; dans le fleuve, on travaille avec beaucoup moins de difficultés que dans la mer.

Santiago, Mai 1892.

BIBLIOTECA NACIONAL
BIBLIOTECA AMERICANA
"DIEGO BARROS ARANA"

C. J. DE CORDEMOY.