

## EL NUEVO PUERTO DE ARICA Y EL EMPLEO DE TETRAPODOS COMO RECUBRIMIENTO EN SUS OBRAS DE PROTECCION

Mauricio OSSA M.\*

### RESUMEN

*Se describen las principales características del sistema que emplea tetrápodos para la protección de escolleras, con especial mención de su aplicación en el puerto de Arica. Se entrega información sobre el dimensionamiento, la fabricación y la colocación en obra de los tetrápodos en general y en particular en la obra citada.*

### PROYECTO

El gran desarrollo industrial y comercial alcanzado durante los últimos años en el extremo norte de nuestro país y la especial situación geográfica de la ciudad de Arica, hicieron ver la necesidad de ampliar la capacidad de su antiguo puerto. Para ello, la Dirección de Obras Portuarias del Ministerio de Obras Públicas realizó los estudios necesarios y llamó a propuesta pública para la ejecución de esa ampliación la cual fue concedida a la Empresa Constructora Pey y Belfi Ltda.

Los trabajos comenzaron en febrero de 1960 y el plazo oficial para su terminación está fijado para julio de 1967. Consisten en la construcción de 1.060 metros de malecones, en su mayor parte con profundidad de 12 metros en baja marea, protegidos por un molo constituido por escolleras que abriga una superficie aproximada de 60 hectáreas.

En el nuevo puerto podrán guarecerse en procesos de trabajo, 3 barcos de gran calado y 2 de calado mediano atracados a los malecones y 3 barcos más de gran calado, anclados a la gira. La capacidad de movilización será hasta

---

\* Constructor Civil del IDIEM. Sección Investigación de Hormigones.



de origen sedimentario que se ha empleado en las obras de relleno. Para proteger los taludes de escolleras se determinó la colocación de un recubrimiento de tetrápodos en vez de bloques de forma rectangular. El tetrápodo es un elemento de hormigón compuesto de cuatro pies troncocónicos de ejes concurrentes dispuestos simétricamente de manera que los centros de sus bases constituyen los vértices de un tetráedro (Fig. 2).

### *Antecedentes sobre tetrápodos*

La aplicación de tetrápodos en las obras marítimas de protección es reciente. Su desarrollo tuvo origen en el "Etablissements Neyrpic's Laboratoire Dauphinois d'Hydraulique" en Grenoble, Francia, como resultado de una serie de ensayos con modelos hidráulicos, que permitían observar el mecanismo del ataque de las olas sobre obras marítimas de escolleras. Las investigaciones se llevaron a cabo a raíz de las conclusiones a que llegó el Congreso Internacional de Navegación celebrado en 1949. En esa oportunidad se dió importancia a la idea de que la fuerza o empuje de las olas podría aniquilarse parcialmente por si misma a través de una construcción con una red de espacios huecos, dividiendo el gran cuerpo atacante del agua en numerosas corrientes turbulentas y pequeñas con distinta dirección de empuje.

Un atinado artículo sobre tetrápodos apareció en la revista "Beton", nº 3, marzo de 1962, escrito por Heinz - Otto Lamprecht, donde el autor explica el efecto, método de fabricación y empleo de estos elementos para obras marítimas de protección, citando numerosos ejemplos de aplicación en diversas partes del mundo. De este artículo se ha extractado gran parte de la información que continúa. Entre las obras citadas merecen destacarse por su magnitud, la base naval para la armada de E.E.U.U. en Rota, España, con 8.935 tetrápodos de 8, 16 y 25 toneladas de peso cada uno, terminada en 1958; y el nuevo puerto de Arica, Chile, con un total de 8.125 unidades de 16 toneladas, aun en construcción, que constituye además, la primera obra marítima de Sudamérica ejecutada con este sistema. En Yokkaichi, Japón, se construye actualmente la protección del muelle Umaokosky que merece citarse porque se proyecta utilizar la cantidad de 49.240 tetrápodos de 1 tonelada. En 1955 se terminaron los trabajos para proteger el muelle de Pointe Pescade, en Algeria, donde se colocaron 60 tetrápodos de 40 toneladas cada uno, siendo, al parecer, los de mayor peso fabricados hasta el presente. El total de obras marítimas en que se han empleado estos elementos alcanza a 50, según la recopilación mencionada. El artículo concluye con una serie de observaciones sistemáticas que se han efectuado en las construcciones de obras marítimas ejecutadas con tetrápodos.

