

Construcción de obras de abrigo en los puertos (*)

Por LUIS JANINI CUESTA

Dr. Ingeniero de Caminos, C. y P.

1. INTRODUCCION

Fundamentalmente hay dos grandes grupos de diques de abrigo. Unos en donde las olas rompen sobre un talud y, los otros, en que las olas son reflejadas por una pared, es decir, dique en talud y diques verticales.

Generalmente, el primer tipo consiste en un núcleo de productos de cantera sin clasificar, vertido en el emplazamiento proyectado, protegiendo los taludes con varias capas de escollera clasificada, y siendo la última, especialmente del lado del largo o bien de escolleras de gran peso o de piezas de hormigón.

El segundo tipo, sobre un macizo de escollera a la cota proyectada, un macizo de hormigón, que en los últimos años es frecuente que esté constituido por cajones de hormigón armado, de paredes sensiblemente verticales a una parte y otra.

La elección de un tipo u otro depende de un cierto número de circunstancias. *En primer lugar* de la naturaleza de los fondos. Hoy día, es imprescindible conocer previamente las condiciones de los mismos, mediante sondeos ejecutados a veces en condiciones difíciles, tanto por el estado del mar, en zonas desabrigadas, lo que requiere ejecutarlos con plataformas con spuds, que generalmente tienen unas limitaciones en la longitud de los mismos y, en el caso de no disponer de estas plataformas, pueden también intentarse el conocimiento de éstas por procedimientos "geofísicos" que han de completarse con algunos sondeos normales para la identificación adecuada posterior.

El estudio de las muestras en el laboratorio nos permitirán deducir el futuro comportamiento de las obras, asientos previsibles en el tiempo, coeficiente de seguridad al deslizamiento, etc., etc.

El requerimiento de condiciones para el segundo tipo, es decir, los diques reflejantes, es mucho más exigente que para los de talud.

Puede, por tanto, este aspecto geotécnico ser uno de los factores determinantes de la elección de tipo a proyectar, y la eliminación de los diques reflejantes.

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo, que pueden remitirse a la Redacción de esta Revista, hasta el 30 de junio de 1979.

Asimismo, tendrá influencia en los métodos de su construcción.

En segundo lugar, hay que considerar el aspecto económico. La economía de las obras de este tipo pueden estar muy influenciadas por las condiciones locales. Estas son de diversos tipos.

El *oleaje a considerar*. Cuando las olas que puedan aboradar al dique tienen una importancia excepcional, las presiones que se producen en los del tipo vertical son de tal entidad que para resistirlas es imprescindible una estructura que, en general, será antieconómica con relación con el tipo de dique de talud.

Hay también que tener en cuenta los períodos de calma relativa, imprescindible para el fondeo de los cajones de hormigón armado, lo que repercutirá de manera notable en el plazo de construcción.

Para los diques en talud, un análisis de coste-beneficio debe hacerse para diferentes valores de altura de olas tomando en consideración la frecuencia de los temporales posibles, los costes de construcción y mantenimiento y la vida de la estructura.

Sin embargo, para los diques verticales, los proyectos se basan normalmente en el valor máximo estimado de la altura de las olas, por la dificultad y a veces imposibilidad de las reparaciones.

Materiales de que se dispone.

La construcción de diques en talud requiere grandes cantidades de piedra de peso variable.

Las características de las canteras, su estructura, distancia y caminos de acceso, son elementos a tener muy en cuenta.

Suele ser uno de los problemas más importantes.

2. EMPLAZAMIENTO DE LOS DIQUES EXTERIORES

Cuando era posible, los puertos marítimos se construían en zonas abrigadas, bahías, estuarios, etcétera, en donde los diques estaban situados en zonas de relativo poco calado.

CONSTRUCCION DE OBRAS DE ABRIGO EN LOS PUERTOS

Cuando no existían estas zonas, se construían en mar abierto, también en zonas de calado reducido, ya que, en general, la pendiente de la costa suele ser suave. (Hay excepciones importantes en los puertos canarios y otros de análogas características.)

Esto quiere decir que las cantidades necesarias para las obras no eran considerables.

Durante los últimos años ha habido, por un lado, ampliaciones importantes en los puertos tradicionales y, por otro, un importante número de puertos, en nuevos emplazamientos, consecuencia del desarrollo industrial en los campos, petrolífico, siderúrgico, etc.

Se ha producido un profundo cambio y un rápido desarrollo de los transportes marítimos internacionales, cuyos factores más decisivos son los siguientes:

- Aumento del tamaño de los barcos, muy fuerte en los últimos quince años.
- La especialización de barcos y la aparición de nuevos modos de manutención de mercancías diversas, haciendo obsoletas las instalaciones existentes y exigiendo, por tanto, otras de tipos nuevos (contenedores entre otros).
- Las necesidades en puertos modernos bien adaptados al tráfico y dotados de zonas industriales portuarias, para la instalación de industrias pesadas al borde del mar. Estas necesidades conducen a veces a utilizar lugares, litorales, disponibles y satisfaciendo en prioridad a los imperativos de la geografía económica que a veces pueden ofrecer, desde el punto de vista técnico, condiciones de construcción mediocres a las cuales hay que acomodarse.
- La creación de instalaciones marítimas de expedición de materias primas (mineral de hierro, carbón, petróleo, gas, etc.), en la proximidad relativa de los yacimientos ricos en países muy diversos.

3. CARACTERISTICAS DE LOS BUQUES DE MAYOR TONELAJE

Como confirmación del aumento impresionante del tamaño de los barcos, a continuación indicamos algunas cifras referente a los petroleros y mineraleros:

Petroleros.

Características de los buques de más de 300.000 T.P.M. contratados y construidos a finales de enero de 1973.

Peso muerto (tons.)	Eslora	Manga	Puntal	Calado
540.000	400,00	63,00	35,00	28,50
491.403	360,00	62,00	36,00	28,17
372.698	330,00	54,50	35,00	27,04
364.300	340,00	58,00	29,00	22,60
400.000	350,00	70,00	28,10	22,15
380.000	356,00	64,00	28,60	22,00
371.000	358,00	64,00	28,40	22,40
370.000	354,00	65,40	28,70	22,17
350.000	350,00	62,00	28,00	22,30
304.350	330,00	56,00	28,65	22,35
364.500	350,00	63,00	28,90	22,30
300.300	325,00	56,00	28,80	22,30
352.000	360,00	59,90	28,35	22,30
348.200	350,00	60,80	28,32	22,30
330.000	353,00	56,40	28,43	—
309.000	337,40	56,40	28,43	22,28
330.000	330,00	60,00	28,70	22,60
325.000	330,00	53,30	32,00	24,70
321.600	322,00	53,60	32,00	24,62
326.000	330,00	53,30	32,00	24,78
315.000	334,00	54,20	25,60	23,16
333.000	351,81	55,40	28,75	22,35
313.000	336,00	55,40	28,75	22,35
313.000	336,00	55,40	28,75	22,35
310.000	336,00	55,40	28,75	22,38

Mineraleros.

En 1969, para los buques Bulks, ore/oil y OBO, la evolución hacia los grandes tonelajes unitarios ha sido muy acusada. Del récord 150.000/165.000 T.P.M. alcanzado en los pedidos del año 1978, se ha pasado bruscamente al nivel 260.000/280.000 T.P.M. para ciertos pedidos de 1969.

Al 1.º de julio de 1970, la flota mundial de transportadores de graneles para los buques de más de 10.000 T.P.M. era de 71,6 millones de T.P.M.

Por otro lado, el tonelaje contratado al 1.º de julio de 1970 era el siguiente:

	Número de buques	T.P.M. (en miles)
Minerales	23	1.923
Mixtos { Ore/oil	50	9.209
{ Bulk-oil	73	8.920
Otros transportes	407	15.335
	553	35.397

CONSTRUCCION DE OBRAS DE ABRIGO EN LOS PUERTOS

En octubre de 1969 fue entregado por I.H.I. el "Universe-Aztec" de 160.242 T.P.M. a la Sea Tankers Inc. de Liberia, filial de National Bulk Carrier y transporta actualmente sal industrial de México a Japón.

Era el primero de una serie de tres, pero luego se han producido algunos cambios y el número 2 será OBO y el número 3 será equipado por un sistema de correas para su auto-descarga.

