

INGENIERÍA MARÍTIMA ROMANA A COMIENZOS DE NUESTRA ERA

José Manuel de la Peña Olivas.

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

*Jefe de la División de Estudios Litorales del Centro de Estudios de Puertos y Costas.
CEDEX-MOPTMA.*

Juan Manuel Prada Espada.

Ingeniero Técnico de Obras Públicas.

Centro de Estudios de Puertos y Costas. CEDEX-MOPTMA.

Carlos Redondo Morejón (dibujos)

RESUMEN

Este artículo pretende aglutinar de forma coherente la fragmentada, escasa e incompleta información disponible en la actualidad del nivel de conocimiento alcanzado por los ingenieros romanos sobre el mar y las técnicas portuarias, al comienzo de nuestra era cristiana.

También, y desde la concepción de la moderna Ingeniería Marítima, se realiza en él un análisis pormenorizado de esa información, para extrapolar de ella los avances técnicos alcanzados por la ingeniería civil portuaria de Roma.

ABSTRACT

This article aims to give coherent form to the fragmentary, scant and incomplete information that has come down to us about the skill of early Roman engineers in maritime and harbour techniques at the beginning of the Christian era.

From the standpoint of present day marine engineering, this information is analyzed in detail to work out the technical level attained by early Roman harbour engineers.

1. INTRODUCCIÓN

La excusa para escribir sobre este tema, además de nuestra afición por conocer la evolución de las estructuras marítimas y sus formas constructivas a través de la historia, es la escasez de este tipo de estudios que conjuguen la historia y la técnica. Esta ausencia está motivada por la exigua colaboración existente entre el arqueólogo, el historiador y el ingeniero a la hora de estudiar un hecho histórico. Desgraciadamente esta falta de información nos ha conducido al desconocimiento de la herencia legada por nuestros antecesores,

los ingenieros civiles romanos, creyendo así que nuestros logros jamás fueron alcanzados por ninguna cultura anterior.

Desde la humildad nos podríamos plantear una serie de preguntas:

¿Cuáles fueron los conocimientos técnicos de los ingenieros civiles romanos que se dedicaron a las obras portuarias? Aquellos que les permitieron evolucionar puertos como el de Ostia, remodelar otros ya existentes como el de la conquistada Cartago, construirlos donde no los había empleando técnicas avanzadas de cajones flotantes como el de Cesárea Marítima.

Se admiten
comentarios a este
artículo, que deberán
ser remitidos a la
Redacción de la ROP
antes del 30 de
abril de 1996.

Recibido en ROP:
diciembre de 1995

¿Qué conocimientos geotécnicos poseían?, ¿qué tipos de estructuras dominaban?, ¿cómo las cimentaban y las construían?

¿Qué dominio tenían de la topografía?, ¿con qué aparatos topográficos contaban?, ¿qué cartografía realizaban con ellos? ¿Hacían proyectos sobre la viabilidad de las obras portuarias? y una vez comprobada esta, ¿realizaban los proyectos definitivos para su construcción racional?

¿Qué conocimiento del mar tenían los ingenieros portuarios? ¿Tenían nociones del clima marino; sabían de las mareas, conocían de las olas, de las corrientes y del viento? ¿Apreciaban la importancia de estos fenómenos en la construcción y posterior funcionamiento de las obras en la costa?

En este artículo intentaremos responder a esas preguntas utilizando como fuentes de información las obras de autores clásicos, la documentación arqueológica, el análisis de una extensa bibliografía y nuestros estudios sobre el tema.

2. CONOCIMIENTOS TÉCNICOS DE LOS INGENIEROS ROMANOS

Cuando alguien trata de leer publicaciones históricas dedicadas a describir las técnicas utilizadas por la ingeniería portuaria romana, se encuentra que la mayoría de los trabajos históricos dedicados a esa época ni tan siquiera las mencionan. Si aparecen referencias de una obra concreta, se hacen desde ópticas diferentes tales como la simple descripción de la ruina, el interés en conservarla o la importancia que tuvo en su época para el desarrollo de su zona geográfica de influencia, pero rara vez desde el análisis técnico de sus estructuras y de las formas constructivas empleadas en ellas.

Es corriente ver escrito en traducciones de los clásicos, muelle al referirse a un dique (Herodoto), espolones en vez de pilotes (Vitruvio), murallas por espaldones (Flavio Josefo). Incluso en las interpretaciones arqueológicas de los dibujos o los grabados de objetos se yerra, pudiendo confundir una sección de un pantalán con un altar.

Buscando hasta la más pequeña referencia técnica en autores clásicos como Vitruvio, Estrabón, Mela, Herodoto, Polibio, Quinto C. Rufo, Flavio Josefo, etc. y estudiando la documentación arqueológica disponible, podemos decir que los ingenieros romanos dedicados a las obras civiles dominaban la construcción de cualquier tipo de

estructura y los conocimientos técnicos relacionados con ella.

Es de destacar que los que se dedicaban a las obras marítimas y portuarias conocían ampliamente su oficio. Distinguían claramente entre un simple fondeadero y un puerto, natural o artificial, exigiendo al puerto una serie de servicios básicos tal y como hoy en día se hace (Polibio X-1, Vitruvio V-13). Sabían, de acuerdo con el hacer de su tiempo, que la condición mínima que debía tener una zona de costa para construir en ella un puerto artificial era la existencia de una *playa apropiada* insuficientemente protegida del oleaje (Vitruvio V-13).

Estos ingenieros entendían que la disposición en planta de un puerto se configuraba con una playa en la que a un lado de ella, o generalizando el concepto, a ambos, se disponían el o los diques exteriores que proporcionasen el suficiente espacio de aguas abrigadas a los barcos. Sabían también que tipo de obras auxiliares; almacenes (*horreas*), pórticos, atarazanas, y estradas, debía tener todo puerto, natural o artificial (Vitruvio V-13).

Los ingenieros portuarios conocían la necesidad de realizar estudios técnicos para determinar racionalmente el lugar de la costa más adecuado para ubicar el puerto, y decidir, entre los diferentes tipos de estructuras marítimas, la que se debía construir. Estos trabajos previos consistían en estudios sobre el clima marino de la zona a fin de determinar la disposición en planta del puerto y la de sus obras exteriores, posibilitando así, entre otros condicionantes, el máximo aprovechamiento de los vientos en su bocana (Flavio Josefo I-16) y el tipo de estructura de defensa que se emplearía en la construcción del dique (Vitruvio V-13).

También hacían estudios geotécnicos sobre la naturaleza de los fondos, bien mediante sondas (Herodoto II-5) o utilizando *urinadores*¹ para que tomasen muestras del lecho marino. Con ellas podían conocer su calidad y capacidad portante y en función de ellas, además de fijar el emplazamiento de la obra, elegir el tipo de cimentación. Estos trabajos permitían saber, si la calidad de los fondos era mala, el tipo de saneamiento a realizar en el lecho marino para encontrar el firme y determinar así la cantidad de material a dragar hasta alcanzarlo, e incluso, en función del tipo de cimentación, que longitud de tablestaca se tendría que hincar en el fondo para conseguir un recinto estable (Vitruvio III-4 y V-13).

Los ingenieros romanos conocían la importancia de una buena comunicación terrestre entre el puerto, la ciudad y su zona de influencia (Vitruvio



Figura 1.

V-13)². Habitualmente los puertos estaban en las proximidades de las ciudades, pero en aquellos casos en los que estaban aislados de los centros urbanos, a su alrededor se construía una muralla con el doble objetivo de servir de control comercial-aduanero y de defensa frente a agresiones externas (Flavio Josefo I-16).

Estos técnicos dominaron diferentes formas constructivas para un mismo tipo de estructura en función del material disponible en obra, de las solicitudes del oleaje y de la capacidad portante de los fondos (Vitruvio V-13). También fueron capaces de definir el mejor proyecto para la construcción de una determinada estructura, en el que fijaban sus fases en función de la forma constructiva elegida para la realización del dique.

La ingeniería civil romana y sobre todo la rama que se dedicó a las obras en el mar, experimentó un gran avance respecto de los logros alcanzados en este campo por otras culturas del Mediterráneo cuando descubrió la forma de fabricar morteros y hormigones hidráulicos utilizando tierra de las regiones de Cumas y de Bayas³ compuestas por polvo puzolánico y conocida en su tiempo por *carbúnculo*.

3. EVOLUCIÓN DEL PUERTO

En un principio se utilizaron puertos naturales donde la playa servía para varar, reparar e incluso construir barcos. Las operaciones de carga y descarga se hacían mediante embarcaciones auxiliares de fondo plano mientras los navíos estaban atracados en la zona de aguas abrigadas. Al aumentar el volumen de explotación de los puertos se construyeron alrededor de la playa los almacenes, las atarazanas, las estradas y demás dependencias portuarias.

Llegó un momento en que la demanda de una mayor superficie de agua abrigada obligó a ampliar los puertos naturales mediante diques y a construir puertos artificiales.

Al principio las estructuras de defensa solo fueron disipantes del oleaje, pero pronto se descubrió que adosando a la obra ya realizada una explanada o, mejor aun, construyendo directamente diques más anchos, su trasdós facilitaba las operaciones de carga y descarga de las mercancías e incluso, si llegaban a hacerlos suficientemente anchos, como el de Cesárea Marítima, se podía emplear parte de esa superficie como zona de almacenes.

4. DIQUES, SUS TIPOS

Los ingenieros portuarios conocieron diferentes tipos de estructuras de defensa. Vitruvio (V-13) hace una clasificación de las que se utilizaban en su tiempo y que él definía por los materiales que se empleaban en su construcción:

▼ A) Las estructuras compuestas "*de mampostería*" eran diques verticales. Este tipo de estructuras era ambivalente, se empleaban tanto para defender el puerto de los temporales como de muelle para el atraque de los barcos.

▼ B) Las estructuras formadas "*de escolleras*" eran diques en talud. Este tipo de dique fue construido en diferentes épocas por distintas culturas mediterráneas.

▼ C) Las estructuras constituidas "*de espolones*" eran obras sobre pilotes. Las estructuras marítimas pilotadas se utilizaron sobre todo como muelles y como soporte de las estatuas que se erigían en los puertos y rara vez como obras de defensa aligeradas.

Después de morir Vitruvio se extendió el uso de una estructura *aligerada de arcadas* sustentadas sobre pilas de piedra. El ejemplo más célebre y clásico de este tipo de obra está representado en la famosa pintura mural encontrada en Stabia, cerca de Pompeya, que reproduce el puerto de Puteoli, figura 1, en la que, aparte de verse el dique exterior vertical aligerado de arcadas, se puede observar al fondo del puerto un pantalán pilotado con un peine de tres pilotes.

La forma utilizada en la construcción de diques para medianos y grandes calados define los *diques combinados* como otro tipo de estructuras de defensa. Por exigencias mecánicas, en estas obras la estructura vertical podían alcanzar una profundidad máxima de 6 ó 7 metros, descansando siempre sobre una cama o banqueta de escollera. Al aumentar el calado según avanzaba su construcción, la banqueta de regularización se transformaba poco a poco en un dique de escollera en talud sumergido a esa profundidad.