Las dimensiones de los tetrápodos son proporcionales entre si, y se encuentran tabuladas para unidades desde 0,25 a 50 toneladas de peso nominal, considerando una densidad aparente del hormigón igual a 2,5. La tabla I, pro-

cedente de la publicación antes indicada, da esas dimensiones conforme a Fig. 2

Desde que en 1840, Poirée, que construía el muelle de Algeria, empleó por primera vez bloques artificiales de hormigón, el procedimiento se había mantenido en general para todas las obras de esta índole y sin modificar la forma rectangular de esos bloques. En comparación con ese y otros sistemas

TABLA  
DIMENSIONAMIENTO DE TETRAPODOS\*

Peso nom. p.e. = 2,5 t	Peso para p.e. = 2,4 t	Vol. m <sup>3</sup>	H mm	B mm	d mm	r Rec. mm	r Min. mm	r <sub>1</sub> mm	r <sub>2</sub> mm	r <sub>3</sub> mm	h mm	b mm	c mm	e mm	f mm	g mm	i mm
0,25	0,24	0,1	710	850	775	120	65	170	105	80	315	340	25	465	155	440	220
0,5	0,48	0,2	900	1070	975	150	80	215	135	100	400	435	35	585	195	550	275
1	0,96	0,4	1130	1350	1230	190	105	270	170	125	500	545	45	740	245	700	350
2	1,92	0,8	1420	1700	1550	235	130	340	210	155	630	685	55	930	310	880	440
4	3,84	1,6	1790	2140	1950	300	165	425	265	195	795	865	70	1170	390	1100	550
8	7,68	3,2	2260	2700	2460	375	210	540	335	245	1005	1095	90	1475	490	1390	695
10	9,6	4	2430	2910	2650	405	225	580	360	265	1080	1175	95	1590	530	1500	750
12,5	12	5	2620	3130	2850	435	240	625	390	285	1165	1270	105	1710	570	1610	850
16	15,12	6,3	2830	3390	3085	470	260	675	420	310	1260	1370	110	1850	615	1740	870
20	19,2	8	3060	3685	3340	510	280	730	455	335	1365	1485	120	2000	665	1890	945
25	24	10	3300	3950	3595	550	305	785	490	360	1470	1600	130	2150	720	2030	1015
32	30	12,5	3550	4250	3870	590	325	845	530	390	1580	1720	140	2320	775	2190	1095
40	38,4	16	3860	4620	4025	645	355	920	575	420	1715	1870	155	2520	840	2380	1190
50	48	20	4155	4975	4530	695	380	990	620	455	1850	2015	165	2715	905	2560	1280

\* Ver Fig. 2.

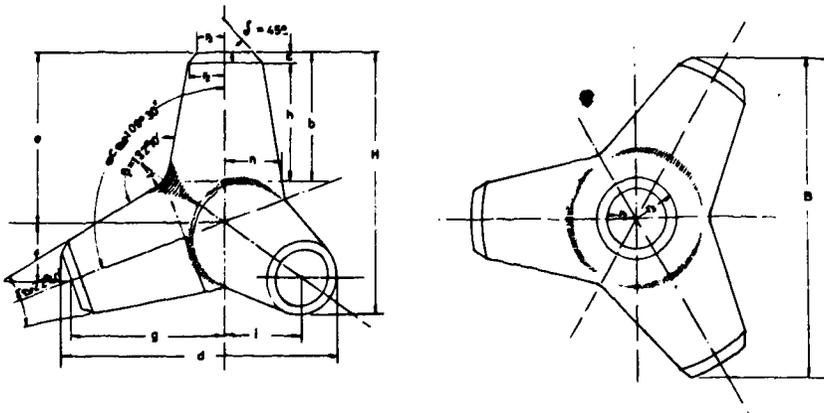


Fig. 2. Forma y dimensiones de un tetrapodo.

empleados en construcciones marítimas, los recubrimientos con tetrápodos en obras de protección permiten obtener evidentes ventajas que se traducen en economías del orden de 20 a 30% en los costos. Con ellos es posible conseguir taludes de 1:1, suficientemente seguros debido a la gran estabilidad y poder de trabazón de los tetrápodos (Fig. 3). La extraordinaria aspereza dejada por