Es el mayor transporte de graneles hasta esa fecha y ha sido proyectado para el transporte de sal, carbón y mineral.

Hay que pensar, por lo tanto, en lugar de los buques de 100.000 T.P.M., en otros mayores para dentro de pocos años.

A continuación indicamos las dimensiones de estos buques.

T.P.M.	Eslora		Manga máxima	Puntal mínimo	Calado en carga	
	Máx.	Mín.			Máx.	Mín.
100.000	263	243	41,40	37,90	15,30	14,50
120.000	275	256	43,40	40,00	16,40	15,00
150.000	293	274	46,20	42,60	17,80	16,10
170.000	302	284	48,00	44,20	18,70	17,00
200.000	314	297	50,10	46,20	19,80	18,10
220.000	320	312	51,20	47,30	20,60	19,00
250.000	330	320	53,00	49,00	21,70	20,00

Las necesidades de calado son distintas en el muelle de atraque, zona de reviro y entrada en el puerto.

Podemos admitir unos resguardos de 1,50 m, 3,00 m y 5,00 m, respectivamente.

Resultará lo siguiente:

T.P.M.	Calado medio	Profundidades necesarias		
		En muelle	En zona reviro	En entrada
100.000	15,—	16,50	18,—	20,—
120.000	15,70	17,20	18,70	20,70
150.000	17,—	18,50	20,—	22,—
170.000	18,—	19,50	21,—	23,—
200.000	19,—	20,50	22,—	24,—
220.000	20,—	21,50	23,—	25,—
250.000	21,—	22,50	24,—	26,—

Las cifras anteriores, en cuanto a número de buques, ha sufrido modificaciones en la fecha actual, pero no han aumentado las correspondientes al tamaño, que es lo que nos interesa remarcar, en relación con los diques de abrigo.

Y no han aumentado, por la razón de que las instalaciones de los puntos de carga no pueden adaptarse en corto plazo a aumentos mayores. Por

otro lado, ocurre lo mismo en los puertos de descarga.

Hemos dado cierta amplitud a los datos relativos a los buques mineraleros porque la descarga de los mismos se ejecuta mediante cucharas de gran tamaño, instaladas en pórticos sobre muelle; es decir, que requieren mar prácticamente en calma, lo que no ocurre con los petroleros, ya que la descarga se hace por bombas. Por esta razón, existen muchas instalaciones de descarga de petroleros en pantalanés en mar abierto y boyas de distinto tipo, unidas mediante tuberías a tierra y, naturalmente, en mares o zonas relativamente tranquilas, en un porcentaje de días importante.

Y para terminar con el tamaño de los barcos, queremos hacer un comentario sobre los buques contenedores; los mayores hasta la fecha, son de 50.000 T.P.M. y de dimensiones 258 m de eslora, 32 m de manga y 13 m de calado. Pueden llevar 2.466 contenedores de 20 pies.

Las consecuencias inmediatas del solo fenómeno del incremento de la talla de los barcos, son evidentes sobre las obras exteriores. Como las zonas de maniobra y parada han de ser mayores, los diques tienen que tener mayor longitud, sobre profundidades mayores y en zonas más expuestas al oleaje.

Es decir, desde el punto de vista constructivo, volúmenes de obra a ejecutar muy superiores a los anteriores y en tiempos prácticamente análogos, por lo que los ritmos alcanzan unos valores increíbles hace unos años y posibles por el progreso técnico que ha ido desarrollando paulatinamente.

4. OBRAS DE DIQUES DE ABRIGO EN QUE HE INTERVENIDO

Durante los cuarenta y tres años de vida profesional, he tenido la oportunidad de tener una actividad muy variada. Obras hidráulicas, edificación industrial y obras portuarias de toda clase. Desde el año 1954 en Dragados y Construcciones, S. A. con mayor dedicación a este último tipo.

Especialmente muelles, pantalanés, dragados, diques secos, gradas de construcción, elevador de barcos y, naturalmente diques de abrigo.

A continuación se indica una serie de estas obras con las fechas de construcción.

- Dique de Levante en Vinaroz (Castellón) en los años 1940-45.
- Refuerzo del dique de Levante en Burriana (Castellón) en 1945-46.
- Contradique y muelle de la Sal en Torrevieja (Alicante) en 1948-50.

CONSTRUCCION DE OBRAS DE ABRIGO EN LOS PUERTOS

- Puerto pesquero en Almería en 1956-58.
- Prolongación del dique del Este y nuevo controdique en Barcelona en 1959-62.
- Segundo y tercer trozo del dique de Levante en Cádiz en 1965-69.
- Avenida Marítima de Las Palmas en 1967-69.
- Dársena exterior del Puerto de la Luz y Las Palmas en 1967-72.
- Dársena pesquera (Tenerife) en 1965-68.
- Ampliación del dique del muelle del Este (Tenerife) en 1966-70.
- Playa de las Teresitas (Tenerife) en 1968-71.
- Dique sumergido en la prolongación del dique del Este (Barcelona) en 1967-69.
- Dique de abrigo (Valencia) en 1968-73.
- Dique en Huelva (en ejecución).
- Dique de abrigo en el Abra (Bilbao) en los años 1972-76.
- Dique de prolongación, etc., en Las Palmas.
- Dique Norte y Sur en San Ciprián (Lugo) (en ejecución).
- Dique emergido en Barcelona (en ejecución).
- Dique en Bandar Abbas (Irán) (en ejecución).

Además de estas obras, se han estudiado otro gran número, y entre las más destacadas figuran:

- Diques en Tarragona.
- Prolongación en Alicante.
- Dique-muelle escombreras en Cartagena (vertical-cajones).
- Dique de Algeciras (vertical-cajones).
- Dique de Gijón.
- Figueira da Foz (Portugal).
- Puerto de Sines (Portugal).
- Puerto de Nazaré (Portugal).
- Puerto de Arzew. Bethioua (Argelia).
- Puerto de Jijel (Argelia) (pendiente de adjudicación).
- Puerta Isla Sagunto. Para la IV Siderúrgica.

5. ELEMENTOS FUNDAMENTALES PARA LA EJECUCION DE LOS DIQUES

1. Explotación de una cantera, es decir, el arranque.
2. Carga de las escolleras.
3. Transporte a obra.
4. Instalación de áridos, o en cantera, o en obra.
5. Instalación de hormigón en obra.

6. Descarga de las escolleras.
 - a) Por vertido directo.
 - b) Con grúa.
 - c) A pontona o gánguil para su vertido marítimo.
7. Fabricación de los elementos de manto de hormigón, su traslado a acopio, su carga y su traslado a pie de grúa por medios marítimos o terrestres. También pueden verse directamente desde gánguil.
8. Fabricación del hormigón de la superestructura, su traslado y vertido en losas y espaldones.
En el caso de diques verticales y con el tipo de cajones, la infraestructura es de escolleras, por lo que no existen los elementos 6a, 6b y 7, y hay que considerar además los siguientes:
9. Instalación para fabricación de cajones.
10. Enrase de escolleras.
11. Fondeo de los cajones.
12. Relleno de sus celdas, con material granular y a veces en los parámetros de hormigón.

6. CAMBIOS FUNDAMENTALES POR EL AUMENTO CONSIDERABLE EN LA CARGA UTIL DE LOS CAMIONES

Hasta el año 1950, la capacidad máxima de los camiones de transporte era de seis a ocho toneladas.

Como quiera que en los mantos de los diques en talud figuraban normalmente piedras de peso mayor de cinco toneladas y en la explotación de la cantera se obtenían bastante mayores, no era posible su utilización.

Por esta razón, se acudía a una explotación por ferrocarril.

Había que tender una vía entre la cantera y la obra, teniendo que atravesar caminos, carreteras (con paso a nivel, barreras, etc.) (posible en aquellos años, pues la circulación por la carretera era muy débil) y a veces como en Vinaroz, el ferrocarril de Valencia a Barcelona, es decir, entrando en la estación y con las agujas hacer las maniobras, etc., etc.

Luego de hacer el proyecto de ferrocarril, había que conseguirse los permisos de ocupación temporal, autorizaciones de los organismos afectados, etcétera.

