

Ingeniería Civil

NÚM. 178/2015

ISSN: 0213-8468



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE FOMENTO

MINISTERIO
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE

CEDEX

CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS



SUMARIO Nº 177

Integración tren-vía; Ensayos cruzados en el laboratorio: Una oportunidad para depurar antes de instalar. *Train-track integration; Laboratory cross tests. An opportunity to debug before installing.*

Participación del CEDEX dentro del proyecto LIFE MINOX-Street. *CEDEX participation in the MINOX-Street LIFE project*

Estudio de remodelación del cuenco amortiguador de la Presa de Entrepeñas. *Remodeling study of stilling basin in Entrepeñas Dam.*

Análisis y caracterización experimental de aliviaderos escalonados. Estudio aplicado a la presa de Cuira (Venezuela). *Experimental analysis and characterization of stepped spillways. Applied research to the Cuira dam (Venezuela).*

Buenas prácticas para el mantenimiento y conservación de cauces. *Good practices for maintenance and conservation of river channels.*

Erosión interna y dispersividad: estado del arte y revisión de ensayos. *Internal Erosion and dispersivity: state of the art and test review.*

Excavación de túneles en ambientes volcánicos y paleovaguadas: Proyecto hidroeléctrico Quijos (Ecuador). *Tunneling in volcanic environments and paleovalleys: Quijos hydroelectric Project (Ecuador).*

Jet Grouting. Elemento reductor de permeabilidad. Campo de aplicación, diseño, ejecución y control. *Jet Grouting. Permeability reducer element. Field of application, design, execution and control.*

El Bambú (*Guadua Angustifolia*) como material estructural empleado en el diseño de Invernaderos tipo Almería. *The Bamboo (Guadua Angustifolia) like structural material employee in the design of Greenhouses type Almeria.*



SUMARIO Nº 176

Desarrollo de un proyecto para la conversión directa de la energía del oleaje en energía eléctrica. *Development of a project for direct conversion of wave energy into electricity.*

Caracterización ambiental del árido derivado de escoria de acería de horno eléctrico para su empleo en capas de subbalasto. *Environmental characterization of aggregate from electric arc furnace slag as sub-ballast layer material.*

Sistema de drenaje con geocompuesto triplanar del depósito para la eliminación de la contaminación química en el embalse de Flix. *Drainage system with triplanar geocomposite in the landfill for the remediation of the chemical contamination in Flix's reservoir.*

La calidad en las auscultaciones de características superficiales de los firmes: Evaluación de la conformidad. *Road pavement surface characteristics: Conformity assessment.*

Efecto de la tipología de las estructuras transversales de paso sobre el uso por la fauna en diferentes tramos de carreteras y líneas de ferrocarril de alta velocidad en España. *Effect of the type of crossing structures on the use by fauna in different stretches of roads and high speed railway lines in Spain.*

Los geosistemas en la ingeniería de costas, ¿existe un diseño fiable en la actualidad? *Geosystems in coastal engineering, are they an alternative for conventional defenses and systems?*

El último gran acueducto de Roma: Aqua Alexandrina (siguiendo los pasos de Fabretti y Ashby). *The last great aqueduct of Rome: Aqua Alexandrina (following the footsteps of Fabretti and Ashby).*

Comparación entre las propiedades de los RCDs y las de los suelos seleccionados. *A comparison between the properties of CDW and selected aggregates.*

Identificación de los suelos dispersivos y colapsables del valle del río Verde, en Rioverde S. L. P., México. *Identification of collapsible and dispersive soils of Green river valley, in Rioverde S. L. P., Mexico.*

El aporte del refuerzo comprimido en secciones a flexo-compresión. Métodos aproximados. *The contribution of compression reinforcement in sections with flexure and axial load. Approximates methods.*

Eugenio Ribera: un puente desconocido en Aldea del Fresno (Madrid). *Eugenio Ribera: an undiscovered bridge in Aldea del Fresno (Madrid).*

Ingeniería Civil

NUM. 178 - ABR.MAY.JUN. - 2015

CEDEX

Centro de Estudios y Experimentación
de Obras Públicas

Publicación incluida en el Programa Editorial para 2015



COMITÉ DE REDACCIÓN

Presidente

Miguel González-Portal

Vocales

Enrique Dapena García

Víctor Elviro García

Antonio Lechuga Alvaro

Pablo Mira McWilliams

M^a Ángele de Pablo Sanmartín

Francisco Javier Sainz de Cueto Torres

Francisco Sinis Fernández

Jaime Tamarit Rodríguez de Huici

Comisión Asesora

Antonia Berjaga Peralta

Fernando Magdaleno Mas

Cristina de Santiago Buey

Secretaría

Ana García Neri

Olga Sánchez de la Torre

Colaboradores

Javier Plasencia Jiménez (Fotografía)

REDACCIÓN

Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas

Alfonso XII, 3 - 28014 Madrid

Tel.: 913 35 72 69 - Fax: 913 35 72 49

e-mail: ingcivil@cedex.es

El Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) no se hace responsable de las opiniones, teorías o datos publicados en los artículos de Ingeniería Civil, siendo ello responsabilidad exclusiva de sus autores.

PRECIO DE ESTE EJEMPLAR: 12,25€

I.S.S.N.: 0213-8468 - N.I.P.O.: 163-15-003-4

Depósito Legal: M-28150-1971

NUESTRA PORTADA: Ensayos sistemáticos sobre el efecto de un dique exento en la configuración de una playa (playa de Blanes).