Frecuentemente y tanto para medianos como para grandes calados, terminada la parte vertical, se le adosaba un escollerado en lado hacia el mar, obligando a la estructura a trabajar como un dique de escollera en talud. Uno de los ejemplos más significativos de dique combinado se encuentra en el puerto de Cesárea Marítima, figuras 2 y 3.

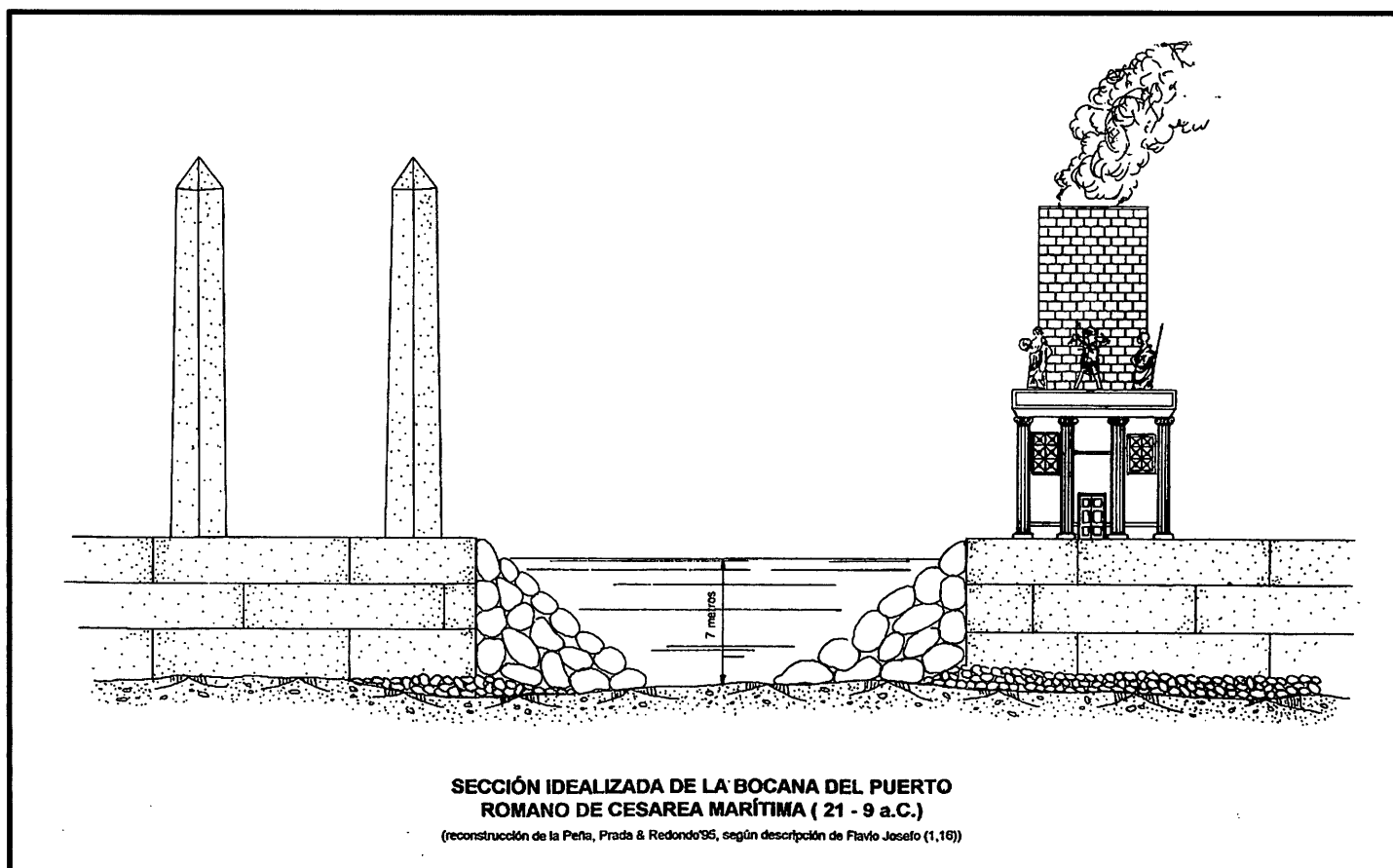


Figura 2.

5. CIMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE DIQUES

Como hemos dicho anteriormente los ingenieros portuarios hacían estudios geotécnicos sobre la naturaleza de los fondos para determinar su calidad y en función de ella fijar el emplazamiento de la obra y elegir el tipo de cimentación a emplear (Vitruvio V-13).

Cuando la calidad del fondo era buena y la agitación del mar lo permitía, cimentaban las estructuras limpiando las capas superficiales, y hormigonaban directamente encima de la zona saneada, figuras 4 (B y C). También utilizaban el vertido de escollera para regularizar el lecho marino. Cuando los calados eran grandes empleaban esta técnica de cimentación, formando verdaderos diques de escollera sumergidos con su cota de coronación en torno a los 6 o 7 metros de profundidad, figura 2.

Si los fondos eran arenosos, construían una zanja corrida hasta alcanzar el firme y le daban una anchura superior a la del muro que iba a soportar (Vitruvio V-13), normalmente el doble de

su grosor, figura 8. Ampliando este concepto de cimentación expuesto por Vitruvio, suponemos que de no alcanzar el firme se podría realizar un vaciado dos veces más ancho que el dique y con una profundidad de al menos medio paso (74 cm.), siempre que la calidad del terreno lo permitiese.

Para mejorar la capacidad portante de los terrenos poco cohesivos, escribe Vitruvio en el capítulo 4 del libro nº III de su tratado: *"Pero en el caso de que no se encontrase terreno firme, por ser el suelo de tierras de acarreo o movedizas hasta muy hondo, o pantanosas, entonces se cavará y ahondará la zanja hasta un cierto límite y se hará una estacada con cuartones chamuscados de álamo negrillo, de olivo o encina, cuidando de que los maderos de esta armazón queden tan compactados como sea posible con ayuda de máquinas, y que los espacios que resulten entre los cuartones se rellenen con carbón."* En este párrafo, además de describir la técnica que se empleaba para mejorar la capacidad portante de los fondos constituidos por fangos, el arquitecto romano nos dice que se utilizaba maquinaria de construcción espe-

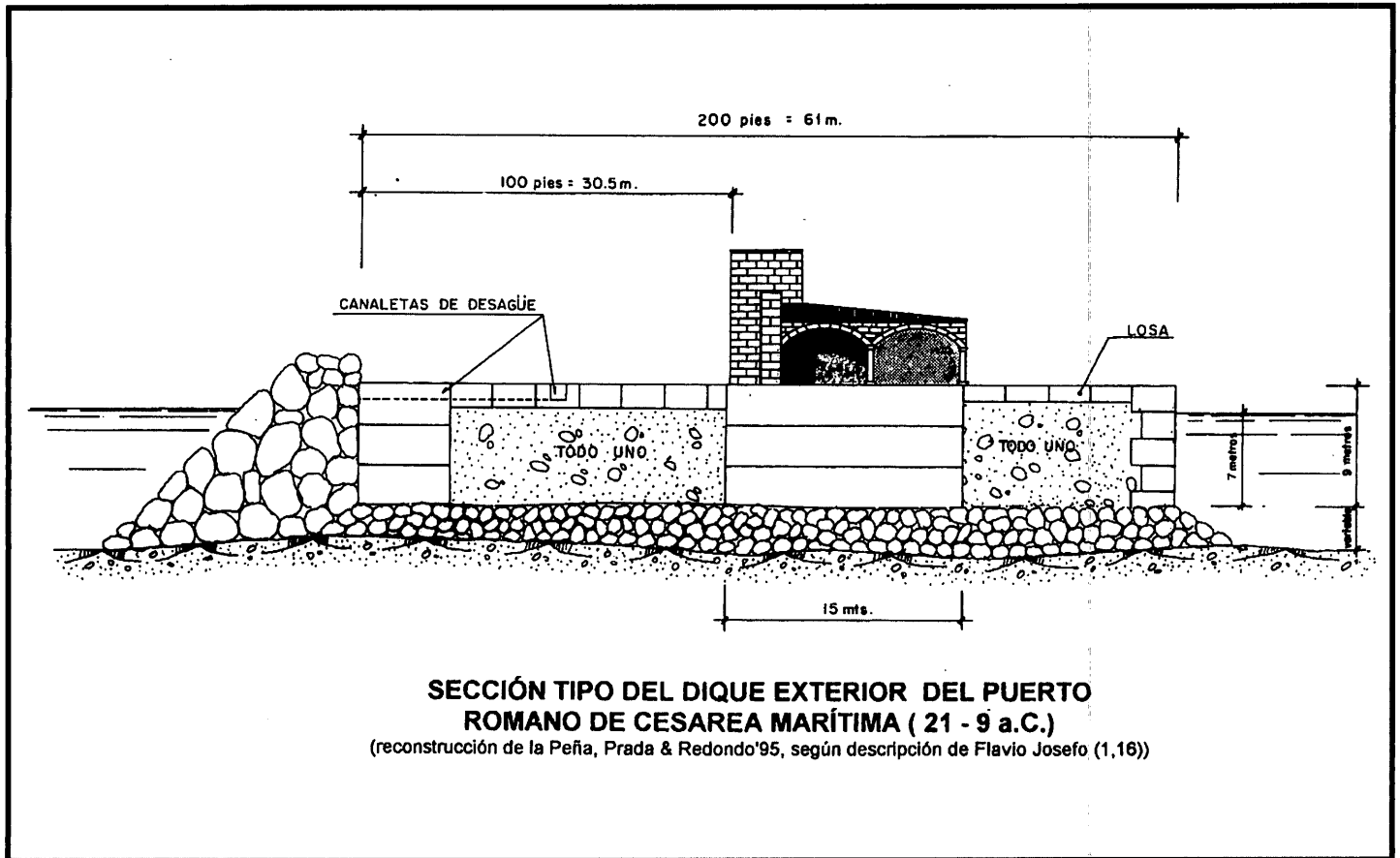


Figura 3.

cífica en estas obras, tanto de hincas de pilotes como de compactación del terreno.

De todas las formas constructivas de diques empleadas por los ingenieros romanos cuya utilización estaba en función de la capacidad portante del terreno, del clima marino y del tipo de materiales disponibles para realizar la obra, podemos enumerar las que conocemos a través de Vitruvio (V-13):

▼ a) Dique vertical de hormigón en masa:

Los condicionantes que tenían en cuenta los ingenieros romanos para decidir la construcción de este tipo de estructura marítima eran los siguientes: existencia de una playa apropiada, calidad de los fondos aceptable, posibilidad de utilizar en obra el polvo de Puzol y solicitaciones del oleaje de pequeña entidad.