CONSTRUCCION DE OBRAS DE ABRIGO EN LOS PUERTOS

En el caso de Vinaroz, desde la cantera de la "Parreta", la caliza de muy buena calidad, hasta el puerto, había algo más de siete kilómetros.

Se disponía de vagones de vía normal, basculantes de 15 toneladas y plataformas de 25 toneladas de carga útil y las locomotoras oportunas: una en cantera para maniobras, dos en recorrido y otra en el puerto, para maniobras.

El caso de Torrevieja era algo distinto. La cantera estaba en Albaterra, muy próxima a la estación. Se construyó solamente el tramo de enlace y luego los trenes propios circulaban por el ferrocarril hasta la estación de Torrevieja y obra.

Por cierto, que en el trazado general, al paso del río Segura, había un tramo con una pendiente fuerte que limitaba el número de vagones de cada tren. La distancia era de 27 kilómetros.

Las vías en las obras, tanto en la cantera que había que ir ripando hacia el frente, como en los diques, complicaban en grado sumo la explotación, dándole una gran rigidez.

Con todos estos acondicionamientos, las producciones eran relativamente pequeñas y conseguir rendimientos del orden de las 20.000 toneladas al mes era un éxito.

La evolución de los camiones, en cuanto a su carga útil ha sido:

En la prolongación del dique del Este y nuevo contradique en Barcelona.

Cantera situada en Castelldefels, a 26 kilómetros del contradique, en donde se construyó el puerto de servicio para el embarque de piedra a las pontonas basculantes, para el vertido marítimo.

Camiones Pegaso Z-703 con plataforma de 22 toneladas.

Circulación por carretera general.

Dársena pesquera.

Ampliación del dique-muelle del Este.

Playa de San Andrés.

Las tres obras en Tenerife. Circulación por carretera nacional.

Camiones Magirus y Mack de 20 toneladas.

Dársena exterior del Puerto de la Luz y de Las Palmas.

Cantera situada a dos kilómetros de la obra. Carretera de enlace construida exprefeso.

Dumpers-Haulpack de 35 toneladas (anchura: 3,760 metros).

Dique de abrigo en el Abra (Bilbao).

Cantera junto a la obra. Carreteras construidas exprefeso.

Dumpers WABCO-75 B de 68 toneladas (anchura: 4,850 metros).

Prolongación dársena exterior del Puerto de la Luz y de Las Palmas.

La misma cantera, por las obras anteriores.

Dumpers WABCO-75 B y Komatsu HD-680, de 68 toneladas.

Bandar Abbas (Irán).

Carretera construida exprefeso de 20 metros de anchura y 30 kilómetros.

Komatsu HD-680, con remolque RD-800; carga total $68 + 90 = 158$ toneladas (anchura: 4,675 m).

Cuando hay que circular por carreteras nacionales, es imprescindible adaptarse a la legislación sobre cargas máximas, lo que impide el empleo de los dumpers citados, además de por la anchura superior a los 2,50 metros.

Arzew (Argelia).

Carretera exclusiva de 25 kilómetros y 20 metros de anchura.

Camiones de 25 toneladas y velocidad de 70 kilómetros por hora.

7. MEJORAS EN TODA LA MAQUINARIA

Paralelamente a este aumento de carga útil de los camiones, se han producido una serie de mejoras, consecuencia del programa técnico en todos los campos.

7.1. Arranque de cantera.

a) Sistemas de explotación.

Debido al avance tecnológico de la maquinaria de perforación, se ha impuesto totalmente la explotación de las canteras por bancos.

Antiguamente, debido a la inexistencia de estas máquinas o a su concepción rudimentaria, el sistema más frecuente era la explotación por medio de galerías. Consiste este método en la perforación de una galería perpendicular al frente de explotación saliendo de ésta dos ramificaciones en sentido contrario y paralelas a dicho frente. En el fondo de estas galerías secundarias se coloca una importante cantidad de dinamita, que al hacer explosión arranca una enorme masa rocosa. Existen métodos de cálculo y tablas que relacionan la longitud y profundidad de las galerías con la altura total de la roca a volar y con la cantidad de

CONSTRUCCION DE OBRAS DE ABRIGO EN LOS PUERTOS

explosivo. Los inconvenientes principales de este método son:

- Es discontinuo y lento.
- No hay control sobre las granulometrías a obtener.
- Requiere una voladura secundaria o taqueo muy costosa.
- Hay dificultad en el trabajo de las máquinas de carga.
- Puede originar accidentes.

En las obras de Vinaroz y Torreveja se empleó este sistema.

La explotación por bancos consiste en abrir un determinado número de frentes de arranque a distintas cotas que van progresando manteniendo un desfase, cada uno con el siguiente, que permita las labores de carga.

Las ventajas principales son:

- Una explotación continua que permite con poca longitud de frente un suministro seguro.
- Dominio sobre los trabajos, pudiéndose subsanar fácilmente las dificultades que pueden surgir.
- Menores costos de arranque.
- Mayor rendimiento en la carga y transporte.
- Menores labores secundarias.
- Buen control sobre las granulometrías a obtener.
- Seguridad en los trabajos.

La altura de los bancos está relacionada con el diámetro de perforación, maquinaria de carga y topografía del terreno.

En un principio, se explotaron bancos altos, superiores a 40 metros, que disminuyen el consumo específico de explosivos y los costos de apertura.

La tendencia actual es el empleo de bancos de 15 a 25 metros de altura, pues esto permite:

- Abaratar la carga al trabajar las máquinas en zafras de 10 a 15 metros, aumentando su rendimiento.
- Dominar mejor la perforación y voladura, pudiéndose subsanar fácilmente los problemas que surgen como atascos, pérdidas de barrenos, fallos en la voladura, etc.
- Se simplifica mucho el saneo de los frentes que en gran parte se puede hacer directamente con las máquinas de carga.
- Se aumenta la seguridad en el trabajo.

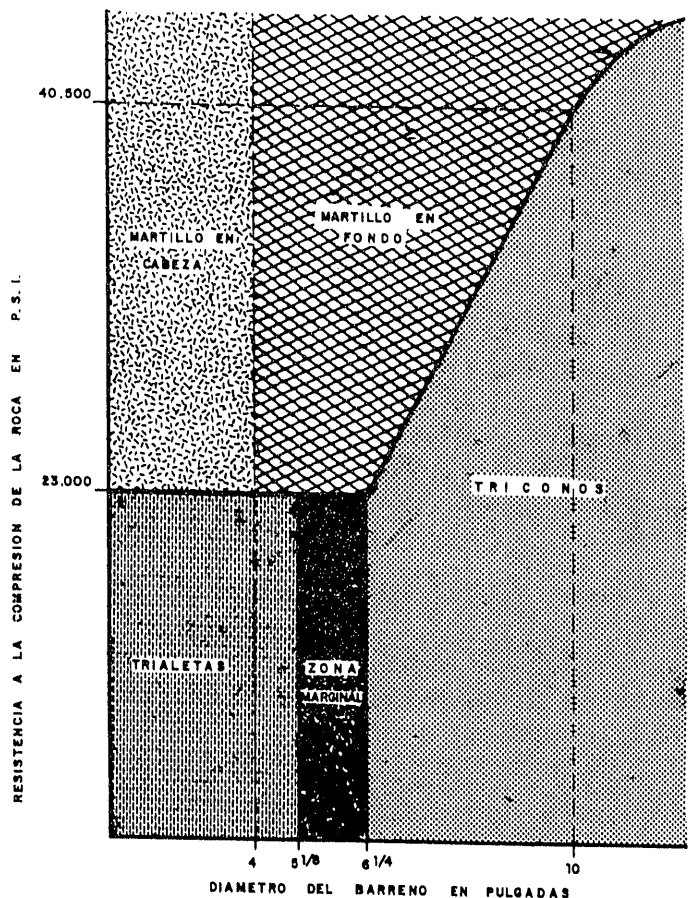
b) Perforación.

Según el principio mecánico por el que funcionan las máquinas de perforación, los podemos dividir:

- *A rotopercusión.*—La herramienta de corte gira y percute a la vez, avanzando en el terreno. Estas máquinas se subdividen según tenga martillo en cabeza, en fondo o hidráulicas.
- *Rotativas.*—La herramienta de corte sometido a una fuerte presión sobre la roca gira consiguiendo perforarlo.
- *Mixtas.*—Son máquinas que cambiándoles las herramientas de corte, pueden trabajar con martillo en fondo o con martillo en cabeza.