Sumario

Medida de la impedancia dinámica de entrada en el interfaz C4 de Eurobaliza

Measurement of the dynamic input impedance at the interface C of eurobalise using phasor technique

José Bueno, Susana Herranz, Pedro Agudo, Alfredo Arroyo, Marta Esteban, Jorge-Ignacio Iglesias, Jaime Tamarit

5

Zonas de la costa apropiadas para el uso de los diques compuestos por tubos de geotextil rellenos de arena

Coastal zones suitable to use breakwaters of geotextile tubes filled with sand

Ana Antón Camacho, Antonio Lechuga Álvaro, José M. De la Peña Olivas, José L. Almazán Gárate

11

La aplicación de métodos observacionales para el análisis de asentamientos y parámetros de consolidación de las marismas costeras de Huelva

The application of observational methods for settlement and consolidation analysis of the coastal marshes of Huelva

Juan Nicolás Zabrodiec García

23

Problemas geotécnicos asociados a la presencia de sulfatos sódicos. Un enfoque mineralógico

Geotechnical problems related to the presence of sodic sulphates.

A mineralogical approach

Cristina de Santiago Buey

33

El desarrollo de tecnologías de aceleradores de partículas en el CIEMAT y el CEDEX

Particle accelerator technology developments at CIEMAT and CEDEX

L. García-Tabarés

47

Algunas aplicaciones de la dinámica de suelos

Some applications of soil dynamics

José Manuel Roesset Vinuesa

55

Apuntes sobre el Puerto de Ostia (el mayor puerto romano)

Notes about the Augustus Port of Ostia (the biggest roman port)

José M. de la Peña Olivas

73

Centrífuga Geotécnica

Geotechnical Centrifuge

Eugenio Jiménez García, Svetlana Melentijevic

85

Análisis de la flexión en piezas con inercia variable

Analysis of bending in pieces with variable inertia

Carlos Méndez Esteban

95

Instalaciones singulares del CEDEX

Auscultación de carreteras

107

En la página 130 y en nuestra web <http://www.cedex.es> encontrará las normas para la publicación de artículos.



Los puertos españoles en el siglo XIX

Autores: Joan Alemany Llovera

ISBN: 84-7790-107-4

Año: 1991

P.V.P.: 31,85€

El trabajo presenta en primer lugar, como antecedente, la situación que tenía el tráfico marítimo en los siglos XVI y XVII. El papel preponderante y exclusivo del puerto de Sevilla y los sistemas de navegación “en conserva” que determinaron la estructura del comercio, y la de los puertos de ultramar. Recoge a continuación los cambios en el siglo XVIII que afecta a las políticas, a los barcos y a la navegación. Los siguientes capítulos se dedican al siglo XIX. La última parte se dedica específicamente a exponer los adelantos en la construcción de los puertos y las obras realizadas a lo largo del siglo.



Puertos españoles en la historia. Catálogo de la exposición

ISBN: 84-7790-178-3

Año: 1994

P.V.P.: 24,04€

Catálogo de la exposición itinerante que se inauguró en Sevilla en 1994 con motivo de la celebración del XXVIII Congreso Internacional de Navegación. Está estructurado en dos partes, la primera recoge estudios firmados por especialistas en historia de la tecnología. La segunda desarrolla temas diversos sobre construcción naval, ingeniería portuaria, tráfico marítimo o la evolución de los puertos españoles en diferentes épocas. Termina con la descripción de los veintiséis puertos del Estado, un anexo sobre patentes en el siglo XIX y una extensa bibliografía.



Fábricas hidráulicas españolas

Autores: Ignacio González Tascón

ISBN: 84-7790-147-3

Año: 1992 (2ª edición)

P.V.P.: 18,03€

En esta publicación se describen, de manera sistemática, las principales máquinas hidráulicas españolas y su evolución a través del tiempo. Se trata de un estudio pormenorizado de la mecánica, tipología y funcionamiento de molinos, batanes, trapiches, almazaras y otros ingenios diversos, que el hombre ha utilizado para aprovechar la energía de las corrientes de agua, arroyos, ríos y mareas. La perspectiva de este tratado es fundamentalmente hidráulica, pero también cuenta con un estudio del entorno histórico, jurídico y técnico de dichas fábricas, ilustrados con numerosos ejemplos.

Apuntes sobre el Puerto de Ostia (el mayor puerto romano)

Notes about the Augustus Port of Ostia (the biggest roman port)

José M. de la Peña Olivas^{1*}

Palabras clave

puertos antiguos romanos;

Resumen

La ingeniería romana fue capaz de construir un puerto con las obras exteriores mayores de la antigüedad, no superadas hasta muy avanzado el siglo XX. Mal llamado en la actualidad como Puerto de Claudio, entonces llevaba por nombre Puerto de Augusto de Ostia. Fue construido en tres fases, comenzado por Augusto y finalizada por Trajano, las tres se describen brevemente en este artículo junto con su verdadero origen.

Keywords

ancient roman ports;

Abstract

Roman engineering was able to build a harbour with the biggest dikes of antiquity, not surpassed until very advanced 20th century. Poorly named today as the port of Claudius, then carrying name Augustus port of Ostia. It was built in three phases, begun by Augustus and completed by Trajan. The three ones are briefly described in this article along with its true origin.