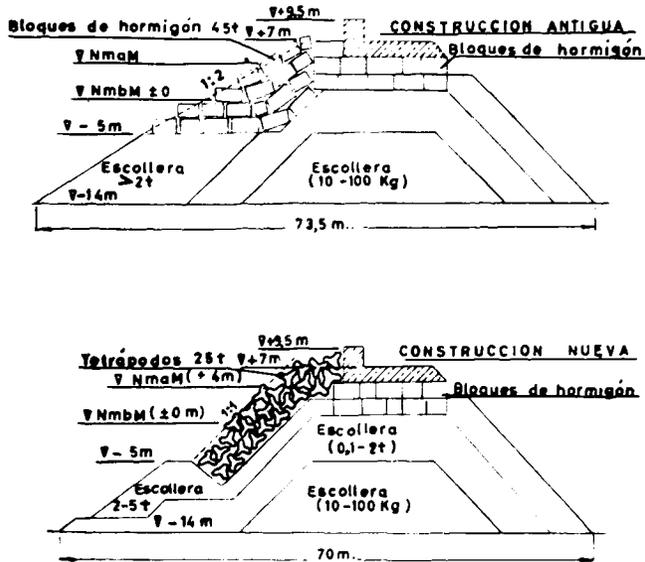


Fig. 3. Perfiles del molo principal de Safi (Marocco). El molo antiguo (arriba) está protegido por bloques de hormigón de 45 t con un talud de 1:2. Fue prolongado en 1955 por una construcción nueva (abajo) protegida por tetrápodos de 25 t, dispuestos en un declive de 1:1.

una capa de tetrápodos consigue aniquilar la energía del oleaje y del agua fluente, soportando la mayor sollicitación al desgaste originada en consecuencia. Esas cualidades y el hecho de poder fabricarse del tamaño conveniente para el talud elegido han conducido a que este sistema se emplee también en corrientes fuertes como se presentan en represas. La presión del oleaje en el mar y la corriente en los ríos es parcialmente anulada al ramificarse el agua atacante por los numerosos espacios huecos dejados por los tetrápodos, impidiendo así que la energía del oleaje se descargue de un solo golpe. Esos macroporos, que alcanzan aproximadamente a un 50%, no son obturados accidentalmente por conchas, moluscos o arena, a causa de su gran tamaño pero permiten en cambio, que puedan taparse a voluntad si la ocasión lo requiere (ríos).

Los recubrimientos con tetrápodos son construídos generalmente sobre fundaciones constituídas por plataformas enfajinadas de manera que el hundimiento posibilita una mejor unión con el subsuelo impidiendo que los elementos sean arrastrados por corrientes de agua. Puede también emplearse una fundación en base a piedra naturales, o si es posible, anclar una serie de tetrá-