Sin entrar en una descripción de todos estos procedimientos, su campo de aplicación puede quedar reflejado en el ábaco adjunto.

CAMPO DE APLICACION DE LOS DISTINTOS SISTEMAS DE PERFORACION



CONSTRUCCION DE OBRAS DE ABRIGO EN LOS PUERTOS

La tendencia actual en canteras de gran producción es el empleo de diámetros de perforación de 6,5 a 8 pulgadas. Una máquina de este tipo en doscientas horas de trabajo mensuales, puede dar una producción de 280.000 toneladas. El empleo de estos medios puede disminuir los costos de arranque un 50 por 100 o más que utilizando un mayor número de máquinas más pequeñas.

La perforación hidráulica es el último avance tecnológico comercializado en este campo. Consiste en, por medio de una bomba hidráulica aprovechar la energía del aceite comprimido para producir la rotopercusión, empleándose el medio tradicional del aire comprimido sólo para la limpieza del barreno.

En cualquier caso, hay que considerar que su aplicación a estos trabajos está comenzándose.

En cuanto a los rendimientos que obtenemos con los distintos tipos de perforadoras, además de los metros lineales perforados por hora, hay que considerar las toneladas arrancadas que dependen del diámetro de perforación utilizado.

En una aplicación correcta en cuanto a diámetros, profundidades y tipos de roca a perforar, un cuadro estimativo de rendimientos puede ser el siguiente:

	Ø	Ml/h.	Tm/h.
Mart. en cabeza hidráulico.	4,5"	16	650
Mart. en cabeza neumático.	3,5"	12	280
Mart. en fondo alta presión.	8"	12	1.560
Mart. en fondo baja presión.	6,5"	7	550
Triconos	77/8"	13	1.560

c) Voladura.

Los factores principales de la voladura son el tipo y cantidad de explosivo empleado y la secuencia y sistema de encendido que se utiliza para su detonación.

Los tipos de explosivos normalmente utilizados son las dinamitas para la carga de fondo y los explosivos a base de nitrato amónico para la carga de columna. Las dinamitas son explosivos de alta potencia y en su empleo tienen como misión romper la base de la roca para permitir que ésta se desplome.

La carga de columna tiene una misión de fraccionamiento y esponjamiento, por lo que se emplea un explosivo de media a baja potencia y en

muchos casos se colocan separadores para disminuir la cantidad de explosivo por metro lineal.

Las últimas novedades en el campo de aplicación de los explosivos han sido por una parte la aparición de papillas explosivas o slurrys. Este explosivo se emplea en sustitución de las dinamitas, teniendo como ventajas su menor coste, mayor aprovechamiento del orificio del barreno, mayor seguridad en su manejo y mejor manejabilidad para la carga de barrenos. En contrapartida hay que señalar que es muy sensible al agua, no se debe emplear en terrenos fisurados y necesita un iniciador muy potente. En España tienen un bajo nivel de comercialización y su empleo hasta la fecha ha sido muy limitado.

En el campo de los explosivos pulverulentos su más alto rendimiento y mínimo costo se obtiene empleando para su introducción en el barreno máquinas cargadoras neumáticas. Básicamente consiste en un depósito que se carga con nitrato amónico y por medio de aire comprimido a través de una tubería se inyecta en el barreno. Al nitrato se le incorpora el gas-oil, que lo hace explosivo a la salida del depósito.

En España está prohibida la mezcla en obra del nitrato y gas-oil, por lo que este sistema pierde gran parte de sus ventajas y no se utiliza.

Los consumos específicos en este tipo de canteras son del orden de 0,100 Kg/m³ de dinamita y 0,200 Kg/m³ de nagolita.

Estos consumos pueden oscilar según la dureza de la roca, estratigrafía y sistema de explotación.

El otro factor importante en la voladura es el sistema y secuencia de encendido. Actualmente, el encendido eléctrico es el empleado mayoritariamente, con la aparición de los detonadores de alta sensibilidad prácticamente se han solucionado los problemas de iniciación fortuita.

Tanto en las canteras explotadas para producción de escolleras como en las que se destinan los productos a machaqueo, la fragmentación es un factor fundamental en el resultado de las voladuras.

El análisis y conexiones de los elementos que influyen en la fragmentación es bastante complejo y aunque no es el momento oportuno para su estudio exhaustivo, sí es importante cuando menos enumerarlos. Podemos considerar los siguientes:

- Factores geológicos, fallos, diaclasas, estratificación, zonas descompuestas, etc.

CONSTRUCCION DE OBRAS DE ABRIGO EN LOS PUERTOS

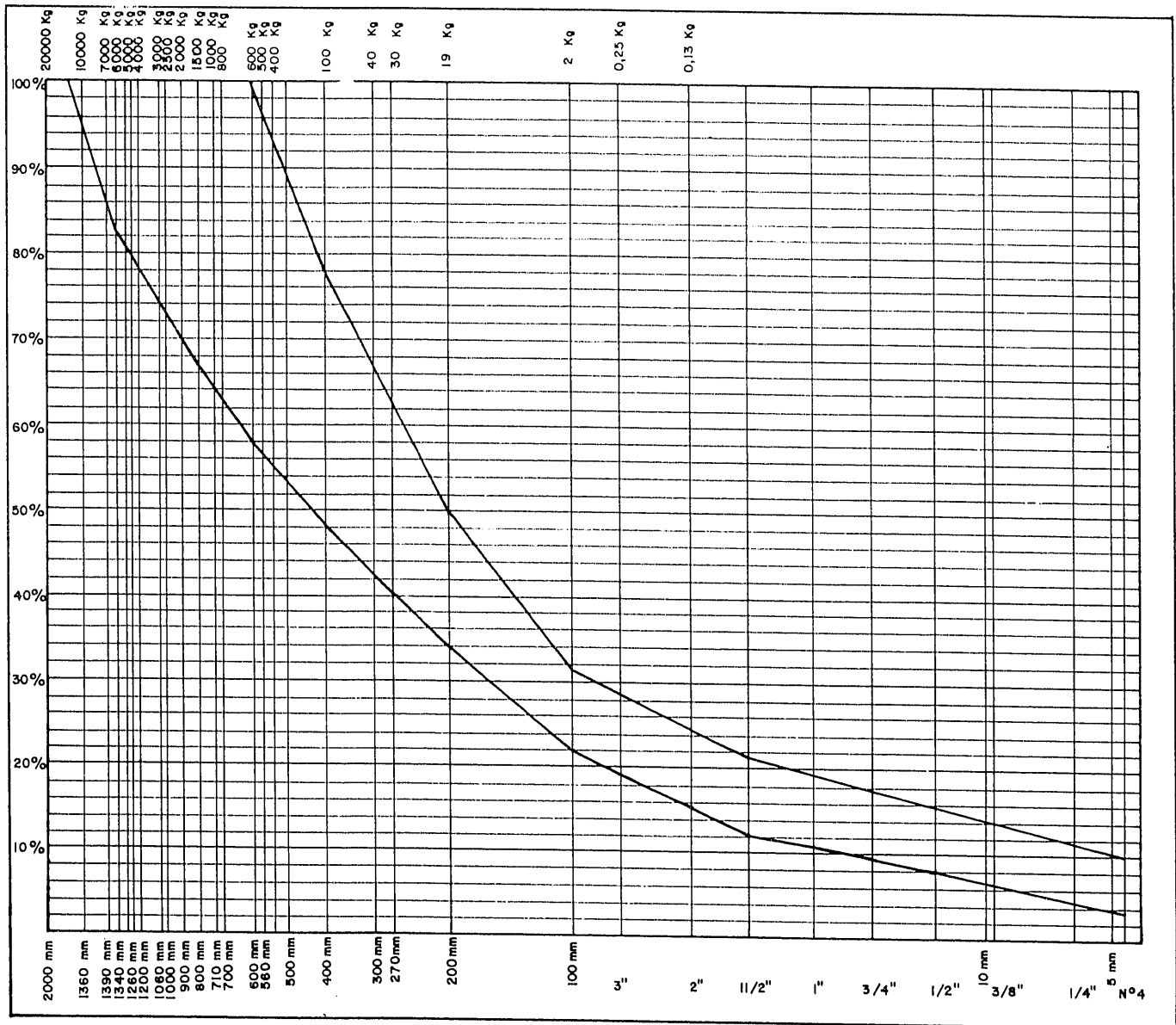
- Perforación específica ml/m³.
- Diámetro de perforación.
- Relación entre espaciamento de barrenos y distancia al frente (E/V).
- Carga específica, kilogramo de explosivo por metro cúbico extraído.
- Tipo de explosivo empleado.
- Distribución del explosivo a lo largo del barreno.
- Taco final o sección no cargada del barreno.
- Secuencia de encendido.