1. INTRODUCCIÓN

El puerto exterior de Roma, o puerto Augusto de Ostia o Portus, es probablemente la obra portuaria más importante de la antigüedad. Desde antiguo se ha estudiado esta magna obra; pero no parece que se haya hecho con la profundidad y la mentalidad portuaria que llevó a su realización, en la mayoría de las ocasiones minimizando su construcción. Llegan hasta la actualidad sus reconstrucciones (Noli y Franco 2009). Si se analizan éstas, se pueden observar tres tendencias: La primera de las tendencias en la reconstrucción comienza en el siglo XVI y se extiende hasta mediados del siglo XVIII, básicamente son iguales y sitúan el puerto siguiendo la dirección

perpendicular del canal del Tíber, cuyo ejemplo más conocido es la reconstrucción del Portus del “Civitates Orbis Terrarum, en su volumen IV, plano 53, de 1588. La segunda de las tendencias aparece con las primeras prospecciones arqueológicas de la escuela francesa a finales del siglo XVIII y comienzos de XIX, las obras exteriores las giran hacia el norte; ejemplos de ellos son los de Pierre Joseph Garrez de 1835, Pedro Pérez de la Sala (1886), Halliday Saville (1940-41) y Du Plant y Taylor (1949). Probablemente engañados por la interpretación de Suetonio y Dion Casio. La tercera de las tendencias comienza recientemente, a finales del siglo XX y comienzos del XXI, como Testaguzza (1970), Verduchi (1999) o el interesante trabajo que presenta Navis II con el nombre de

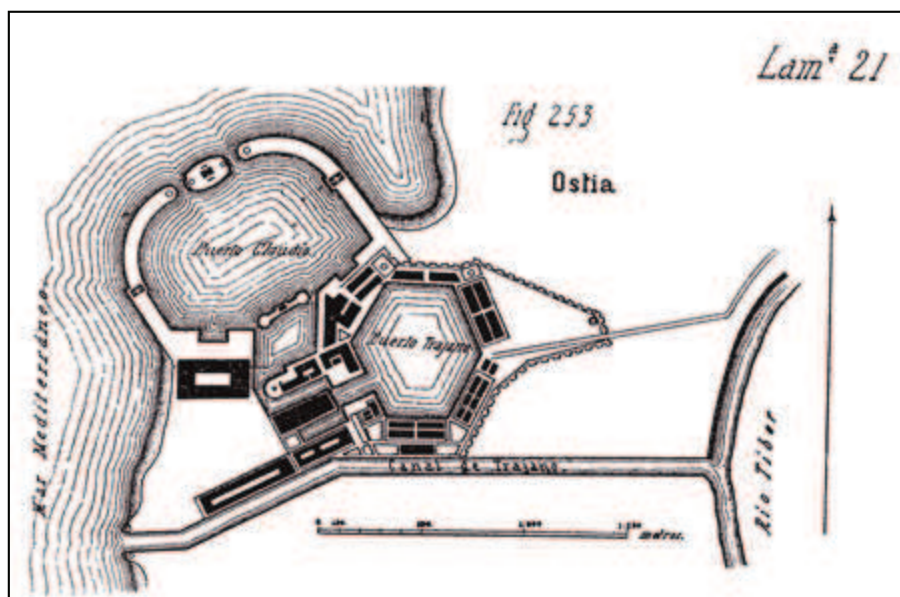


Figura 1. Reconstrucción del Portus por Pedro Pérez de la Sala (1886).

* Autor de contacto: jose.m.pena@cedex.es

¹ Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX, Madrid, España.

“Il Porto de Claudio” y muestra un plano de situación del Portus y Ostia, ubicando los diques exteriores como los anteriores autores tanto en disposición como en orientación, las reconstrucciones propuestas por Ostia-Antica.org y, finalmente, Simon Keay y Martin Millet (2003), y Neli y Franco (2009). Las obras vuelven a situarse en la dirección que se pusieron en el siglo XVI, aunque aparecen reconstrucciones como las que suponen la no existencia de la isla que contenía el faro (Ostia-Antica.org). Para la reconstrucción que se propone en estas líneas del puerto, se han analizado todos los datos existentes de la época no dando peso a ninguna de las fuentes, pero haciendo un análisis crítico de cada una de ellas.

2. ORIGEN DEL PUERTO

El primer paso para el estudio del puerto exterior de Roma es indagar sobre su origen. Para ello se analizan tres fuentes complementarias: 1) Escritas, 2) Numismáticas, y 3) Cartográficas.

Cada una de las tres vías dará datos complementarios para conocer con una cierta exactitud cómo se proyectaron, ejecutaron y se finalizaron las obras. Además, nos dirán el nombre del puerto entonces; ya que el de “Puerto de Claudio” como se conoce hoy en día es un apodo actual confuso que no responde al que entonces tenía.

2.1. Origen del puerto exterior de Roma, su nombre

Las palabras de Suetonio (V, 20) sobre la construcción del puerto exterior, a tres kilómetros al norte de Ostia y desembocadura del río Tíber, adjudicando su construcción al emperador Claudio ha condicionado todos los estudios posteriores hasta la actualidad sobre este puerto:

“... llevó a cabo trabajos más bien importantes y necesarios que numerosos, pero los más importantes [fueron]: el acueducto empezado por Gayo [Calígula], así como el canal de desagüe del lago Fucino y el puerto de Ostia, aunque sabía que Augusto había rehusado [emprender] el segundo de éstos pese a las continuas súplicas de los marsos y que el divino Julio después de haber proyectado varias veces el tercero, había desistido a causa de su dificultad... Construyó el puerto de Ostia levantando dos diques en arco de círculo a derecha e izquierda y habiendo colocado ya en aguas profundas un malecón cerrando la entrada y para cimentar mejor, sumergió la nave en la que había traído de Egipto el gran obelisco y colocó sobre ella gran número de pilares que sostenían una torre muy alta, a ejemplo del Faro de Alejandría, para que a la luz de los fuegos nocturnos las naves pudieran dirigir sus rutas...”