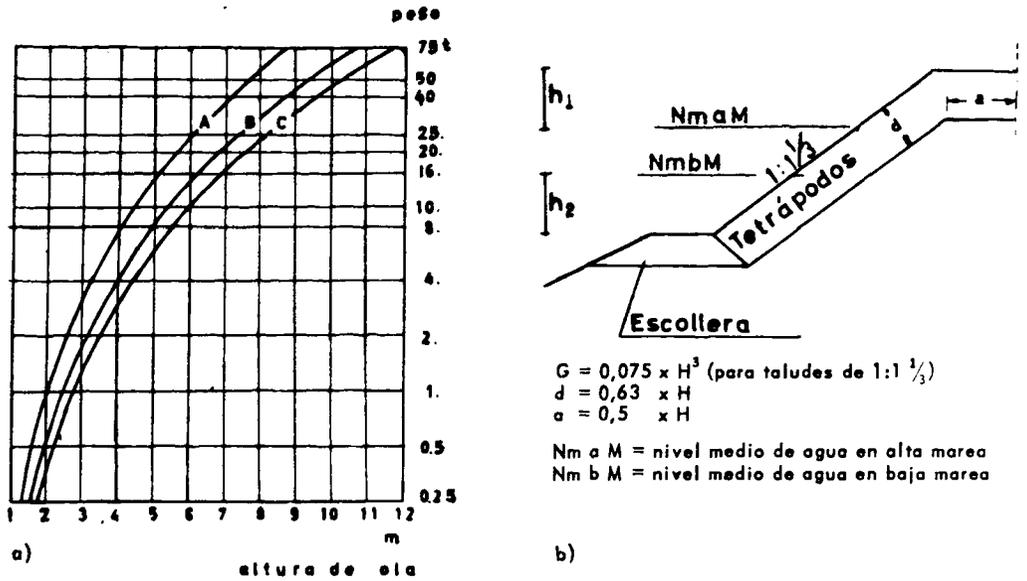


Fig. 4. a) Grado de estabilidad de una construcción de tetrápodos dependiente de la altura de las olas y el peso de los tetrápodos. A = bien estable; B = estable; C = inestable. b) Determinación del recubrimiento de tetrápodos en una obra marítima de protección. G = peso de cada tetrápodo (en toneladas); d = espesor de la capa de tetrápodos (en metros); a = apoyo horizontal superior (en metros); H = altura de la ola a distancia próxima a la construcción (en metros).

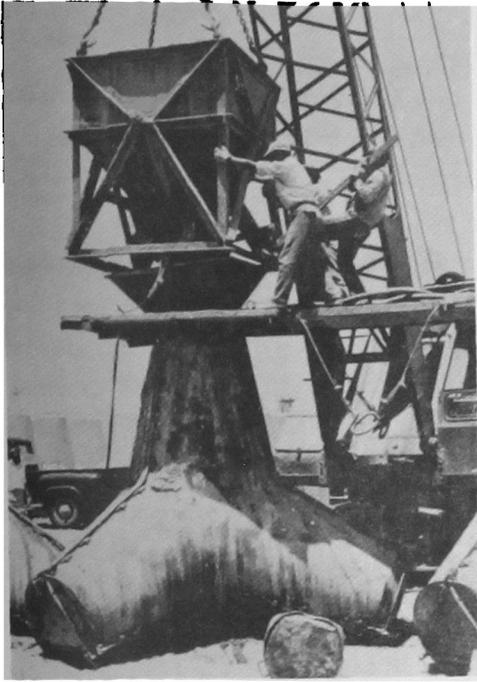
Los valores  $h_1$  y  $h_2$  que aparecen en la figura son dependientes de las condiciones del lugar.

podós a lo largo de la costa.

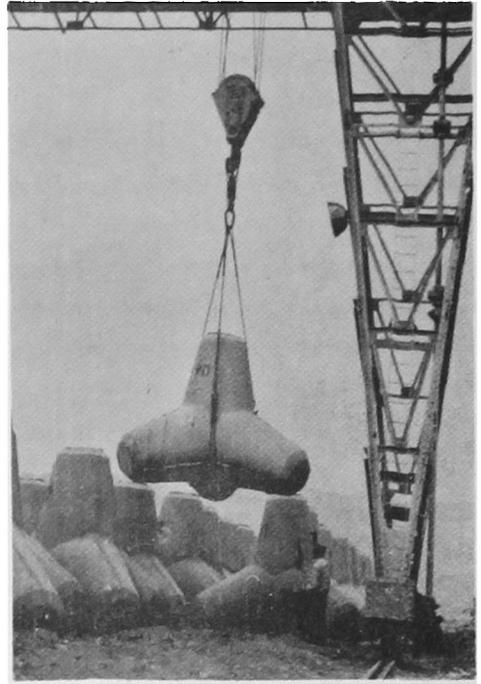
Para dimensionar el recubrimiento de tetrápodos que ha de disponerse en una obra se emplean fórmulas de tipo general, considerando las condiciones locales y antecedentes físico-estadísticos. Se han deducido fórmulas empíricas que determinan la sección transversal de la obra y el tamaño de los tetrápodos, según la altura de las olas. Para ello, se consideran estables y seguros los taludes comprendidos entre 1:1 y 1:3, siendo el más empleado hasta ahora el talud de 1:1 1/2. Las fórmulas mencionadas se anotan al pie de la Fig. 4.