La construcción comenzaba con la hincas de un recinto de tablestacas de madera de roble que se clavaban una a una, hasta penetrar sólidamente en el fondo. El recinto tenía las esquinas reforzadas por piezas en forma de L, de hierro o bronce, para evitar dañarlas al rigidizar el conjunto me-

dante unas cadenas que se colocaban alrededor de su perímetro y que eran traccionadas por tensores, figura 4 (A).

Rigidizado el recinto de tablestacas, cuando la capacidad portante del fondo era óptima, se procedía a sanear sus capas superficiales dragando al mismo tiempo que se realizaba el perfilado de la cimentación, o bien, mediante esta misma técnica, cuando la calidad de la primera capa del lecho marino no era del todo aceptable, se alcanzaba el firme próximo dejando un vaciado de cimentación más profundo.

El dragado del fondo se realizaba con dragas manuales iguales a las que se han utilizado, sin grandes variaciones técnicas, hasta principios del siglo pasado, figura 4 (B).

Una vez saneado el fondo y concluido el perfilado de la cimentación, se procedía a hormigonar bajo el agua, llenando el recinto de tablestacas con el conglomerado hidráulico, figura 4 (C).

Transcurrido el tiempo de fraguado, se desencofraba retirando las tablestacas y se procedía a un nuevo avance de la obra, repitiendo todos los pasos descritos.

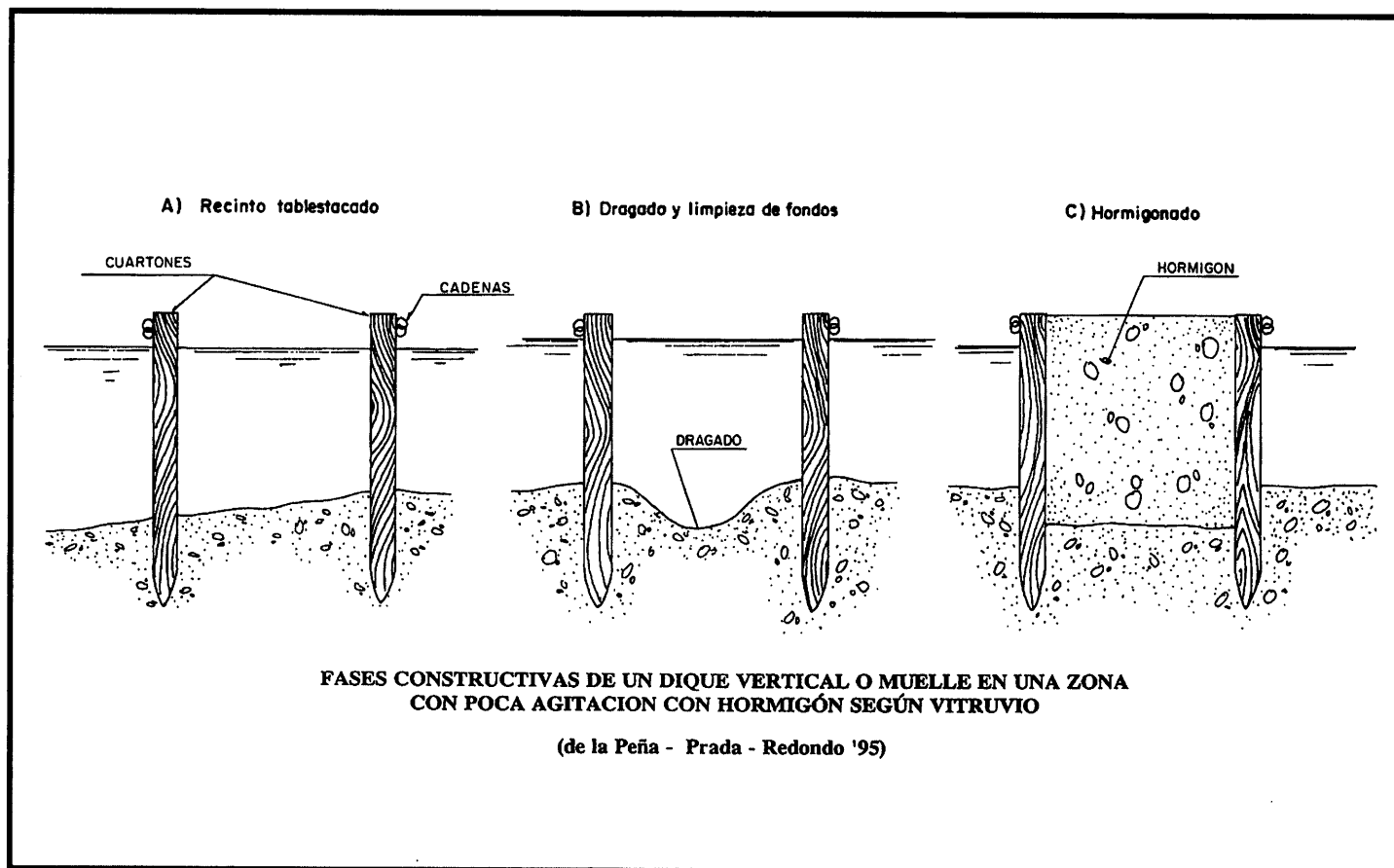


Figura 4.

Finalizada en toda su extensión la estructura, se solía coronar el dique con un cabecero realizado mediante muros perimetrales de ladrillo o sillaría en los que se colocaban los dispositivos de amarre; doctyliums y argollas. El hueco dejado entre ellos se rellenaba de "todo uno" y sobre este material disgregado, compactándolo, se construía una calzada. Otras veces este remate se hacía con un enlosado colocado sobre el material de relleno, figura 5.

La anchura de este tipo de estructura, cuya utilización como dique vertical o como muelle dependía de la finalidad perseguida a la hora de construirla, solía ser como mínimo de unos 21 pies = 7 varas = 6 metros.

▼ b) Dique vertical de bloques de hormigón:

La construcción de este tipo de estructura marítima se decidía cuando las condiciones de partida eran las siguientes: existencia de una playa apropiada, calidad de los fondos aceptable, pequeños y medianos calados, posibilidad de utilizar en obra el polvo de Puzol, solicitudes de fuerte

oleaje o cuando la obra se iba a asentar en mar abierto.

Se arrancaba desde tierra vertiendo un primer tramo de banquetta de escollera de regularización, siguiendo el talud natural del terreno si este no era muy escarpado, o con un nuevo talud más suave si el natural tenía mucha pendiente. La banquetta se prolongaba hasta alcanzar una profundidad máxima en su coronación de 2,5 metros, dependiendo esa cota del tamaño del bloque que se colocaría encima de ella, figura 6 (A)⁴.

Se continuaba con el vertido de escollera, siempre a esa cota, hasta que el calado permitía realizar un escalón, ganando así profundidad para colocar dos bloques sobre ella, figura 8 (B).

Una vez construida la banquetta de asiento, en su perímetro se hincaba un recinto de tablestacas contrapeadas de pie y medio de espesor (46 centímetros), y con una longitud de acuerdo al número de bloques que se fueran a hormigonar "in situ". Las cabezas de las tablestacas alcanzarían un nivel superior al del mar. El interior del recinto se rellenaba de arena limpia, de playa o de río, y se enrasaba al nivel de las cabezas de las tablesta-

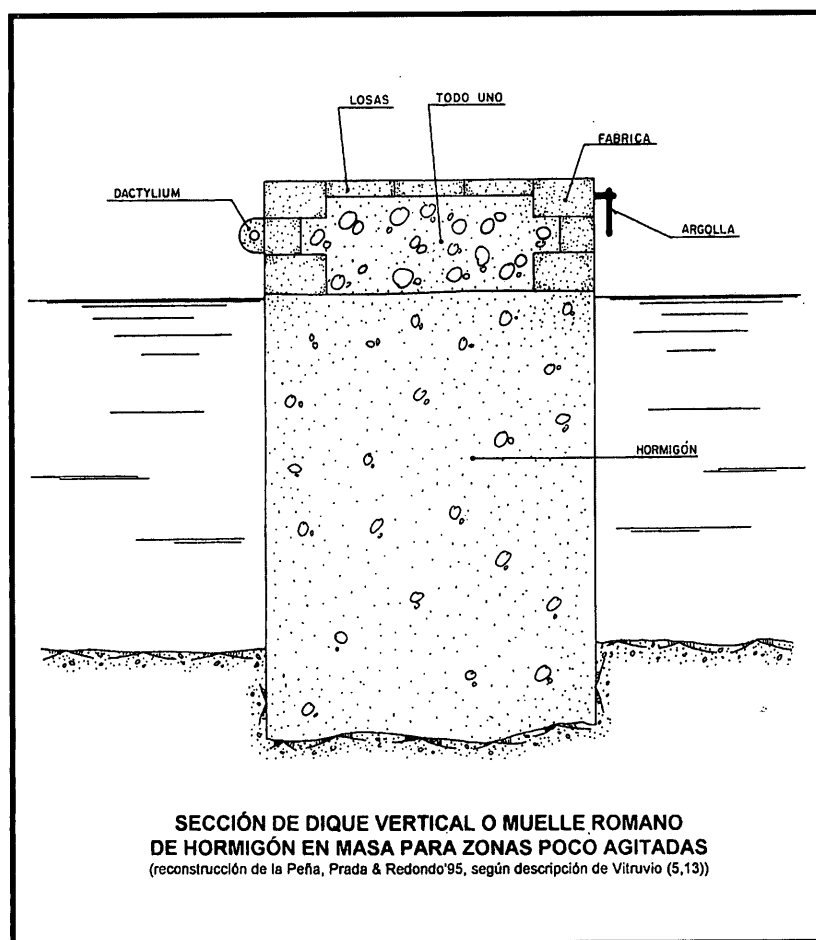


Figura 5.

cas. Sobre esta plataforma de arena se construían los encofrados de madera para el hormigonado de los bloques.

El tamaño de los bloques así hormigonados podía alcanzar un máximo de 15 metros de longitud y 3 metros de alto y de ancho. Es lógico suponer que la máxima longitud de estos bloques vendría dada por la experiencia que los ingenieros romanos tendrían sobre las consecuencias de sobredimensionarlos, pues sabrían que en función de dilatación del hormigón que empleaban, de la esbeltez de la pieza y del propio peso, aparecerían fracturas de tal importancia que darían en ruina la obra.

Fraguados los bloques y desmontado el encofrado, se abrían a ambos lados del recinto de tablestacas unas zapas, previamente construidas, por las que la arena fluía hacia el lecho marino bajo la presión del peso de los bloques y por la socavación producida por el agua del mar, permitiendo que los bloques se asentasen lentamente en su emplazamiento sobre la banqueta de escollera, figura 6 (C).

En la zona que llevaba dos bloques, profundidades de hasta 5 metros, una vez situado el primero de ellos sobre la escollera, se reparaban las zapas del recinto y se volvían a repetir el método.