(VIDA DE LOS DOCE CÉSARES; EDITORIAL JUVENTUD, S.A.
 TRAD: VICENTE LÓPEZ SOTO)

Pero, resulta curioso que ninguno de los historiadores conocidos de la época como Tácito haya mencionado tan tamaña empresa y otros como Plinio El Viejo solamente le haya adjudicado parte de la obra. Únicamente Dion Casio, dos generaciones después, se hizo eco de ella, seguramente

usando como fuente el mismo Suetonio; pero dándole algo más de exageración, escribiendo (Dion Casio, LX, 11):

“... Claudio acometió la construcción de un puerto, y no pudo ser disuadido cuando los arquitectos le indicaron el gran coste que podía ser, respondió: “Tu no quieres hacerlo” así seguro de sí mismo fueron ellos que el enorme gasto necesario podía inquietarle a su propósito si el conociese el coste del proyecto. Él, sin embargo, concibió una respetable empresa de la dignidad y grandeza de Roma. Primeramente, él excavó un muy considerable trozo de tierra, construyó muros de contención en todos los lados de la explanación, entonces dejó entrar el mar en ella. En segundo lugar, en el mar mismo, construyó enormes diques a ambos lados de la entrada, y para cerrar la ancha entrada, en la mitad de ella él elevó una isla y puso en ella una torre con un faro. Este “Portus” como se llama aun vulgarmente, fue creado por él en ese tiempo...”

(HISTORIA ROMANA)

Pero esta afirmación presenta grandes dudas, aunque sea mayormente aceptada por los expertos actuales. La primera de ellas la proporciona Plinio que solamente adjudica a Claudio las obras de finalización del puerto, ni tan siquiera su inauguración (IX, 5, 14 y 15):

“... Ella [la ballena] había venido cuando él [Claudio] finalizaba la construcción del puerto...”

(HISTORIA NATURAL)

Y la construcción del dique izquierdo (XVI, 26, 201 y 202):

“... Un abeto especialmente maravilloso se vio en la nave que trajo desde Egipto el obelisco erigido en el circo del Vaticano por orden de Gayo César [Calígula] y cuatro pilares de la misma piedra para servir de su base. Es cierto que nada tan maravilloso como este barco se ha visto otro en el mar. Llevó 120 modios de lentejas como lastre y sirvió como cimientito de la parte larga del lado izquierdo del puerto de Ostia. Por orden del emperador Claudio fue hundido ahí con moles tan altas como las torres, erigidas sobre ella hechas de cemento puzolánico para el caso y llevadas al lugar...”

(HISTORIA NATURAL)

Que correspondería al dique norte que en la actualidad llamaríamos derecho, con una visión desde tierra; pero, en aquella época, la visión y descripción eran la contrarias, esto es; desde el mar. Y lo vuelve a citar en (XXXVI, 14, 70):

“... El barco usado por el emperador Cayo César [Calígula] para traer un tercer [obelisco] fue guardado cuidadosamente por años por el divino Claudio, por ello fue la cosa más asombrosa que jamás se había visto en el mar. Los cajones hechos de cemento puzolánico se elevaron en su casco en Puzzoli; con lo cual fue remolcado

a Ostia y hundido ahí por orden del emperador, así para contribuir a sus trabajos del puerto...”

(HISTORIA NATURAL)

Además, las obras exteriores del puerto, antes de la ampliación adjudicada en exclusividad a Trajano, conocida como Puerto Trajano, tenían unas dimensiones que difícilmente se hubieran podido hacer durante su mandato, ya que, por ejemplo, el puerto de Cesarea Marítima con unos 700 metros del dique exterior se tardó en construir 13 años, que fue exactamente el tiempo de mandato de Claudio (del 41 al 54 dC); pero el puerto exterior de Roma tenía, según se verá, unos diques exteriores en torno a 1.400 y 1.900 metros, esto es: 3.300 m, casi cinco veces el anterior, sin contar con la isla donde se ubicaría el faro ni el muelle central. Con el mismo ritmo de trabajo que los diques de Cesarea Marítima se hubiera tardado en torno a: $(3.300/700) \cdot 13 = 61$ años aproximadamente. Si se inauguró entre el 58 y 64 dC, se comenzarían las obras no después de entre 3 aC y el 8 dC; pero probablemente fue antes, dado los parones lógicos que se produjeron entre las dos fases de desarrollo detectadas en ese periodo del puerto. Por tanto, los números indican que tuvo que ser durante el gobierno de Augusto cuando se comenzaron a construir las obras del puerto exterior de Roma, y nunca durante el gobierno de Claudio ya que es materialmente imposible.

Esta simple deducción temporal se corrobora, de nuevo, con, al menos, los tres datos: 1) Escritos, 2) Numismáticos, y 3) Cartográficos.