Se ha comprobado en la práctica que un recubrimiento de dos estratos de tetrápodos resulta suficientemente efectivo. El mayor número de estratos no aumenta notoriamente esa eficiencia. Para una superficie de 100 m<sup>2</sup>, colocando dos estratos, se produce el siguiente consumo según el peso del tetrápodo empleado:

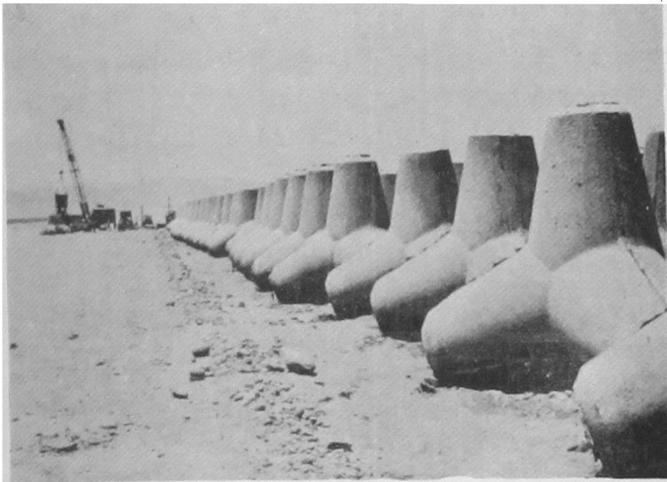
190	tetrápodos	de	1 t	c/u
74	"	"	4 t	"
47	"	"	8 t	"
30	"	"	16 t	"
22	"	"	25 t	"
16	"	"	40 t	"



**Fig. 5.** Hormigonado de los tetrapodos. (Arica).



**Fig. 6.** Traslado de tetrapodos dentro de la planta. (Arica).



**Fig. 7.** Almacenamiento de tetrapodos en la planta. (Arica).

Es necesario que los tetrápodos sean confeccionados con un hormigón de alta calidad. Heinz - Otto Lamprecht recomienda que la resistencia a la compresión sea por lo menos de  $450 \text{ kg/cm}^2$  a los 28 días de edad. Para su logro, es indispensable un esmerado control en la fabricación del hormigón, considerando una dosis de cemento mayor que  $300 \text{ kg/m}^3$ .

Los aglomerantes apropiados son aquellos de menor contenido de aluminato tricálcico o que sean resistentes a la acción de aguas agresivas. Si los tetrápodos son de gran tamaño, conviene usar cementos con escaso calor de hidratación. La razón agua/cemento más favorable está comprendida entre 0,4 y 0,5. Los agregados deben ser rodados, no atacables por aguas agresivas, donde sea preciso resistentes a la acción de las heladas, sin impurezas y de granulometría conveniente. Es aceptable el empleo de aditivos que mejoren la trabajabilidad y la resistencia a las heladas. El mezclado del hormigón debe realizarse a máquina, dosificando de preferencia en peso. El uso de potentes vibradores durante la compactación permite disminuir la permeabilidad.

La mezcla se coloca en capas de 30 a 50 cm de espesor y no se dejan juntas de construcción.

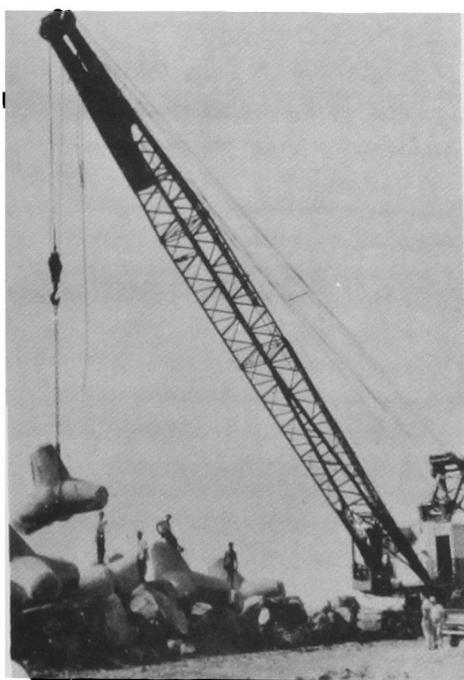
#### *Construcción de tetrápodos en Arica.*