A medida que el calado aumentaba la banqueta se transformaba en un verdadero dique sumergido de escollera en talud ya que con esta estructura se podían alcanzar grandes profundidades. Cuando la obra alcanzaba calados grandes, se abandonaba la forma constructiva anterior y se continuaba la estructura utilizando otro método. Consistía este en aumentar la profundidad de la cota de coronación de la banqueta de regularización hasta los 6 o 7 metros de profundidad⁵.

Para hormigonar los bloques que constituían la estructura vertical, se fondeaban cajones de madera sobre el dique sumergido, utilizándolos como encofrado perdido, figura nº 6 (D). El ejemplo más importante de esta forma constructiva para grandes calados se encuentra en el puerto de Cesárea Marítima, figura 2.

Esta técnica se podía emplear también sobre fondos regularizados cuando la profundidad se mantenía más o menos uniforme entorno a los 6 ó 7 metros.

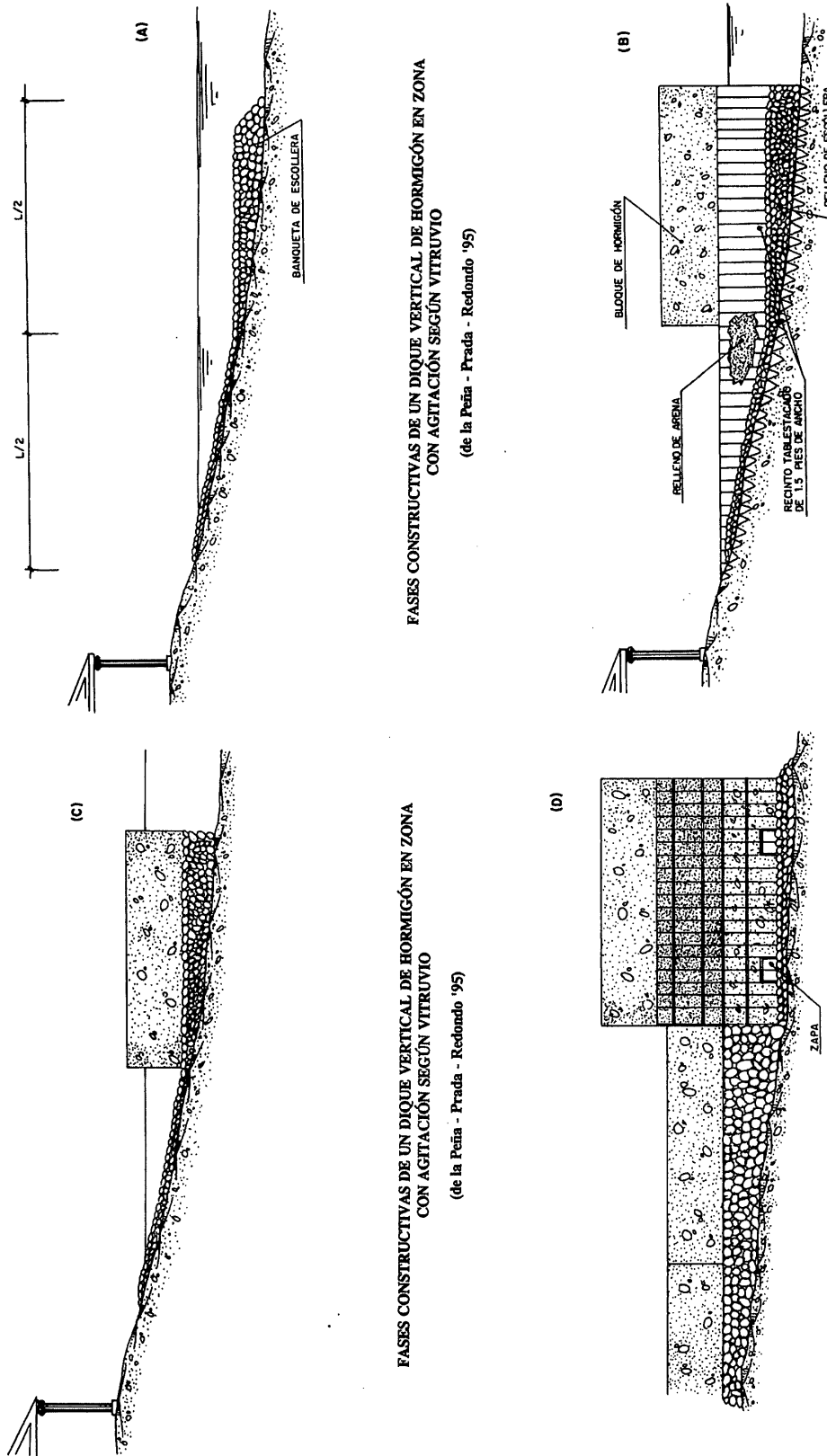
▼ c) Dique vertical de paredes de sillería:

Se decidía la construcción de este tipo de estructuras marítimas cuando se presentaban las siguientes condiciones: existencia de una playa apropiada, calidad de los fondos de buena a mala, pequeñas a medianas profundidades, sin posibilidad de utilizar el polvo de Puzol en obra, solicitudes de fuerte oleaje o cuando la obra se iba a asentar en mar abierto.

La obra partía de tierra creando ataguías de entibaciones dobles, similares a las empleadas por los ingenieros romanos en la cimentación de grandes puentes. Las ataguías, figura 7, estaban constituidas por dos entibaciones de cuarterones verticales de roble hincados en el lecho marino, distantes entre sí al menos un paso (1,478 metros). En la parte superior de la cara que quedaba expuesta al mar se disponían dos cuarterones horizontales en doble vía para que entre ellos se alojasen las cadenas que rigidizaban el conjunto.

Para que el recinto una vez desecado aguantara la presión hidrostática, en la parte superior de la cara que quedaba en seco se colocaba una sola vía de cuarterones horizontales para arriostrarla con contrafuertes. Ambas entibaciones, la exterior y la interior, se unían superiormente clavando cada cierta distancia cuarterones transversales para so-

Figura 6.



cierta distancia cuartones transversales para soportar los esfuerzos horizontales.

Entre las dos entibaciones se colocaban sacos de enea llenos de arcilla que una vez compactados dejaban el recinto aislado e impermeabilizado.

La siguiente operación, el achique del agua del interior de la ataguía, se hacía básicamente con tornillos de Arquímedes o cocleas. Artilugios a los que se les adosaba tambores en su parte superior e inferior, con la doble finalidad de mejorar la captación del agua y de facilitar el giro del tornillo. También utilizaban ruedas de cangilones pero estas máquinas daban un menor rendimiento de achique.

Desecado el recinto defendido por la ataguía, se aseguraban los contrafuertes en la entibación interior y comenzaban los trabajos de cimentación.

Para buenas capacidades portantes del terreno estos trabajos consistían en la excavación de dos zanjas corridas de una anchura superior al muro que iban a soportar, normalmente el doble de su grosor, tal y como dijimos al hablar de los tipos de cimentación, figura 8. A continuación se rellenaba las zanjas con mampostería de piedra ligada con mortero de cal y arena, hasta enrasar con el terreno natural.

Para terrenos con calidad media se realizaba un vaciado dos veces más ancho que el grosor del dique y con una profundidad de al menos medio paso (74 cm.), que se rellenaba del mismo tipo de mortero de cal.

Cuando no resultaba factible realizar un saneamiento de los fondos debido a la presencia de estratos constituidos por terrenos poco cohesivos, se creaba un campo de micropilotes de maderas resistentes al agua y a las corrosiones⁶, utilizando la técnica del chamuscado de las puntas para facilitar su penetración en el lecho marino, figura 9.

Concluida esta fase se procedía a retacar con carbón los huecos existentes entre las cabezas de los micropilotes, figura 9, extendiéndose este relleno a los límites de la ataguía para evitar en lo posible la erosión en el pie del dique-muelle que pudiera producirse al poner la obra en servicio.

Rematada la cimentación por cualquiera de los métodos descritos, se construían sobre ella los muros perimetrales de la estructura utilizando el aparejo de sillería encadenada. Los sillares tenían la mayor longitud posible para reducir al máximo el número de juntas y dar así una buena estabilidad a los muros que formaban la parte exterior de la estructura, colocándose en su parte superior los

dispositivos de amarre; doctyliums y argollas. El espacio vacío existente dentro de la misma se rellenaba con "todo uno" apisonado y la obra se remataba en su parte superior haciendo un camino de rodadura, utilizando losas, embutiendo piedras, etc., figuras 8 y 9.

6. ELEMENTOS TOPOGRÁFICOS Y CARTOGRÁFICOS AUXILIARES

Nos preguntábamos al principio de este artículo sobre los conocimientos que de topografía y cartografía se tenían a comienzos del Imperio, sobre el tipo de aparatos de medida que se usaron y sobre la variedad de mapas y planos que se utilizaron entonces. Planteábamos también cuestiones sobre la posibilidad de que los ingenieros civiles realizasen estudios sobre la viabilidad de las obras terrestres y marítimas, así como proyectos definitivos para su construcción racional. Respuestas cercanas a lo que debió acontecer en esa época las podemos obtener analizando los escasos documentos y citas que aparecen en las fuentes de uso común a cualquier estudio histórico.

Sabemos que antes del comienzo de nuestra era cristiana diversas culturas ya conocieron la técnica de representar sobre una superficie la situación de ciudades, vías de comunicación, accidentes geográficos y costeros, mediante el grabado o el dibujo, en ella, de mapas y planos.

Unas tabletas de terracota que reproducen algunas ciudades de Mesopotamia, Susa y Babilonia, junto con las áreas agrícolas adyacentes, son los mapas más antiguos que han llegado hasta nuestros días.

Estas representaciones geográficas fueron muy utilizadas en Egipto, sobre todo de aquellas áreas que sufrían periódicamente el desbordamiento del río Nilo. Otra cultura de la cuenca del Mediterráneo oriental que ha dejado muestras de esta técnica en las pinturas murales descubiertas en la habitación 5 de Acrotiri de Tera (Santorini)⁷ es la Minóica. También en China y en el continente americano, en las culturas azteca e inca, aparecen restos de estas técnicas; por lo que se puede pensar que este tipo de representaciones, más o menos perfectas de acuerdo con el grado de desarrollo alcanzado por cada cultura, estuvieron difundidas por todo el mundo habitado.