2.2. Denominación del puerto exterior de Roma en los escritores clásicos

Si se ordena temporalmente las referencias de escritores clásicos griegos y romanos, de la denominación que hacen del puerto exterior de Roma, tomadas de ostia-antica.org y de mis propias referencias, sería:

1. *Plinio (23 al 74 dC)*: Lo denomina “Portu Ostiensis”, “Ostiensus portus” y “Ostiam portus”. Esto es *Puerto de Ostia*.
2. *Plutarco (46 al 127 dC)*: No lo nombra directamente.
3. *Juvenal (46 al 127 dC)*: Al faro del puerto lo denomina “Tyrrenanque pharon”, esto es; *Faro del Tirreno* (Saturae, 12, 75 a 82). “Portum Augusti”, esto es: *Puerto de Augusto* (Saturae, 12, 75-76).
4. *Suetonio (69 al 140 dC)*: Lo denomina “Portum Ostiae”, esto es *Puerto de Ostia*.
5. *Apuleyo (127 al 185 dC)*: Lo denomina “Augusti portum”, esto es; *Puerto de Augusto* (Metamorfosis, XI, 26, 2).
6. *Dion Casio (155 al 235 dC)*: Lo cita como “Portum”, esto es; *Puerto* (LX, 11). Nombre con el que se le conocía vulgarmente.
7. *Liber Colonialium (siglo IV dC)*: Lo cita como “Portum”, esto es; *Puerto* (222, 11 a 13).
8. *Amiano Marcelino (334 al 395 dC)*: Lo cita como *Puerto de Augusto*.
9. *Procopio de Cesarea (480 al 565 dC)*: Lo cita como “Portus”, esto es *Puerto* (Bello Gótico, V, 26; VI, 7).

10. *Casiodoro (487 al 583 dC)*: Lo cita como “Portu Romano” y “Portus”, esto es; *Puerto romano o Puerto* (Variae Epistulae, VII, 9).
11. *Hieronimus - San Jerónimo (siglos IV y V dC)*: Lo cita como “Portu Romano”, esto es; *Puerto Romano* (Epistolae 65, 11 “Carta a Pannachus”; epistolae 77, 10 “carta a Oceanus”).
12. *Liber Pontificalis (siglo VI dC)*: Lo cita como “Portum”, esto es *Puerto* (XXXIII. Silvestre (314-335)); “Porto Romano”, *Puerto Romano* (XC Constantino (708 a 715)); “Portus Romani”, *Puerto Romano* (XCVII Adriano (772 a 795)); y “Portus” y “Portum”, *Puerto* (CIII Sergio II (844 al 847)).

Según se puede deducir del análisis de la denominación dada al puerto exterior de Roma a lo largo de la era antigua e inicios de la media: El puerto inicialmente se conoció como “Portus Ostiense” o similar (Plinio y Suetonio) o bien como “Portus Augusti” (Juvenal y Apuleyo). En el siglo III dC no se conoce bien su denominación, pero a partir del siglo IV dC se toma la única acepción, casi generalizado, de “Portum”, “Portus” o “Portu Romano”, que Dion Casio dice era el nombre vulgar con que se le conocía. Nunca en la historia antigua se le denominó “Puerto de Claudio”, nombre dado en el siglo XV o XVI y manteniéndose esa denominación hasta la actualidad que da lugar a muchas confusiones.

2.3. El origen y nombre del puerto exterior de Roma en la numismática

Si ahora se toman los datos que da la numismática sobre el origen del puerto, se aprecia que corresponde en exclusividad al sestercio de Nerón que se emitió en conmemoración de la inauguración del puerto; los resultados aún son más rotundos: La moneda fue acuñada y emitida en el año 58 o 64 dC, dependiendo de las interpretaciones de los especialistas; pero, lo más probable es que fuese en el primero de los años dado que en el año 58 dC fue cónsul y de ellos era la potestad de inaugurar las obras públicas, mientras que no lo fue en el 64 dC.

El número de cecas de emisión, al menos fueron ocho, y la representación del puerto de cada una se puede agrupar en dos tipos básicos que he denominado: del Museo Británico y Museo de Lion. La interpretación de la grafía de ambos tipos se muestra a continuación, en la que pueden apreciarse diferencias entre ambos: Del tipo de barcos representados, y de la estructura del dique norte de arcos. El dique norte de arcos aparece en la moneda tipo Museo Británico, como de arcos continuos, mientras que el tipo del Museo de Lion, el dique aparece separado por cuatro cajones, como Plinio nos dice (XXXVI, 14, 70).

2.4. Origen del puerto de Roma según los datos cartográficos

El tercero de los datos usados es el cartográfico, y nos da muchas pistas de las obras exteriores del puerto Augusto de Ostia, y lo que es mucho más importante; nos muestra el origen y nos da datos para conocer las fases constructivas del puerto. Se trata del mapa conocido como “Tabula Peutingeriana”, aunque realmente