La faena de hormigonado ha tenido gran importancia en la construcción del nuevo puerto de Arica. Distante algunos kilómetros de la obra se ejecuta el proceso de fabricación, curado y almacenamiento de tetrápodos. Para ello se instaló una planta automática (que incluye pesaje del cemento), marca Arbau Kaiser, que confecciona 30 metros cúbicos de hormigón por hora, que ha permitido alcanzar un ritmo de fabricación de 17 tetrápodos diarios. El agregado empleado procede del subsuelo ubicado en la zona de la planta y el cemento se ha adquirido en el extranjero por su menor costo. Ha provenido del Perú (El Sol), de Venezuela, de Colombia, de Bélgica y últimamente de Inglaterra (Elephants). La dosis por metro cúbico es de 340 kilogramos con 170 litros de agua. El hormigón se compacta con vibradores "Wacker" de inmersión de 9.000 revoluciones por minuto. Una vez desmoldados, los tetrápodos son cubiertos por una capa de silicato sódico para proteger su curado. Su período de almacenamiento es de 45 días, después de los cuales se trasladan a la obra sobre las cubiertas de trailers. Su colocación "in situ" se realiza con grúas disponiéndolos según un plan ya establecido. Para contener el talud de tetrápodos se colocó previamente a la cota - 6 una berma de piedras naturales de 2 a 4 toneladas de peso (Fig. 1).

En general los moldes para confeccionar los tetrápodos son metálicos y pueden estar constituidos por dos o cuatro partes principales, las que se retiran entre las 24 y 72 horas después de colar el hormigón, dependiendo directa-



**Fig. 8. Transporte de tetrapodos desde la planta a la obra. (Arica).**



**Fig. 9. Disposición de los tetrapodos en obra. (Arica).**



**Fig. 10. Primeros tetrápodos colocados en obra. (Arica).**



Instituto de Fotografía y Microfilm de la U. de Chile.

**Fig. 11. Vista panorámica del nuevo puerto de Arica aun en construcción.**

mente de las condiciones de curado. Los utilizados en el puerto de Arica son de cuatro partes, pero el juego de cada molde consta de seis. La razón de ello es que al desmoldar se recuperan solo tres piezas quedando la cuarta bajo el tetrápodo hasta el momento en que éste se cambie de lugar.

Los establecimientos Neyrpic, que poseen la patente mundial para la fabricación de tetrápodos destinados a obras marítimas, cobran F° 19,43 de derecho por cada elemento confeccionado, ya sea para colocar de inmediato o para dejar de reserva en el puerto de Arica. El precio es además reajutable en las mismas condiciones en que se reajustan las demás partes de la obra. El cobro de la firma no solo involucra los derechos para emplear el sistema de tetrápodos sino que también proporciona asistencia técnica relativa a su uso, como ser:

- a) informaciones respecto a la concepción de las defensas con tetrápodos.
- b) estudio en modelo reducido, en canal de ola, necesario para determinar la protección más conveniente.
- c) todo lo relativo a la confección y colocación en sitio de los tetrápodos, como ser: preparación, montaje y uso de moldes, composición del hormigón, manipulación de los tetrápodos y su colocación en obra.
- d) envío de ingeniero especialista para orientar las primeras operaciones de ejecución y colocación de los tetrápodos.