Debido al avance de la astronomía en Mesopotamia y Egipto, al mismo tiempo que se hacían mapas regionales empleando rudimentos de To-

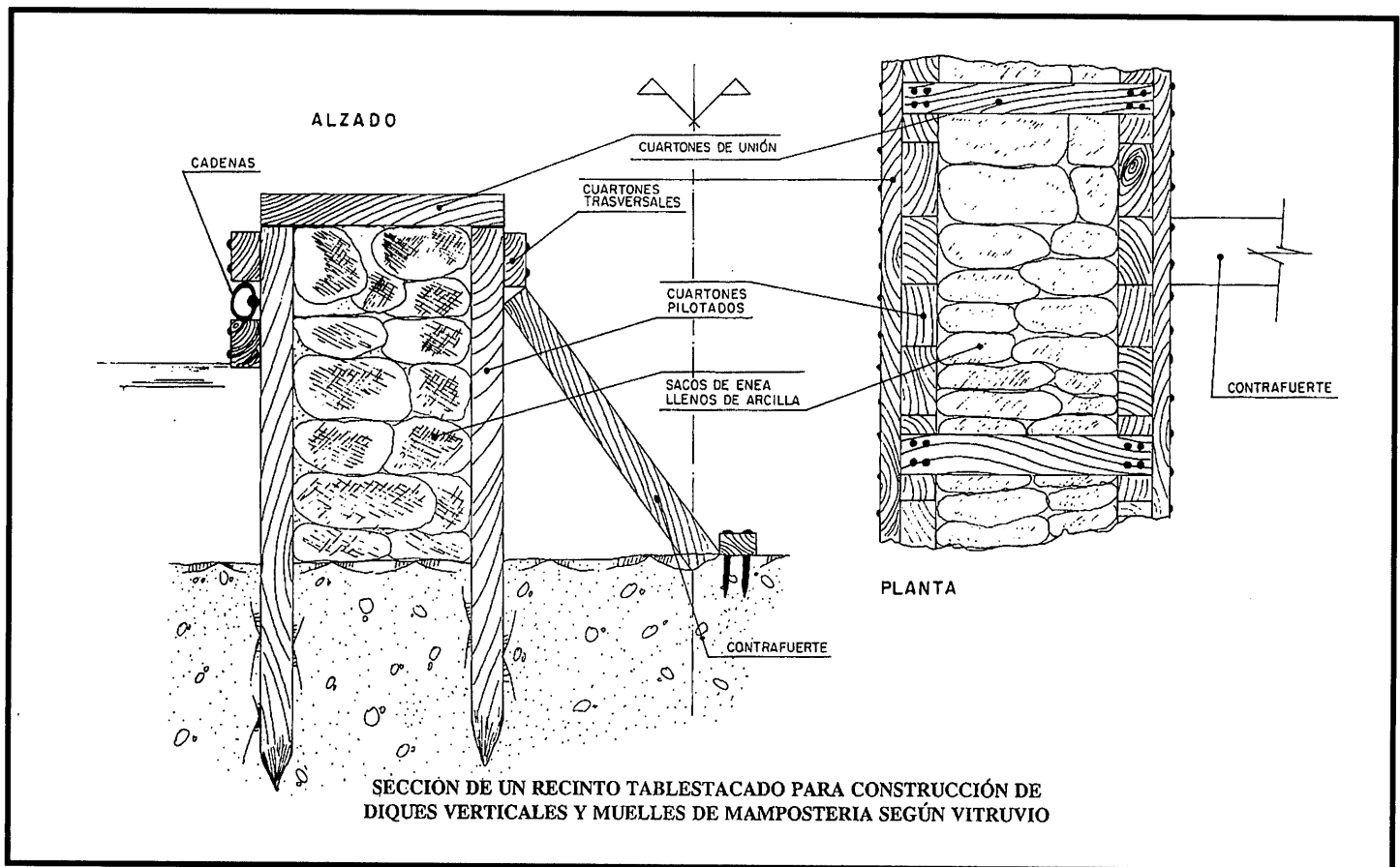


Figura 7.

pografía, se estudiaban las dimensiones y forma del planeta, lo que condujo a la realización de mapas que intentaban representar toda la superficie de la tierra, ¡los primeros mapas mundi!; pero ninguno de ellos ha llegado a nuestros días.

La literatura clásica está plagada de referencias geográficas, siendo de especial interés las obras de los geógrafos Strabón, Plinio y Polibio. Este último dedica el capítulo XXXIV-6 de su obra a los geógrafos anteriores a él y a sus datos geográficos, y hace referencia a los geógrafos del mundo antiguo, en el III-9 y en otros.

El primer mapa mundi del que tenemos noticia fue construido por un discípulo de Tales de Mileto llamado Anaximandro, en la primera mitad del siglo VI a.C.. Se supone que estuvo grabado en bronce o en piedra y que era de forma circular, pues no se ha conservado; representaba la tierra emergida dividida en dos partes, Europa al norte y Asia-Africa al sur, separadas por el mar Mediterráneo y rodeadas por el océano.

La representación del mundo antiguo conocido sufrió grandes modificaciones entre los siglos VI y V a.C., (Polibio, XXXIV-6), debidas en gran medida

a Hecateo de Mileto y Dicearco de Mesina. Este último, discípulo de Aristóteles, calculó y dibujó un planisferio en el que la posición de cada punto geográfico se establecía según su distancia a una línea horizontal imaginaria de referencia que trazó de este a oeste y que denominó *diafragma*.

Polibio hace referencia a Eratostenes de Cirene (284-203 a.C.), que construyó un mapa mundi de notable precisión, no exento de errores, sobre una "proyección" que se podría considerar como cilíndrica por coordenadas geográficas en ángulo recto. La retícula de esta "proyección" la diseñó trazando, a distancias desiguales, siete líneas paralelas al *diafragma* de Dicearco; tres al norte y cuatro al sur, cortando estas perpendicularmente, también a distancias desiguales, con doce líneas verticales.

Desgraciadamente son muy escasos los mapas que han llegado hasta nosotros y desconocemos con que medios auxiliares de medición y observación contaban aquellos geógrafos anteriores a nuestra era.

El mundo romano tomó de Oriente y de Grecia los elementos que mejor servían a su filosofía emi-

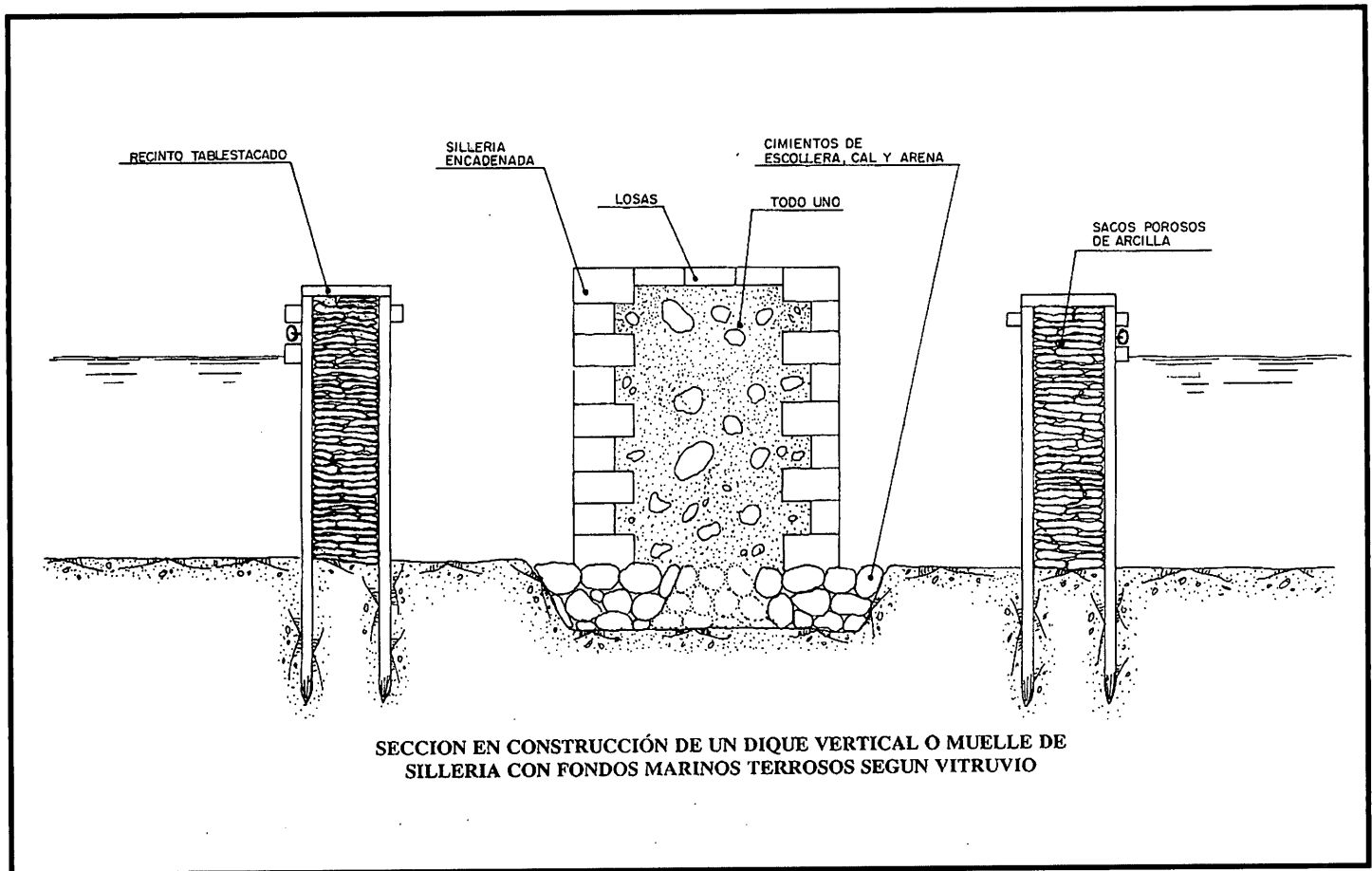


Figura 8.

nentemente práctica y, en gran medida, abandonó los estudios cosmográficos y de geografía matemática. Se crearon cuerpos especializados de topógrafos, los *libradores*, y de agrimensores, los *gromáticos*, cuyo nombre se deriva del instrumento que utilizaban para medir, la *groma*. Estos dos cuerpos junto con el de los ingenieros civiles, adoptaron como forma de trabajo los levantamientos sobre el terreno, haciendo así avances en la topografía y cartografía práctica.

Del abundante de material cartográfico y topográfico elaborado durante el Imperio Romano, solo ha llegado a nuestros días una cantidad mínima, debido a que los avatares históricos acaecidos desde su desaparición no fueron los más idóneos para conservarlos y transmitirlos a las siguientes generaciones. Solo nos queda entonces, para comprender cual era el nivel de conocimientos geográficos, cartográficos y topográficos de aquella época, seguir las pistas que puedan mencionarlos en fuentes literarias y epigráficas, y en estudios históricos y arqueológicos.

Las obras que podemos consultar, ordenadas cronológicamente, son las siguientes: 1° *Avieno*

y los *periplos*; 2° *Polibio*; 3° *Strábon*; 4° *Mela*; 5° *Plinio*; 6° *Ptolomeo*; 7° *Los Itinerarios*. Las citas que en ellas aparecen referentes a estas técnicas son escasas y de poca consistencia, ya que todas las fuentes clásicas citadas anteriormente no son de literatura técnica y a nosotros han llegado escasos mapas y planos de la época.