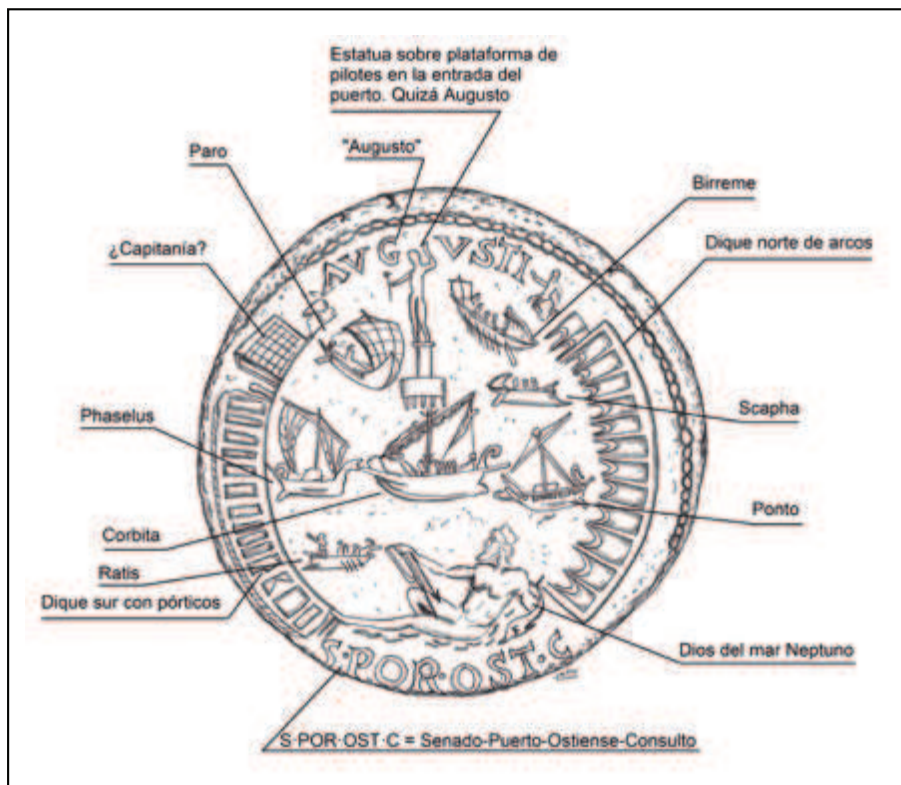


Figura 2. Interpretación de los elementos que aparecen en el reverso del sestercio, tipo Museo Británico, de Nerón conmemorativo de la inauguración del Puerto de Augusto de Ostia.



Figura 3. Interpretación de los elementos que aparecen en el reverso del sestercio, tipo Museo de Lion, de Nerón conmemorativo de la inauguración del Puerto de Augusto de Ostia.

debiera llamarse “Tabula Viae Romanae”, o algo parecido. Siempre nos han contado que este mapa básico de vías era una copia medieval de un original del siglo III o IV de la era cristiana. Pero la fecha de su origen,

también suscita grandes dudas que pueden resumirse en que existen datos del propio mapa que no son posibles que sean del siglo III, como son, especialmente en lo referente a la costa romana y alrededores, entre otros:

1. No aparece la vía Portuense entre las vías de salida de Roma; siendo básica e importantísima para Roma y su abastecimiento.
2. El puerto exterior de Roma, puerto Augusto de Ostia, viene dibujado con un solo dique convergente, el sur, un muelle, la isla con el faro, y los muelles de ribera interiores porticados. Cuando a partir de Claudio y, desde luego, de Nerón poseía dos diques convergentes.
3. En la bahía de Nápoles aparecen las ciudades de Herculano y Pompeya; la primera prácticamente desaparecida como ciudad y la segunda totalmente desaparecida en la famosa erupción del Vesubio ocurrida en 24 de agosto de 79 dC. Así mismo aparece Estabía, también muy diezmada y parcialmente desaparecida tras la erupción. Por todo ello, debe haberse hecho antes del 79 dC. Tampoco aparece la Vía Domiciana, o Domitia, construida bajo el gobierno de Domiciano.
4. No aparecen tramos de la vía Trajana I que iba por la costa este desde el norte a Brindisi, Brundisium, ni de la vía Trajana II que unía Benevento con Brindisi, Brundisium.

La hipótesis más segura es que esta Tabula procediese de la época de Augusto, y fue reeditándose añadiendo, probablemente, alguna cosa, pero no eliminando las existentes, ni actualizando las obras como el puerto exterior de



Figura 5. Puerto de Augusto de Ostia en la Tabula Peutingeriana (Fuente: www.romansites.com).