- Dirección de avance del frente respecto a la estratificación.
- Altura de los bancos.

Para una explotación correcta se requiere un detallado estudio de todos estos factores, íntimamente ligados entre sí muchos de ellos, para obtener el mejor resultado posible en una cantera cubriendo de la forma más económica posible las necesidades de la obra.

Damos a continuación el huso granulométrico obtenido en la explotación de numerosas canteras de puertos que da una idea de las variaciones granulométricas esperables, según los valores que tomen las variables consideradas anteriormente.

HUSO GRANULOMETRICO OBTENIDO EN EXPLOTACIONES DE CANTERAS PARA PUERTOS



CONSTRUCCION DE OBRAS DE ABRIGO EN LOS PUERTOS

7.2. Carga en cantera a camiones.

El equipo estaba constituido por palas excavadoras de orugas, del orden de dos metros cúbicos de capacidad de cuchara y grúas para embragar con cables las escolleras de peso elevado, o bien con cucharas de presión mecánica. Al principio de vapor, más tarde de gas-oil. Así se ejecutaron las obras en Barcelona, Tenerife y las primeras de Las Palmas.

Posteriormente ha entrado el sistema de las palas cargadoras de gran capacidad de cuchara. La elección de las más adecuadas está en función de los camiones de transporte. Se complementa el equipo de carga con grúas con equipo de cucharas de presión hidráulica para las grandes piedras.

Se adjunta una relación de excavadoras y cargadoras que hemos empleado:

T i p o	Marca y modelo	Potencia	Cuchara	Peso
Excavadora de cable.	Northwest 80D.	210 CV	1.900 l.	68 Tm.
Excavadora eléctrica.	Skoda E-2510.	247 kW	2.500 l.	91 Tm.
Excavadora de cable.	Lima 2400B.	279 CV	6.000 l.	215 Tm.
Excavadora hidráulica.	Orenstein y Coppel RH60.	624 CV	6.000 l.	95 Tm.
Cargadora de neumáticos.	Caterpillar 992.	550 CV	7.650 l.	57,5 Tm.
Cargadora de neumáticos.	Dart D-600.	700 CV	10.500 l.	80 Tm.

7.3. Vertido marítimo.

En los puertos mediterráneos, desde hace más de cincuenta años, se empleaban pontonas basculantes de hasta 300 toneladas de capacidad. Este procedimiento sigue siendo válido, pero requiere una mar tranquila, lo que disminuye mucho los días de trabajo. Hoy día se emplean normalmente gánguiles de charnela, con motores "fuera borda". La capacidad es variable. Se han empleado de 250, 400 y 750 m³ y mayores.

Las ventajas de este tipo de gánguiles son: pueden navegar con un cierto oleaje, mayor cuanto lo sea su tamaño, debido al sistema "fuera borda", pueden maniobrar con gran facilidad, lo que disminuye el tiempo de atraque y desatraque en la carga, facilidad y precisión del vertido.

Existe otro tipo de gánguiles, que por mitades empuja las escolleras hacia los bordes, con un dispositivo de empuje hidráulico.

En el Europort de Rotterdam dieron muy buen resultado. Su capacidad era de 1.200 toneladas. Permite un vertido de la piedra muy preciso.

Las ventajas de los motores "fuera borda" se han aplicado con éxito a las pontonas basculantes, para evitar los remolques, siempre molestos.

7.4. Vertido terrestre.

Aparte del vertido directo de los camiones, es imprescindible el empleo de grúas para las zonas en que no es posible, por su emplazamiento en el perfil del proyecto o por el peso de las piedras.

Anteriormente, se empleaban los Titanes sobre

pórticos. Hoy día, se siguen utilizando, aunque la tendencia es la sustitución por grúas adecuadas, bien sobre pórtico y vías u otros tipos sobre orugas.

En Barcelona, Tenerife, Las Palmas y Valencia las obras se ejecutaron con Titanes.

Para Barcelona se construyó uno de 80 toneladas a 25 metros.

Posteriormente, se utilizó para las obras de Valencia.

Para la primera obra del dique de Las Palmas se encargó la construcción de uno de 125 toneladas a 14 metros.

En el proyecto que salió a concurso internacional, figuraba un dique vertical a partir de una cota de agua de 12 metros, construido por bloques de 125 toneladas, formando el macizo con chimeneas que se rellenaban de hormigón. Después se cambió el sistema, continuando con el dique en talud de la primera parte, con un manto principal de bloques de hormigón de 30 toneladas.

Se empleó el Titán para estas obras y se siguió con el mismo para la prolongación de las obras, hechas posteriormente. Este Titán se está utilizando para las obras de Barcelona, actualmente en ejecución. El otro Titán se ha desguazado.

Las dificultades de los Titanes son las siguientes: período de proyecto y construcción del orden de los quince meses; montajes y desmontajes complicados; campo de aplicación muy concreto, en cuanto a sus cargas y distancias; conservación costosa; empleo posterior muy problemático.

CONSTRUCCION DE OBRAS DE ABRIGO EN LOS PUERTOS

Esta última razón es la más importante para el abandono de los Titanes.

Las grúas que pueden sustituirlos tienen, en principio, una utilización más versátil.

Se adjunta un gráfico, con las características

de alcance y carga de una serie de grúas que pueden utilizarse.

Son, en principio, grúas que existen en catálogo del mercado, por lo que el plazo de suministro puede ser relativamente más corto, aunque para ciertos tamaños excepcionales, se acerca al año.

Dique de Punta Lucero (Bilbao)	Revólver	Clyde	85 Tm. a 17 m.
Puerto San Ciprián	Grúa s/orugas + Ringer	Manitowoc 4100W	272 Tm. a 11 m.
Astillero Bandar Abbas (Irán)	Grúa s/orugas	Manitowoc 4600 S2	218 Tm. a 5,5 m.

8. ANALISIS DEL PROYECTO, BAJO EL PUNTO DE VISTA DE SU CONSTRUCCION

En general, son dos Entes distintos, los que proyectan y los que construyen.

Algunos proyectistas, por su experiencia y haber vivido los problemas constructivos, no olvidan esta faceta fundamental y sus proyectos incluyen las dimensiones convenientes para su adecuada ejecución, con los medios imprescindibles.

En el caso de diques en talud, como consecuencia de los estudios de oleaje, los perfiles tipo, especialmente los mantos principales y el perfil exterior del largo se comprueban cada vez más, con los ensayos correspondientes en el laboratorio.

Se estudia también la estabilidad del conjunto mantos de protección y espaldones.

El resto, es decir, los núcleos y mantos de escollera de filtro y soporte del manto principal, no suelen comprobarse y su definición muchas veces sobre todo en la anchura de la coronación, son proyectados desde un punto de vista de estabilidad, sin la consideración de los medios con los que hay que ejecutar las obras.

Cada vez es más corriente el sistema de contratación, mediante concurso, en los cuales se suelen admitir variantes. En este caso, las empresas constructoras, al presentar las variantes, tienen ya en cuenta estas circunstancias.

Los ensayos en laboratorio a que antes nos hemos referido, se ejecutan casi siempre con el dique terminado que debe resistir los mayores oleajes previsibles. Ahora bien, para tener el dique terminado, es imprescindible pasar por unas fases constructivas en las cuales las condiciones para

resistir el oleaje, no sólo el máximo (que no tiene porqué presentarse en ese período, porque la probabilidad es reducida), sino los normales, es decir, los que se presenten prácticamente todos los años, son muchas veces precarias. Por esta razón, creemos muy conveniente realizar los correspondientes ensayos en el laboratorio construyendo un tramo de dique, en el que aparezcan las distintas fases de construcción, con los oleajes previstos que son consecuencia de los ritmos y de los medios de ejecución.