Si nos fijamos de los comentarios que hacían los clásicos, se debe admitir que desde tiempos muy antiguos existieron cartas náuticas o planos descriptivos de la costa, pues podemos leer en Heródoto (III-136): "...*Abastecidos de todo, siguieron rumbo a Grecia. Al costearla, contemplaban las costas y levantaban planos, hasta que tras contemplar la mayor de sus lugares...*". Desgraciadamente los métodos de representación geográfica y los aparatos de observación y medida empleados por los navegantes de aquellos siglos, nos son casi totalmente desconocidos.

Basándonos en las fuentes antes mencionadas podríamos hacer la siguiente clasificación de material cartográfico y topográfico en la época romana:

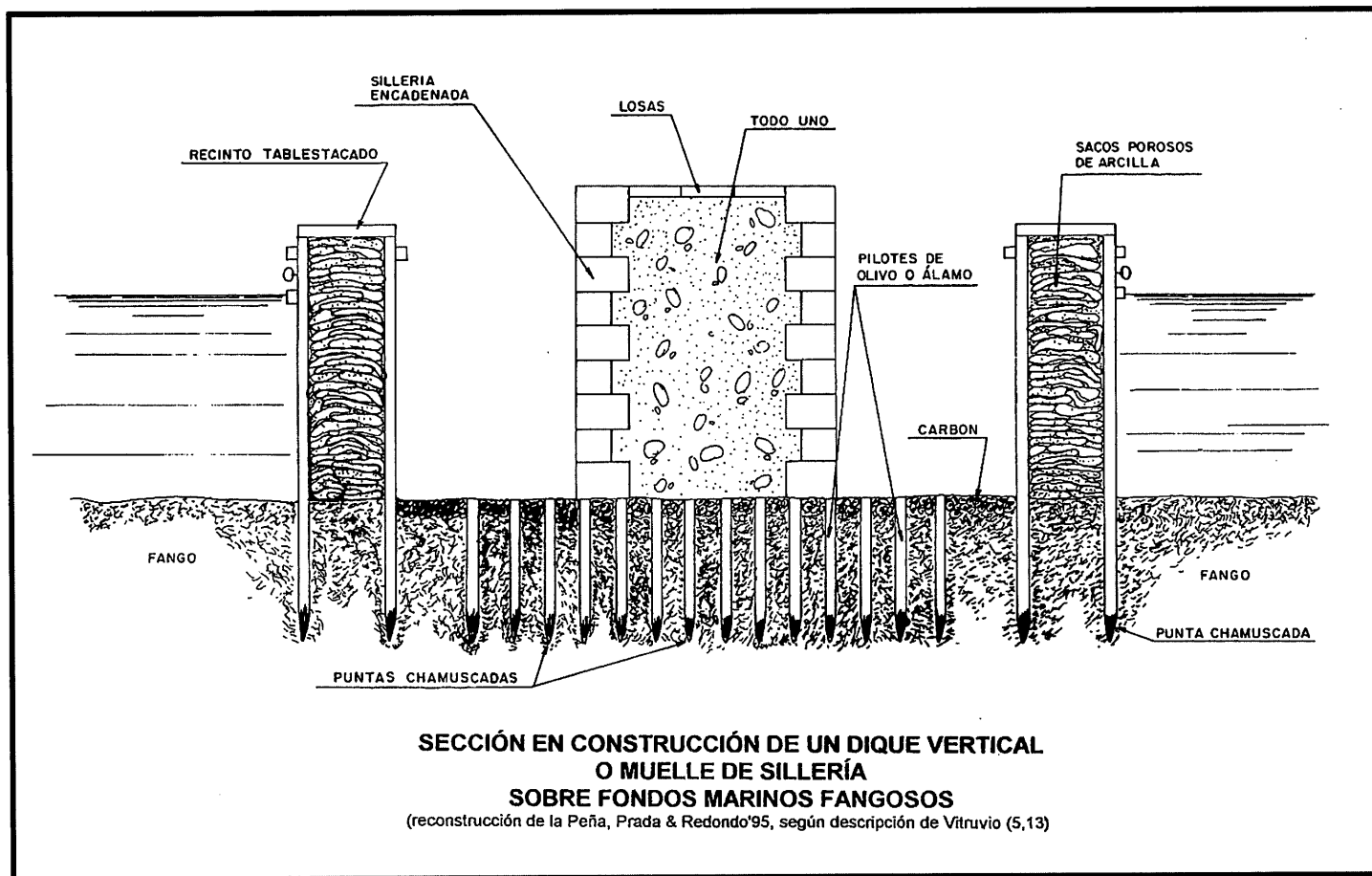


Figura 9.

1º Mapa de grandes extensiones y mapas mundi: El más famoso de éstos mapas fue el *Orbis Pictus* de Agripa, que fue el mapa mundi más completo del comienzo de nuestra era, y que se grabó en el Pórtico Vipsalinia Polla⁸, en Roma. Según parece el proyecto fue planeado por Julio César y realizado por Augusto, siendo su yerno Agripa el coordinador de la obra, como así indica Plinio (III-17): "...¿ Quién iba a pensar que Agrippa, persona de tanta precisión, preocupado además de exhibir ante el orbe el mapa del mismo orbe terráqueo, se haya equivocado, induciendo por error al propio dios Augustus?. Pues, efectivamente, este último llevó a termino el pórtico que había de contener el mapa dicho, pórtico que fue iniciado por su hermana según el destino y los comentarios de M. Agrippa...".

Otro mapa mundi conocido por las referencias que de él da Claudio Tolomeo (100-180 d.C.), fue el realizado por Marino de Tiro (¿100-150 d.C.?), que calculó por primera vez la latitud y la longitud de los puntos geográficos en grados, en vez de hacerlo en distancias lineales. Abarcaba 80° en el sentido de la latitud y 225° en el de la

longitud y lo trazó utilizando, por primera vez en la historia, una proyección cilíndrica equidistante en la que los paralelos y meridianos formaban un red cuyas intersecciones eran ángulos rectos.

Claudio Tolomeo completó y perfeccionó la obra de Marino, y fue el primero en realizar un mapa mundi empleando una proyección cónica simple en la que los meridianos eran rectas divergentes de los polos, y los paralelos, arcos de círculos concéntricos.

2º Mapas regionales: Podemos suponer que existieron este tipo de mapas mucho antes de los 26 realizados por Claudio Tolomeo y que acompañan, en los códices más antiguos, al mapa mundi creado por él.

3º Portulanos y cartas náuticas: La realización de cartas náuticas o de descripción de las costas está demostrada por los comentarios de Herodoto que expusimos en párrafos anteriores. Es muy posible que desde su época existieran mapas temáticos en los que se indicaran puntos costeros de interés tales como fondeaderos, puer-

tos naturales y artificiales, estuarios y zonas navegables de ríos, parecidos a los que se utilizaron con gran profusión al final de la Edad Media.

4º Periplos de descripción de la costa, rutas marítimas: Los periplos eran libros de viajes y rutas de navegación similares a los que poseían los capitanes de la naos del siglo XVI. Estas memorias permitían conocer a los marineros los accidentes geográficos e incidencias climáticas que se encontrarían en su navegación. Se realizaban durante las travesías, describiendo las costas y sus accidentes, puertos y lugares donde se podía fondear, ríos y manantiales para abastecerse de agua dulce, etc.. Los más antiguos fueron los de Avieno del siglo VI a.C., y el de Scylax del siglo siguiente. Otros periplos famosos fueron los de Hanno, Piteas, etc.

5º Descripciones y mapas lineales de rutas terrestres y marítimas: Los *itineraria scripta*, eran publicaciones que explicaban al viajero todas aquellas cosas que se iba a encontrar a lo largo de su viaje, describiendo rutas, informando sobre distancias, puntos de interés, etc., asemejándose bastante a nuestras guías turísticas. Una copia de una de estas descripciones del siglo VIII d.C. del *Itinerarium Antonianum*, redactado al parecer en torno al año 300 d.C., se halla en El Escorial (Madrid). Los *itinerarios picta* eran mapas de vías y caminos sin ninguna fidelidad cartográfica, prácticos y de fácil comprensión, en los que aparecían reflejados las calzadas y puntos útiles al viajero. El único ejemplo de este tipo de trabajo cartográfico que se ha conservado es la llamada *Tabula Peutingeriana*, cuyo original se realizó al final del período tardorromano, siglo IV d.C., cuando la decadencia de las letras, de las ciencias y del derecho, se había adueñado del Imperio. Sin embargo, el ejemplar de la Tabula que ha llegado a nuestros días es una copia del siglo X d.C. que fue publicada parcialmente por el humanista alemán Peutinger. En él la representación del Imperio estaba totalmente deformada pero, dentro de sus posibilidades, se mantenían las distancias entre los lugares. Sus dimensiones son 6 metros por 34 centímetros para que pudiera enrollarse fácilmente en un bastón de madera.

6º Planos de pequeñas áreas: Es de suponer, conociendo la complejidad de la sociedad romana y el entramado administrativo que la sustentaba, que fueron de uso corriente este tipo de planos,

siendo necesarios para el control burocrático del catastro, para la resolución de pleitos sobre la propiedad de parcelas rurales y urbanas, para realización de grandes obras públicas, etc. Sin embargo no se ha conservado de ellos ningún ejemplar.

7º Planos de obra y replanteo: Aunque hasta ahora no se ha encontrado en los clásicos descripciones que afirmen con rotundidad su existencia y uso, se puede deducir, leyendo los escasos escritos técnicos de los que disponemos, que los romanos, antes de comenzar cualquier obra civil, hacían planos del terreno donde se iba a construir para realizar los estudios previos pertinentes¹¹, utilizándolos también para efectuar los replanteos y posiblemente las distintas fases de la obra. Para ello fueron expertos en el manejo de diversos aparatos topográficos, principalmente niveles, miras y estacas, desarrollando métodos de trabajo en el campo similares a los actuales. Un párrafo que subraya parte de lo anteriormente expuesto lo encontramos en una carta enviada por Plinio al Emperador Trajano, en la que dice, refiriéndose a la posible construcción de un canal entre un lago de Nicomedia y el mar: “...Ahora os corresponde, si lo creéis adecuado, enviar un topógrafo o un ingeniero para que determine, con estudio cuidadoso, ..”, para conocer si es factible su realización, “...si el lago esta por encima del nivel del mar; los expertos locales opinan que si los esta, unos cuarenta cubits¹⁰...”. De la contestación del Emperador podemos deducir lo meticulosos que eran los romanos con los estudios previos de cualquier obra civil y la existencia de ingenieros expertos en determinados tipos de trabajos: “ De Trajano a Plinio. Ese lago tuyo me intriga, y me gustaría verlo conectado con el mar, aunque antes hay que realizar un reconocimiento exhaustivo para hallar la fuente que lleva el agua hasta el lago y ver en que cantidad los hace, no sea que al darle salida se vacíe entero en el mar. Puedes pedirle a Calpurnio Macer que te mande un topógrafo, y yo te enviaré a alguien con experiencia en este tipo de trabajos.”