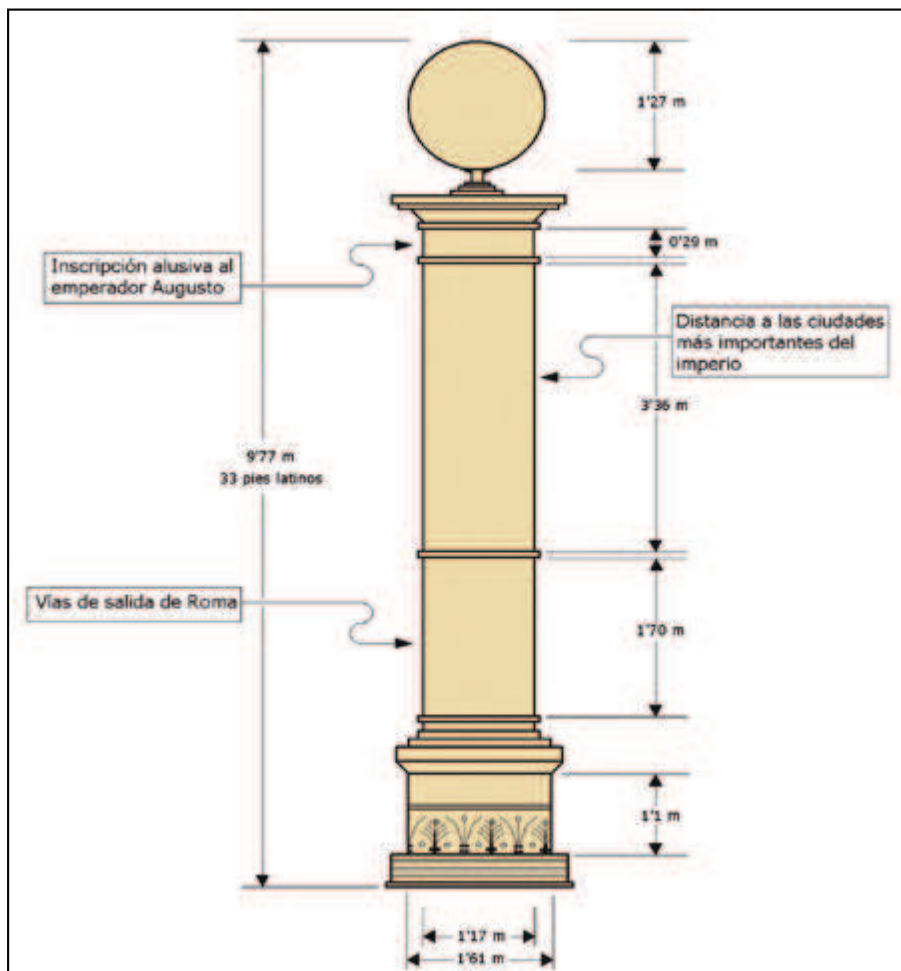


Figura 4. Dimensiones y partes del Miliarium Áureo Romano que se encontraba en el Foro Romano, frente a la entrada del templo de Saturno, sede de la hacienda romana.

Roma. Pudiéndose haber basado en el completo mapa de Agripa, "Orbis Picta", incluyendo solamente las vías principales y las "mansio"; pero no las "mutationes" ni las vías secundarias. Por lo que en él se dibujó el nuevo gran puerto Augusto de Roma en su estado inicial. Probablemente este mapa temático solamente reflejaba las vías principales de control directo de Roma y se realizó coincidiendo con una reestructuración administrativa de las obras públicas emprendida por Augusto cuyo exponente más claro fue la construcción del "miliario áureo" erigido por Augusto y Agripa en el año 20 aC en el foro de Roma frente al templo de Saturno, sede de la hacienda pública romana, que era el origen de todas las vías romanas, aunque no se contaba las millas desde él ya que los miliarios eran mucho más anteriores.

Por tanto, de ser esta datación cierta, el puerto que aparece frente a Roma en la Tabula Peutingeriana correspondería al Puerto de Augusto de Ostia a comienzos del siglo I de nuestra era, lo que nos diría que el puerto pasó, al menos por dos fases constructivas hasta que fue inaugurado por Nerón en el año 58 dC.

3. FASES CONSTRUCTIVAS DEL PUERTO DE AGUSTO

Por tanto, hubo una fase inicial, o primera, anterior a la que muestran los sestercios de Nerón con dos diques convergentes. Además, la representación del Puerto de Augusto y la datación de ésta demuestran que no fue realizado durante el gobierno de Claudio, sino anterior: de Augusto, avalado por la denominación que del puerto se dio en la antigüedad. Pero, además, si se observa la planta del puerto que aparece en la Tabula, se aprecia que tiene una configuración que se asemeja al puerto de Alejandría. Todo ello es totalmente compatible con la descripción que de él hace Plinio, probablemente mucho más realista y riguroso que Suetonio, llegándose a la conclusión que Claudio

solamente construyó el dique convergente exterior norte, probablemente proyectado por su predecesor Calígula y finalizada por su sucesor Nerón, que sería la segunda fase. Estando la concepción inicial basada en una Alejandría artificial: Un dique convergente simulando a la isla de Faro y al heptaestadio, y una isla artificial al lado con un imponente faro que lo denominaron como "Faro del Tirreno". Todavía entonces no se había levantado la estatua que se erigiría en la segunda de las fases del desarrollo del puerto en la primera dársena, la más exterior, que aparece en el sestercio de Nerón y en el relieve del puerto que se halla en el museo de la Villa de Torlonia en Roma que ha servido para identificar muchas de las estructuras portuarias romanas.

Tras la inauguración oficial de la segunda fase del puerto de Augusto de Ostia que sabemos realizó Nerón en el año 58 dC por la moneda conmemorativa, ya que ningún historiador lo refleja; solamente adjudicando a este emperador males y desgracias, no parece que se efectuaran obras de importancia y menos ampliaciones en él. Tras Nerón el imperio se sumió en un gran desorden; sucediéndose tres emperadores en un año, y tras ellos la llegada de Vespasiano obligó a restaurar no a realizar nuevas obras. Con Nerva y, especialmente, con Trajano se vuelve a las grandes inversiones en obra pública, y en puertos en particular; no siendo el puerto de Augusto de Ostia una excepción. En realidad la única fuente de información que nos indica que fue construida por Trajano la tercera fase del desarrollo del puerto de Augusto es el sestercio conmemorativo de su inauguración. Pero, si con un sestercio, similar de Nerón, sabemos que él no fue el único responsable de la construcción de la segunda fase del desarrollo del puerto que la moneda conmemora, ¿por qué va a ser Trajano el responsable único de la construcción de la dársena que forma la tercera fase, conocida como puerto de Trajano?