Aun cuando después hablaremos de las defensas, en líneas generales cuanto menor es el ritmo de las obras, más cortas son las distancias entre el extremo de la obra, las secciones intermedias y el perfil completo y, por tanto, serán menores los destrozos de los temporales.

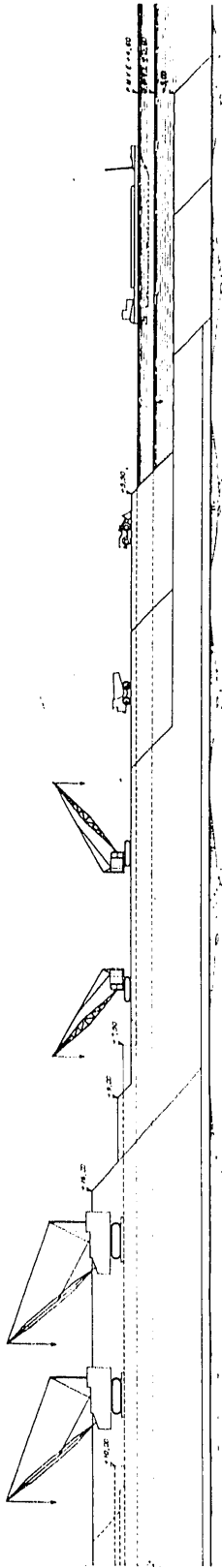
Estos ensayos permiten corregir el tamaño de las escolleras, las cotas de los distintos mantos, etcétera, estudiando unos perfiles adecuados que pueden ser distintos para invierno y verano.

En cualquier caso, siempre habrá escolleras que se desplazan de su sitio y ésta es la razón de que lo equitativo es el abono de todas las escolleras, tanto de los mantos como del núcleo, por su peso en báscula.

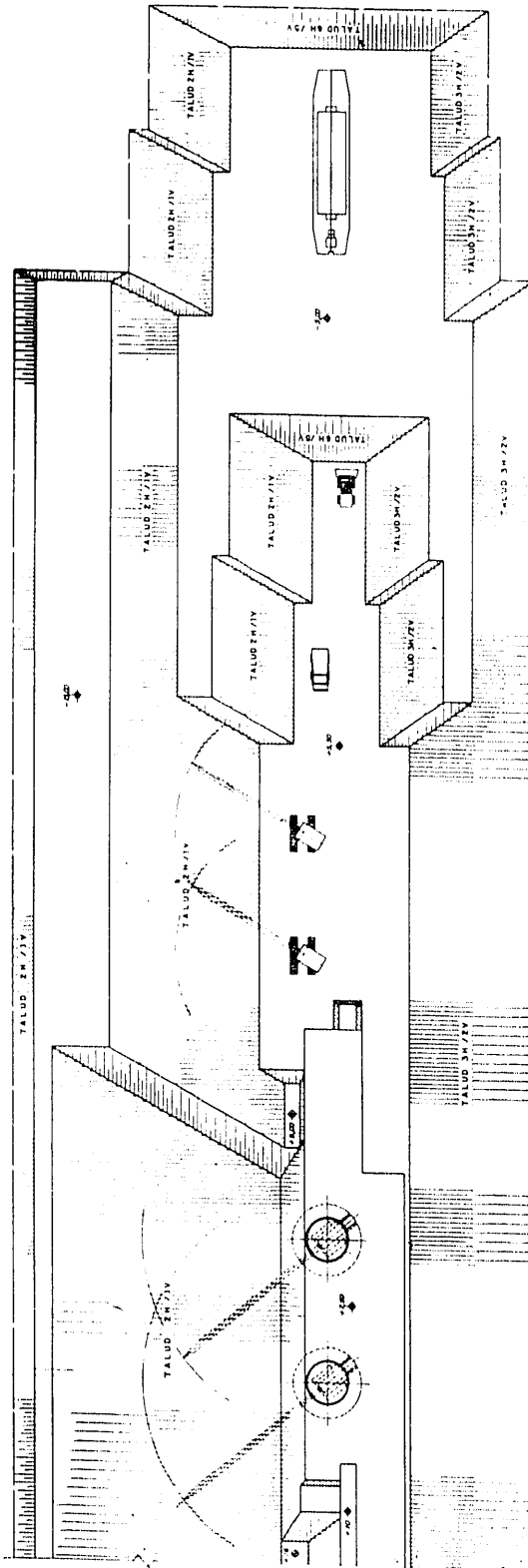
Aparte de la escollera desplazada, se producen unos costes adicionales por la paralización de los equipos, hasta que se reparan los daños y puede seguirse trabajando a los ritmos previstos.

En las obras de cierta importancia, se enlaza telefónicamente la obra con los meteorólogos adecuados que dan la previsión del oleaje, con dos días de tiempo. Esto permite retirar en un lugar más protegido los elementos de avance, como grúas, etc.

CONSTRUCCION DE OBRAS DE ABRIGO EN LOS PUERTOS

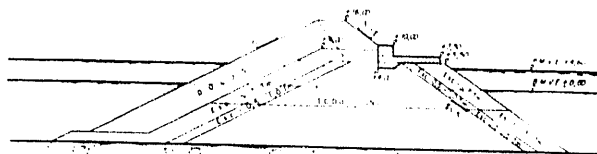


PERFIL LONGITUDINAL ESCALA 1:50



PLANTA ESCALA 1:50

PERFIL TRANSVERSAL
ESCA. 1:1



CONSTRUCCION DE OBRAS DE ABRIGO EN LOS PUERTOS

Como dato anecdótico, añadiré que, aun cuando se prevean "garajes" reforzados para las grúas, cabe la posibilidad de que un temporal extraordinario produjera daños en la grúa, de tal categoría que la hicieran inservible y aun cuando la abonara el Seguro, no podrían reanudarse las obras, pues el plazo para disponer de otra sería incompatible con el plazo de las obras. En el estudio de las obras del Puerto de Sines en Portugal se preveía otra grúa como reserva, con un coste superior al millón de dólares.

9. PROGRAMA DE TRABAJOS

Los métodos de construcción, en este tipo de obras, están muy ligados al plazo de los mismos.

Cada vez más, los plazos son menores y los ritmos mayores, sobre todo en los nuevos puertos para instalaciones industriales, en las que el puerto es un elemento previo a su funcionamiento.

La redacción del programa está íntimamente imbricada con las fases de construcción y el posible avance en estas obras de tipo lineal, así como de los períodos previos para la ejecución de las instalaciones.

Según las circunstancias de cada una de las obras, las instalaciones a construir pueden variar en cuanto a su número e importancia.

A continuación se indica una relación de las posibles:

- Apertura de cantera.
- Caminos de acceso y carretera de unión a las obras.
- Instalación de áridos.
- Instalación de hormigonado.
- Puerto de servicio.
- Instalaciones de carga de productos a embarcaciones.
- Campamento.
- Oficinas, talleres, etc.
- Instalaciones de electricidad, agua, teléfono, etc.

Todo ello requiere un tiempo para proyectar, encargar su construcción, su montaje y la puesta a punto.

Hay que considerar además los tiempos de movilización de maquinaria.

Para determinar ya el programa real de ejecución, hay que tener en cuenta que estamos trabajando en un medio hostil, y que la determinación

de los días de trabajo posible es una probabilidad que hay que aceptar.

En algunos puertos hay datos estadísticos del estado del mar. En principio, puede apoyarse en ellos. Hay que discriminar las alturas de ola que permite trabajar a ciertos elementos y a otros no.

Para un vertido por fondo, en la zona central del núcleo, puede trabajarse hasta con olas ligeramente superiores a los dos metros. Sin embargo, para los límites y los mantos de filtros, el oleaje ha de ser más inferior.

Los rendimientos deseados nos marcan los equipos, su clase y su número, con el procedente margen de seguridad.

10. ASPECTOS IMPORTANTES A CONSIDERAR

10.1. Porcentajes de cantera, su clasificación, etc.

Es fundamental considerar los tantos por ciento de cada una de las clases de escollera que marca el proyecto.

Las escolleras de peso superior son las que dan la tónica de explotación. Según el tipo de la cantera, el tanto por ciento de piedra de esa clase se puede fijar dentro de ciertos límites y si es inferior al necesario habrá que explotar la cantera en la cantidad conveniente para obtener ese tanto por ciento y echar a vertedero los productos sobrantes.