Los aparatos topográficos que con certeza sabemos de su existencia, son los siguientes:

Dioptra: Aparato topográfico romano que correspondería al actual nivel, figura 10 a, y que al carecer de elementos ópticos obligaría a realizar innumerables estaciones para nivelar las grandes distancias que cubrieron los acueductos. Este

aparato ha sido estudiado por diversos historiadores y viene referenciado en textos clásicos, así en Polibio, (III-15), podemos leer: *"...será preciso que el que da la señal tenga una dioptra con dos fistulas o cañoncitos, que con la una pueda distinguir la derecha y con la otra la izquierda del que ha de corresponderle. Alrededor de la dioptra se pondrán rectas las tablillas, y se hará un cerco..."*. Este aparato servía tanto para hacer trabajos de nivelación como de replanteo.

Bastón de nivelación: Era un aparato auxiliar de la dioptra, figura 10 b, y correspondería a la actual mira de nivelación. El sistema de trabajo con el bastón y la dioptra era similar al método actual de nivelación con doble enfilación adelante y atrás; el librator con la dioptra enfilaba los bastones que mantenían fijos unos auxiliares por delante y por detrás de él, midiendo así la diferencia relativa de alturas entre ambos puntos.

Chorobates: Era una mesa de nivelación similar al nivel de burbuja, pero de grandes dimensiones, figura 10 c. Se utilizaba para comprobar la pendiente de canales y acueductos, obras que requerían nivelaciones de precisión. Esencialmente consistía en una mesa alargada de 20 x 5 pies, con una plomada en cada esquina y un nivel de agua en el centro del eje de simetría mayor.

Groma: Era el aparato de los agrimensores, *gromáticos*, figura 10 d, que utilizaban para medir y replantear. Se plantaba firmemente en el suelo, y mediante plomadas, que se situaban en cada uno de los brazos del aparato, se comprobaba que la base estuviera horizontal; puesto así en estación, se lanzaban las visuales a lo largo de los brazos para trazar líneas rectas o ángulos.

Cuerdas de medir: De la misma forma que hoy se utilizan cintas métricas, los romanos empleaban cuerdas o cintas calibradas y su longitud estaba en función de las distancias a medir.

Sondaleza y escandallo: Los barcos llevaban una cuerda con un peso en su extremo para conocer el calado de las aguas del mar por debajo de su quilla en cualquier momento, Herodoto (II-5). Dicha cuerda repetía una medida estándar a base de nudos, aros metálicos, etc., o en el peor de los casos, se tomaba como referencia el antebrazo del marino que la recuperaba. Bien calibrado, este aparato servía para determinar profundidades en

las zonas donde se pretendía realizar una obra marítima.

Toma muestras: Los barcos podían llevar aparatos para tomar de muestras del fondo del mar, tal y como aparece descrito por Herodoto (II-5), donde dice que se tomaron muestras del fondo del Mediterráneo para determinar hasta que distancia de la costa llegaban los materiales y arenas del Nilo y estudiar la influencia de su delta.

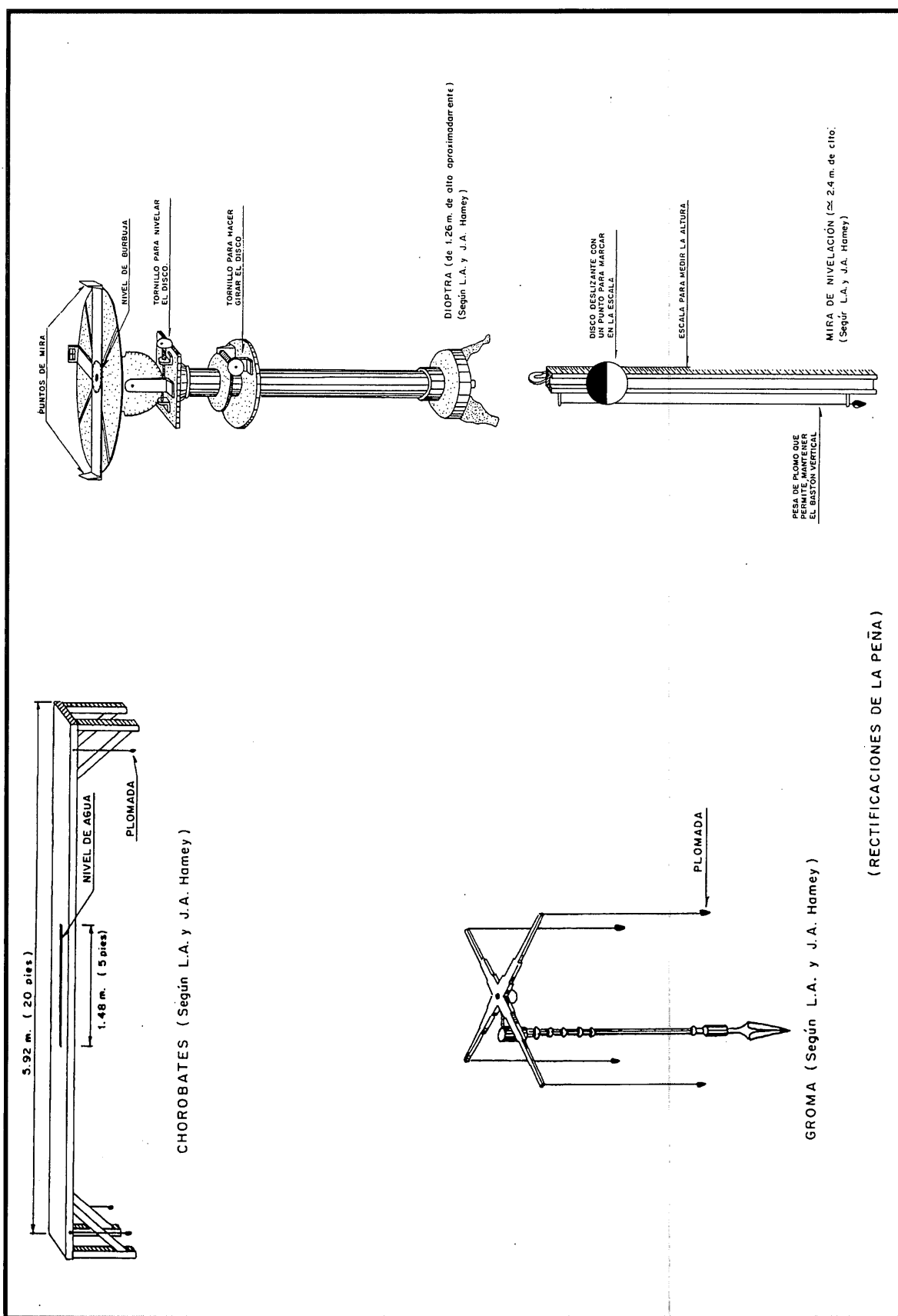
8. CONOCIMIENTOS DEL MAR

Idénticas dificultades nos encontramos a la hora de saber el nivel de conocimientos alcanzado por los ingenieros civiles romanos dedicados a las obras marítimas, sobre las mareas y las olas, las corrientes y el viento, y la importancia que estos fenómenos tenían en la construcción y funcionamiento de sus obras en la costa.

Basándonos en la documentación disponible, sabemos por referencias de autores clásicos que existieron libros técnicos dedicados al mar y a los puertos. Vitruvio da noticia sobre la existencia de libros dedicados a describir las técnicas constructivas y menciona a varios escritores que dedicaron alguna de sus obras a esta rama del conocimiento: Agatarco, Anaxágoras, Demócrito, Piteo, Hermógenes, Teodoro de Focea, Cosuzio, Muzio, Fuficio, Terencio Varron. Así mismo nos cuenta, (V-12), que a finales del siglo III a.C., Filón de Bizancio escribió un libro titulado *"Construcción de Puertos"*. Este autor no fue el único que escribió sobre el mar, también lo hicieron Timostenes de Rodas y el mismo Vitruvio.

Gracias a la fortuna hoy disponemos de dos escritos clásicos que nos dan una visión bastante aproximada del conocimiento que tenían los romanos sobre las mareas. El primero de ellos lo encontramos en Mela (III-1), donde describe las tierras bañadas por el Océano Atlántico: *"...Es un mar inmenso y sin fin, agitado por grandes mareas, pues así se llaman sus movimientos. Tan pronto inundan los campos como los deja secos al retirarse a gran distancia. Y ello acaece no una vez u otra, ni poco a poco, ni es una sacudida alternativa la que impulsa con toda su fuerza, bien hacia una costa, bien hacia otra, sino que, por el contrario, después de ser lanzado de su centro y simultáneamente contra las costas, por opuestas que sean, continentes o islas, de nuevo las abandona para*

Figura 10.



concentrarse y volver sobre sí mismo, y siempre con una violencia tal que tan pronto hace recular los ríos más caudalosos, como arrastra tras de sí animales terrestres o deja sobre la arena animales marinos. Aun no se sabe de cierto si ello es debido a que el mundo universo atrae y repele así a las aguas en todas partes por efecto de la aspiración, admitiendo, con ciertos sabios, que el mundo es un animal; o de otro modo, si tiene origen en la existencia de ciertas cavernas del fondo de los mares que absorben y repelen las aguas sucesivamente; o bien es la Luna la causa de estos movimientos extraordinarios. Lo que sí es cierto es que sus subidas y bajadas varían, no de manera uniformemente periódica, sino que, como sabemos con certeza la mar crece o decrece, según el orto y ocaso (de la Luna)..."

Más precisa y con mayor rigor científico encontramos la segunda cita sobre las mareas en la obra de Strabón titulada Geografía, donde se puede leer, (III-5,8),: "...Es sabido que la duración de un día y de una noche corresponde a una revolución completa del Sol, y que durante ésta revolución se encuentra éste una vez debajo y otra encima de la Tierra. Ahora bien, dice (Poseidónios) que el movimiento del Océano es como el curso de los astros; es decir, que se halla sometido a una marcha periódica, y tiene, como la Luna y armónicamente con ella, un período diurno, un período mensual y otro anual; añade que cuando la Luna ha recorrido toda la extensión de un signo por encima del horizonte, la mar comienza a elevarse e invade las orillas, como puede comprobarse por los mismos sentidos, hasta el momento que el astro declinar, la mar se retira poco a poco hasta que la Luna no dista del ocaso sino un solo signo. El mar queda entonces estacionado todo el tiempo que tarda la Luna no solo en alcanzar su ocaso, sino también en recorrer el espacio de un signo por debajo del horizonte; después el mar reanuda su subida hasta que la Luna toca el meridiano inferior, retirándose de nuevo hasta el momento en que la Luna -que avanza hacia Levante- se halle a la distancia de un signo del horizonte. Finalmente, la mar permanece estacionada hasta que el astro se ha elevado un signo por encima del horizonte, para comenzar de nuevo a subir. Tal es (según Poseidónios¹¹) el fenómeno de la marea en el período de un día. En cuanto al período mensual, las más fuertes mareas de una lunación coinciden con el momento de la conjunción, tras la cual disminuyen hasta que la Luna llega a su primer cuarto; luego aumentan de nuevo en intensidad hasta el plenilu-

nio, y disminuyen durante el resto de su curso hasta el último cuarto, al cual sucede una nueva crecida hasta la conjunción siguiente, una crecida mayor, tanto en duración como en velocidad. En cuanto al fenómeno de las mareas en un período anual, (Poseidónios) dice que lo aprendido en Gadeira, donde le enseñaron que hacia el solsticio de verano las mareas altas y bajas eran mas fuertes que durante el resto del año, y supo por sí mismo que a partir de este solsticio las mareas disminuían de altura hasta el equinoccio, para volver a aumentar hasta el solsticio de invierno y disminuir otra vez hasta el equinoccio de primavera, para volver a acrecer de nuevo hasta el solsticio de verano. Con estos movimientos periódicos de la mar, que se reproducen todos los días y noches, el mar sube dos veces y baja otras dos en intervalos regulares, tanto diurnos como nocturnos..."