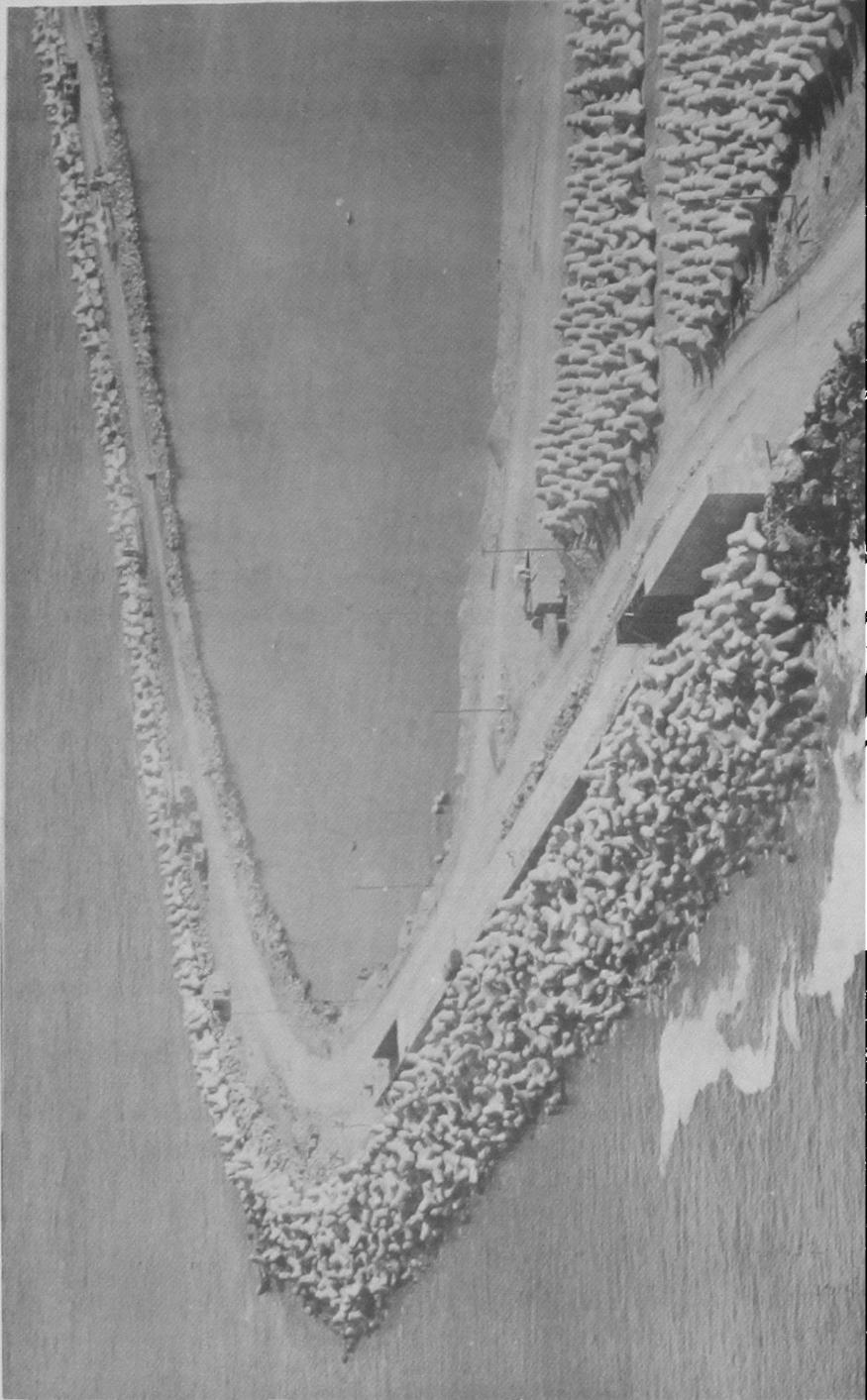
Este último aporte de Neyrpic fue considerado innecesario por la Dirección de Obras Portuarias, por lo que no se llevó a efecto.

La inmensa obra que constituye el nuevo puerto de Arica, equivalía primitivamente a U.S. 4.353.508,23. Los aumentos de obra autorizados han hecho acrecentar esta cifra a U.S. 9.641.558,82. El contrato considera además en sus cláusulas reajustes de aproximadamente U.S. 1.697.708.

Como puede verse, la zona norte de nuestro país, como también la zona centro-occidental de América, contará próximamente con un moderno puerto comercial que facilitará el avance de su desarrollo económico.

## AGRADECIMIENTOS

Los datos, relativos a la construcción del puerto de Arica, que aparecen en este artículo, fueron solicitados en la Dirección de Obras Portuarias del Ministerio de Obras Públicas al ingeniero de esa repartición, señor Mario Rojas R. a quien el autor agradece su valiosa colaboración.



Instituto de Fotografía y Microfilm de la U. de Chile.

Fig. 12. Recubrimiento ya terminado de tetrapodos, en parte del molo de abrigo del nuevo puerto de Arica. A la derecha, tetrapodos almacenados en espera de su colocación en la obra.

THE NEW ARICA HARBOUR AND THE USE OF TETRAPODES AT ITS  
SHELTERING BREAKWATER

SUMMARY:

*Main features of the Arica new harbour, at present in way of construction, in which tetrapodes are been used for breakwater's protection, are given. General information is presented about the design, manufacture and laying on of tetrapodes.*