En cuanto a su clasificación, conviene que no haya demasiados tamaños discriminados, pues se encarece notablemente la explotación.

Como ejemplo citamos la relativa a las obras del Puerto de Arzew el Jedid, en Argelia. La producción era de unas 15.000 toneladas diarias en triple turno.

Después de las voladuras, salvo las piedras mayores que se cargaban a los camiones y se transportaban directamente al puerto, lo demás se transportaba a la plataforma inferior de la cantera y allí se basculaban en cordones perpendiculares al frente.

La selección se hacía mediante ocho grúas con equipo de garras de presión hidráulica, cuatro para las piedras pequeñas y cuatro para las grandes.

Después de la selección, se cargaba el "todo uno" con palas cargadoras. Había en total seis diferentes categorías de escolleras.

10.2. Transporte en camiones.

Cuando el recorrido, entre la cantera y la obra, se ha realizado por tramos de carreteras nacionales, la limitación de las cargas por eje por un

lado y la anchura máxima impide el empleo de los dumpers especiales de gran tonelaje.

Este ha sido el caso de Barcelona, Valencia, etcétera.

Ahora bien, cuando la distancia entre cantera y obra es pequeña, como en Bilbao y Las Palmas, la tendencia es el empleo de los dumpers de 50 a 75 toneladas, porque no afecta la velocidad por un lado, que queda limitada por los neumáticos.

La velocidad de estos elementos es más bien reducida, por la limitación de la vida de los neumáticos, pero siendo la distancia corta, no es cuestión importante.

El problema se presenta cuando son distancias mayores. Hay que realizar estudios comparativos para llegar a la solución óptima.

Camiones del orden de las 25-30 toneladas con alta velocidad o mayores con reducida.

Como solución límite está el caso de Bandar Abbas, cuya cantera está a 30 kilómetros de distancia. Se disponía de un parque de dumpers de 68 toneladas Komatsu MA-680 que habían hecho el trabajo en Las Palmas y como ensayo se han utilizado con remolques RD-800, de 90 toneladas, con lo que cada camión con su remolque lleva 158 toneladas.

La velocidad real es ligeramente superior a 20 kilómetros por hora y la carretera construida expresamente de 20 metros de anchura.

En Arzew, con 25 kilómetros de carretera exclusiva para las obras, se han empleado camiones de 25-30 toneladas con velocidades del orden de 70 kilómetros por hora.

El estudio del ciclo, carga, transporte y descarga, relacionado con los ritmos de producción, nos dará el número de unidades al que añadir la reserva por reparaciones. El tiempo de transporte de ida y vuelta es más difícil de estudiar cuando se atraviesa ciudades o núcleos urbanos. El único sistema es el muestreo, tanto de día como de noche.

10.3. Características del núcleo.

Cumple dos funciones, siendo parte central del dique, es el soporte del mismo que no está sometido a oleaje directamente y, por otro lado, debe impedir que la agitación exterior se transmita al interior del puerto.

Es decir, es conveniente que tenga la máxima compacidad posible.

Esto lo cumple en general el "todo uno" de

cantera, es decir, el material tal como se explota en la misma.

En esto hay gran disparidad en los Pliegos de Condiciones. En algunos no existe limitación. En otros, las hay por encima o por debajo, absoluta o en determinados porcentajes.

Las limitaciones complica de forma sustancial el ritmo de producción de cantera.

Con los sistemas constructivos racionales, el núcleo se vierte con gánguiles a profundidades del orden de los cinco metros en una primera fase. Si estamos en un perfil de verano, a esta cota las pérdidas de material por los oleajes son mínimas. Con un vertido en segunda fase, ya más próximo al vertido directo de los camiones, el tiempo en que está desprotegido es reducido. En el caso de perfil de invierno, la segunda fase debe de ser de un "todo uno", más elegido en las zonas de cantera, así como lo que se vierte directamente de los camiones.

En lo relativo a su forma de abono debe de ser por tonelada, por las siguientes razones:

Hay indeterminaciones —en los fenómenos de penetración en el fondo— socavaciones delante del avance, sobre todo en profundidades reducidas— ciertas cantidades arrastradas fuera de perfil por los temporales —asientos de "forma" a medida que van aumentando las cargas por las capas sucesivas.

Determinar la densidad resultante, como consecuencia de las incidencias anteriores es una cuestión de probabilidad, que no debe de ser a cargo de la empresa constructora.

10.4. Paralización de las obras en invierno.

En algunas obras, en donde las condiciones del mar en los meses de invierno son extremadamente duras, casi la única solución es no trabajar en el avance durante esos meses. Ahora bien, es imprescindible en ese caso la construcción previa de un morro provisional que en parte habrá que desmontar o demoler parcialmente, al reanudarse los trabajos. Esto lleva aparejado un aumento de coste por paralización de hombres y equipos, pero es la única solución.

A veces, el problema no está tan claro, entre la paralización y tener que trabajar en condiciones precarias y con rendimientos reducidos por los días de trabajo posibles, y por otro, por los daños que puedan producir los temporales.

No se puede dar a esto una solución a priori, es un tema importante que depende además del plazo impuesto o deseado por el propietario y es él quien debe de correr con el riesgo.

CONSTRUCCION DE OBRAS DE ABRIGO EN LOS PUERTOS

10.5. Precisión en los vertidos marítimos.

Hay ocasiones en que fijar las situaciones de los gánguiles de vertido no es fácil, por los procedimientos convencionales. Hoy día está desarrollada la técnica de situación electrónica. Hay varios sistemas. Uno de ellos es el SEA-FIX de Decca Survey. Para el dragado del Puerto de La Coruña, con una draga de succión en marcha, se empleó con éxito.

Mediante la instalación de tres emisoras en tierra, con la disposición hiperbólica, se proporciona un servicio simultáneo, de alta precisión del orden ± 1 metro, a un número ilimitado de embarcaciones.

Conocer al día la situación en que se encuentra la obra en su parte sumergidos, es uno de los objetivos de la dirección de la misma, para la correcta ejecución.

10.6. Ritmos posibles de trabajo y sus limitaciones.

Los mantos exteriores de los diques en talud suelen ser de elementos de hormigón. Problema que se presenta en algunas ocasiones, es la falta de superficie para los talleres de fabricación y acopio. No suele existir en los nuevos puertos, que se construyen para instalaciones industriales, pero sí en las prolongaciones de diques, en puertos tradicionales. Este ha sido el caso de Barcelona y Valencia.

Se ha resuelto construyendo los talleres, en el avance de la misma obra. En Valencia se fabricaba 12 bloques diarios de 70 toneladas. La grúa Titán los colocaba directamente en el manto, luego de un cierto tiempo de curado. Este procedimiento ha sido elegido porque el plazo de las obras era el adecuado con estas producciones, pero hubiera sido difícil aumentar el ritmo.

En el Puerto de San Ciprián (Lugo), las producciones necesarias han sido muy altas.

El manto está constituido por dolos de 50 toneladas. Se preveían fabricar 1.400 unidades al mes, del orden de 70 diarias. Se ha cumplido el programa, habiéndose llegado algunos días a una producción de 110 unidades.

Para lograr esta producción se han constituido dos instalaciones circulares de fabricación, y en

la hormigonera, con inyección de vapor, se calentaba el hormigón a unos 60°, con lo que se ha conseguido poder desencofrar y llevarse el dolo al parque de acopio, al cabo de unas cinco horas.