Tras la lectura de esta cita de Strabón comprobamos que las mareas y las leyes que las rigen se encuentran bastante bien explicadas, a pesar de que este fenómeno debería de ser extraño para los ingenieros portuarios romanos y en general para los habitantes del Mare Nostrum.

No tenemos la misma suerte cuando intentamos averiguar si tenían conocimientos sobre el viento y el oleaje en aquella época. Leyendo a Polibio deducimos que si se sabía que el origen de las olas era el viento, pues en su obra, (XI-12), dice: "... Así como ésta inocente (la mar) y quieta por su naturaleza, si una vez se ve impelida por la violencia de los vientos, se porta ella con los navegantes a medida de la agitación que recibe de aquellos...". También en Flavio Josefo (I-16) podemos leer: "...del viento áfrico, cuya fuerza, por moderada que sea, levanta tan grandes olas...". Ahora bien, todavía no hemos encontrado ninguna cita clásica que nos indique, desde el punto de vista de la actual ingeniería marítima, el grado el conocimiento que se tenía del oleaje, tal y como sucedió con las mareas. Sin embargo, de los estudios llevados a cabo sobre la disposición en planta de los diques de abrigo en los puertos romanos, podemos afirmar que los ingenieros tenían un amplio conocimiento del clima marino, al menos el de la zona en la que realizaban sus obras. Esta afirmación se ve reforzada, si además, como vemos en Vitruvio (V-13), aquellos ingenieros sabían el tipo de dique a construir en función, entre otros condicionantes, de las solicitaciones del oleaje que iban incidir sobre la obra.

A nadie se le escapa que los vientos del Mediterráneo fueron conocidos desde siempre por to-

das las culturas que vivieron del y para el mar, ya que eran imprescindibles para la navegación. Que sepamos, fueron los romanos los primeros que dividieron los vientos por sectores de dirección, formando la rosa de los vientos, y les dieron nombres: austro, ábrego, boreas, áfrico, etc.. Desde la óptica de la ingeniería portuaria, el conocimiento de las direcciones de los vientos dominantes en una zona costera era imprescindible para diseñar correctamente las entradas a los puertos; así se puede leer en Flavio Josefo (I-16), cuando habla del puerto de Cesárea Marítima: "...y la entrada de este puerto estaba hacia el septentrión, porque para él, según el asiento de aquel lugar, era el más prospero viento el de Boreas...".

También de las corrientes se tiene pocas referencias escritas que nos permitan saber documentalmente el grado de conocimiento que de este fenómeno se tenía al comienzo del Imperio romano. Sin embargo, al igual que los vientos, las corrientes generales y las inducidas por el viento fueron conocidas y utilizadas por los marinos que surcaron las aguas de los mares, Mediterráneo y Rojo, y de los Océanos, Atlántico e Índico, desde la noche de los tiempos.

Veamos como describe Polibio (IV-14) de la travesía por el Bósforo y las dificultades que presentan las corrientes y los vientos dominantes: "...Para venir desde el Telesponto a Calcedonia se tiene que tomar la costa de Europa; pero cuando ya se ha llegado a las proximidades de Bizancio, la corriente y los obstáculos dichos dificultan virar y tomar el rumbo hacia Calcedonia. Del mismo modo, saliendo de esta ciudad, es imposible dirigirse en línea recta hacia Tracia; ya que las corrientes que hay de por medio, ya también por los vientos que impiden una y otra navegación...".

8. BIBLIOGRAFÍA

- 1. **Blackmann, D.J.** Ancient Harbours in the Mediterranean. Part1. The International Journal of Nautical Archaeology and Underwater Exploration (11.2, pag.79-104), 1982.
- 2. **Blackmann, D.J.** Ancient Harbours in the Mediterranean. Part2. The International Journal of Nautical Archaeology and Underwater Exploration (11.3, pag.185-211), 1982.
- 3. **Curcio Rufo, Quinto.** Historia de Alejandro Magno, Madrid: Editorial Sarpe, 1985.
- 4. **Du-Plant-Tailor, F.M.** The desing, construction and maintenance of docks, wharves & piers, Londres: Eyre & Spottiswoode Publishers Ltd., 1949.
- 5. **Franco, Leopoldo.** L'ingegneria marittima nell'antichità', Roma: Nav94 (octubre de 1994).
- 6. **Franco, Leopoldo.** Ancient Mediterranean Harbours: a Heritage to Preserve. Journal of Ocean and Coastal Management (pendiente de publicación, 1995).
- 7. **García Bellido, Antonio.** La España del siglo primero de nuestra era (según P. Mela y C. Plinio), Madrid: Espasa Calpe (Colección Austral, 744), 1986, 5ª edición.
- 8. **García Bellido, Antonio.** España y los españoles hace dos mil años (según la Geografía de Strábon), Madrid: Espasa Calpe (Colección Austral, A 203), 1993.
- 9. **Herodoto.** Los nueve libros de la historia, Barcelona: Orbis S.A., 1987.
- 10. **Inman, Douglas L.** Ancient ant modern Harbors: a repeating phylogeny. Proceedings of the 14th I.C.C.E. (Vol. III, pag. 2049-2067), 1974.
- 11. **Josefo, Flavio.** La guerra de los judios, Barcelona: Orbis S.A., 1987.
- 12. **Karmon, Yehuda.** Geographical components in the study of ancient mediterranean ports. Oxford: Harbour Archaeology (BAR. International Series, nº257, pag. 1-6), 1985.
- 13. **Kemp, Barry y O'Connor, David .** An ancient Nile harbour. University Museum excavations at the "Birket Habu", The International Journal of Nautical Archaeology and Underwater Exploration (3.1, pag.101-136), 1974.
- 14. **Peña Olivas, José Manuel de la, Prada Espada, Juan M. y Redondo Morejón-Girón, Carlos.** Obras portuarias en la antigüedad, Gijón: II Jornadas Españolas de Ingeniería de Costas y Puertos, 1993.
- 15. **Peña Olivas, José Manuel de la, Prada Espada, Juan M. y Redondo Morejón-Girón, Carlos.** Mediterranean Ports in Ancien Times. Revista del P.I.A.N.C. nº 83/84 (1994), 227-237.
- 16. **Peña Olivas, José Manuel de la y Prada Espada, Juan M.** Murgi: un antiguo puerto romano en Almería. Revista de Arqueología nº 168 (abril de 1995), 36-43.
- 17. **Peña Olivas, José Manuel de la y Prada Espada, Juan M.** Estructuras portuarias en Vitruvio. (En preparación 1995).
- 18. **Perez de la Sala, Pedro.** Tratado de construcciones en el mar, Madrid: Imprenta de Fontanet, 1886.
- 19. **Polibio.** Historia universal durante la república romana, Barcelona: Orbis S.A., 1986.
- 20. **Prada Espada, Juan M., de la Peña Olivas, José Manuel y Redondo Morejón-Girón, Carlos.**

Estructuras portuarias en la historia antigua, Valencia: III Jornadas Españolas de Ingeniería de Costas y Puertos, 1995.

-21. **Prada Espada, Juan Manuel y de la Peña Olivas, José M.** Maritime Engineering during the Roma Republic and the Early Empire. Tarragona: Medcoast'95 (1995).

-22. **Vigüeras González, Modesto.** La tecnología portuaria del siglo de oro español, Madrid: Dirección Gral. de Puertos y Costas, 1979.

-23. **Vitruvio, Marco Lucio.** Los diez libros de arquitectura, Barcelona: Editorial Iberia S.A. (Obras Maestras) 1986. ●

NOTAS

¹Constituyeron un gremio y eran los buceadores que en los puertos se dedicaban a rescatar las mercancías que caían al agua durante los trabajos de carga y descarga.

²Vitruvio recomienda la construcción de vías de comunicación entre el puerto y los mercados de la ciudad.

³En el tratado de Vitruvio, en su libro 2 dedicado a los materiales de construcción, en el capítulo VI titulado "Del polvo de Puzol", podemos leer: "Hay también una clase de polvo que por su propia naturaleza produce efectos maravillosos. Se halla en la región de Bayas y en los territorios que están en las cercanías del Vesubio. Este polvo, mezclado con cal y la piedra machacada, no solo consolida toda clase de edificaciones, sino que incluso las obras que se hacen bajo el agua del mar tienen solidez."

⁴En las figuras se han dibujado los bloques de hormigón con la mayor dimensión perpendicular

a la línea de costa, ello no indica que siempre se construyese con esa dirección, siendo frecuente entre las construcciones marítimas romanas el hacerlo con la mayor dimensión paralelo a la línea de costa, esto es perpendicular a como se ha dibujado en las figuras, como así puede verse en la sección del dique de Cesárea Marítima, figura 3, donde se hizo alineando los bloques según el segundo de los métodos.

⁵En excavaciones arqueológicas se ha comprobado que para grandes calados las estructuras verticales alcanzaban profundidades de hasta 6 o 7 metros y estaban constituidas por dos o más bloques superpuestos.

⁶Suponemos que las dimensiones de los pilotes serían variables de acuerdo a la consistencia del terreno.

⁷Hoy en el Museo Nacional de Atenas.

⁸Nombre de la hermana de Agripa.

⁹Además de los trabajos topográficos, se realizaban también estudios geotécnicos, y posiblemente proyectos de obra. Las descripciones de Vitruvio, (5-XIII), son explicaciones sobre las distintas formas constructivas de obras portuarias, pero además, esas descripciones son también el reflejo de una cuidadosa planificación que sin duda realizaban los ingenieros civiles y que posiblemente plasmarían en un proyecto de construcción por fases. Esta forma de hacer explicaría en si misma obras tan grandiosas como el Acueducto de Segovia, el puerto de Cesárea Marítima, etc.

¹⁰Más o menos, unos veinte metros.

¹¹Strábon hace referencia al autor de la obra que le sirve de referencia para explicar un fenómeno que quizás él desconozca. Desgraciadamente el libro de Poseidónios no se ha conservado.