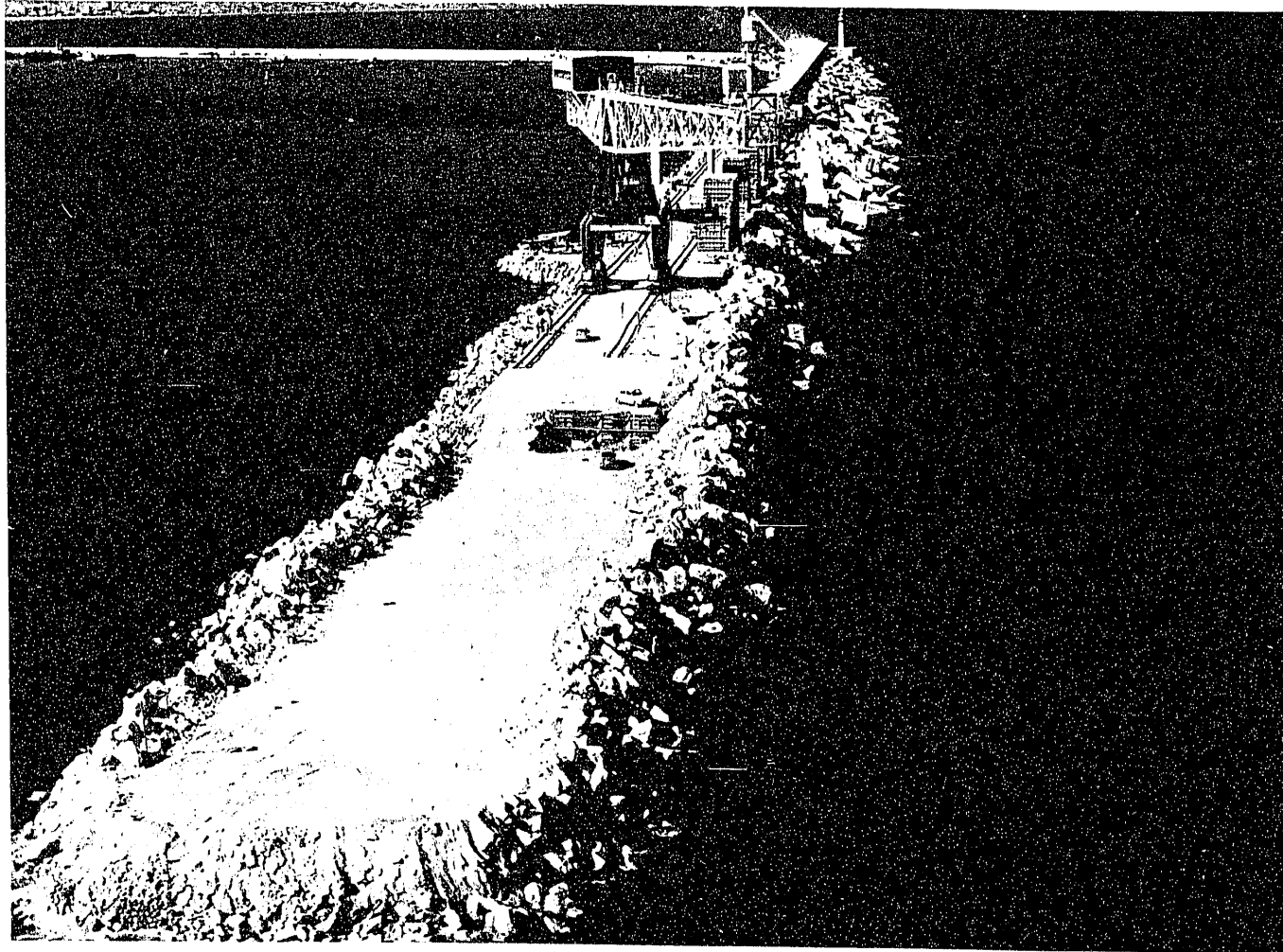
11. ALGUNOS DATOS DE INTERES

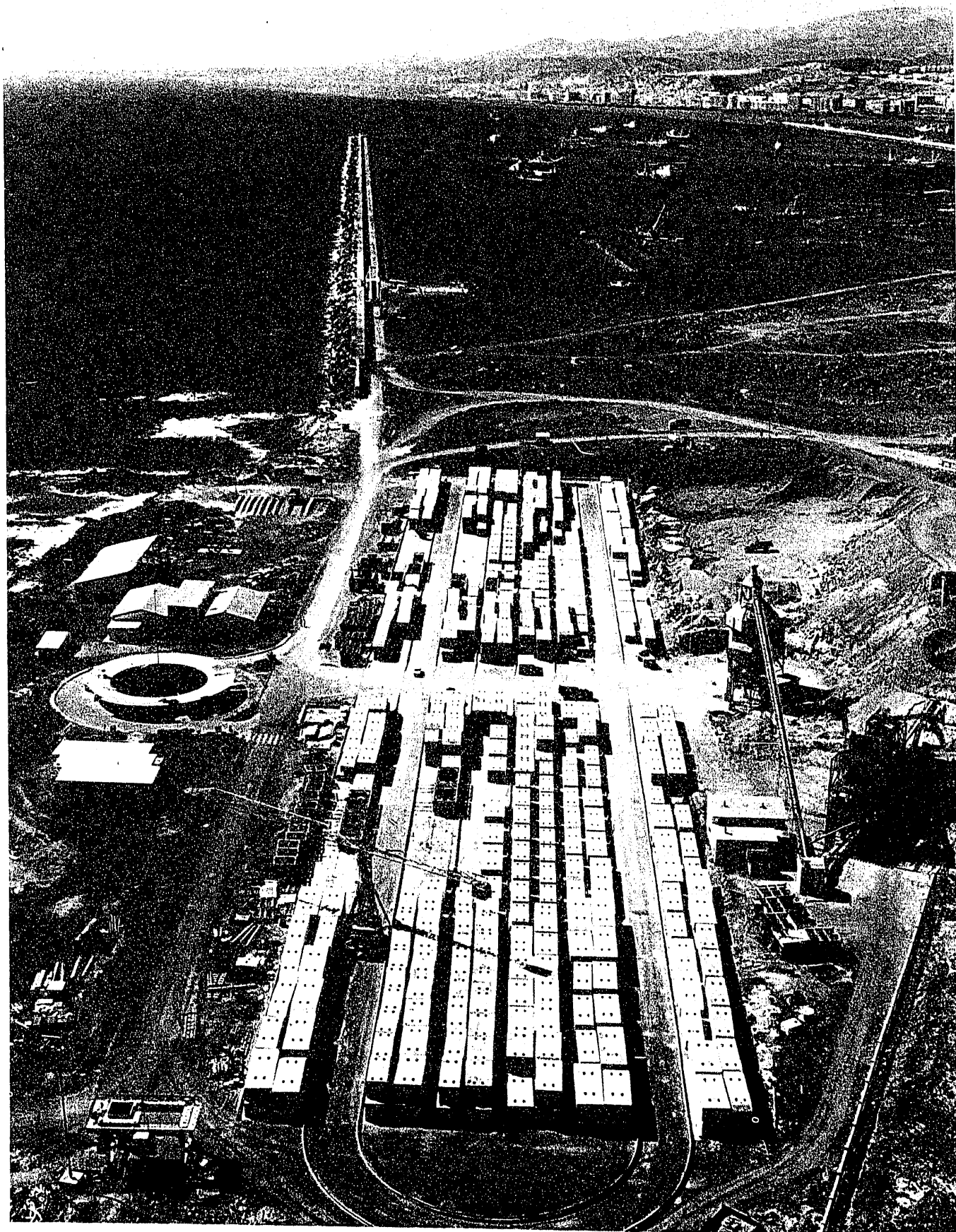
Cantidades de escolleras y hormigón en algunas obras.

	Escolleras (miles Tm)	Hormigón (miles m ³)
Prolongación dique Este y nuevo contradique en Barcelona	3.215	223
Dársena pesquera en Tenerife	2.387	62
Dárseña pesquera (rellenos de cantera)	3.800	—
Ampliación dique muelle Este en Tenerife	3.763	464
Dársena exterior en Las Palmas	10.350	255
Dique sumergido (prolongación dique Este) en Barcelona	1.535	—
Dique de abrigo en Valencia	3.730	235
Prolongación dique en Las Palmas	10.030	130
Terminación dique Este en Barcelona	1.234	187
Dique de abrigo en el Abra en Bilbao	13.000	570
Puerto de San Ciprián (Lugo)	6.024	600

Las puntas en la producción mensual de toneladas de escolleras fueron:

En el conjunto de las obras de Tenerife.	480.000
En la dársena exterior de Las Palmas.	532.000
En la prolongación de las obras anteriores (segundo período)	1.025.000
En el dique de abrigo del Abra	810.000
En las obras de San Ciprián (Lugo).	797.000





CONSTRUCCION DE OBRAS DE ABRIGO EN LOS PUERTOS