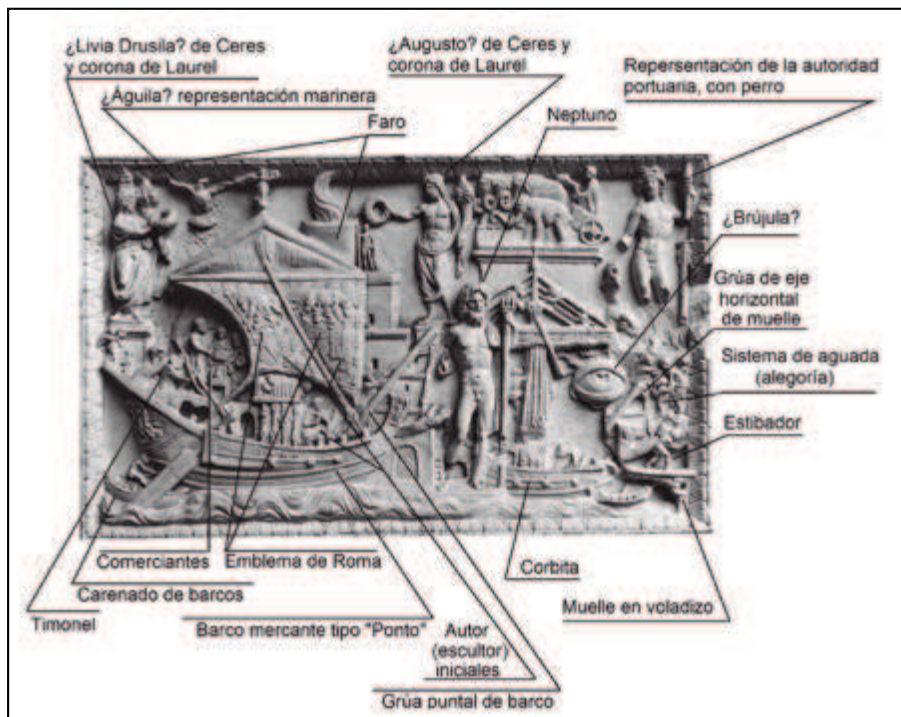


Figura 6. Relieve del Puerto de Augusto de Ostia con la identificación de los elementos representados (Museo de Torlonia en Roma).



Figura 7. Sestercio de Trajano conmemorativo de la inauguración de la tercera fase de desarrollo del Puerto de Augusto de Ostia, que lleva su nombre, Puerto Trajano.

Muy probablemente, esta ampliación estuviese prevista antes de Trajano; pero no se finalizó hasta él. Al igual que Claudio, la única inscripción, aparte de la moneda, que se ha hallado de él y vinculada al puerto, se refiere al canal del Tíber, y a su necesidad para aliviar las inundaciones que provocaba el río (Thylander B312) y se encuentra muy deteriorada.

4. DESCRIPCIÓN DE LAS FASES CONSTRUCTIVAS DEL PUERTO AUGUSTO DE OSTIA

Antes de describir el puerto y las obras que lo formaban, al menos hasta donde se puede conocer en la actualidad, se va a tratar de sus fases de desarrollo. Hasta la fecha solamente se admitía que el puerto se había transformado en dos estados o fases distintas: La construcción del mal llamado “Puerto de Claudio” y la posterior ampliación del llamado “Puerto de Trajano”. Pero la realidad del desarrollo portuario fue más amplia y compleja, lo que obligó a un trabajo de ingeniería portuaria de primera fila, con técnicas constructivas no realizadas después hasta el siglo XX.

Tampoco es cierto, como algunos expertos han escrito, como Pérez de la Sala (1886) o Halliday (1940), que el puerto se aterró rápidamente y que tuvo que ser abandonado para construir el puerto de Centum Cellae, hoy Civitavecchia; ni tampoco que los ingenieros de la época advirtieran a nadie que la obra no debía construirse, siendo la primera afirmación de su propia cosecha poco contrastada, y en la segunda probablemente admitieron con escrupulosa verdad la explicación novelesca que Dion Casio da a una anécdota de Claudio bastante poco creíble. En realidad, el puerto se mantuvo en pleno funcionamiento (Amiano Marcelino XIX, 10, 1) hasta que fue tomado por los godos, en el 410, al mando de Alarico que con godos, unos y alanos, tomó y saqueó Roma y Portus. A finales del siglo V dejó de funcionar su acueducto, y en el 537 Vitingis con los godos lo atacó de nuevo. Posteriormente cayó en manos de los musulmanes, dejando de funcionar definitivamente al inicio de la Edad Media. La destrucción del puerto, sus obras exteriores e interiores parece que procede de la Alta

Edad Media, cuando el puerto es abandonado y se convierte en cantera para muchas otras ciudades y, junto a Ostia, ayudó a edificar catedrales como las de Florencia o Pisa, y muchos palacios y casas romanas que causan admiración.

Desde el punto de vista de la dinámica litoral, el puerto estaba bien situado: el transporte sólido litoral longitudinal no era muy importante; si bien debieron producirse grandes avenidas con gran carga de sedimento en la Edad Media que hicieron avanzar el delta del Tíber de manera importante, especialmente por el motivo antes mencionado: la baja tasa de transporte longitudinal de sedimento, que a veces se ha achacado su desconocimiento por la ingeniería romana, cuando el que lo desconocían eran ellos. En la tabla adjunta se muestra el avance de la línea de costa del delta del Tíber con datos que presenta Halliday (1940) tomados de Sir John Rennie y los tomados por mí.

Avance de la línea de orilla en la desembocadura del río Tíber

Año	Periodo de años	Avance total (m)	Avance anual (m/año)
82 aC	552	1.000	1'8
364 dC	446	1.000	2'2
1846	1.482	2.330	1'6
2006	160	270	1'7
Total	2.640	4.600	1'7

Si se comienza desde el principio: En los siglos II y I aC la situación del tráfico portuario romano había alcanzado tales necesidades que el puerto fluvial de Ostia no era suficiente para cubrirlas, ni por volumen ni por calados. Como complemento y solución temporal se usó el puerto de Puteoli, hoy Puzzoli, al sur: las mercancías se transbordaban en ese puerto de barcos de grandes calados a barcasas y barcos menores que marchaban a Ostia, y otras mercancías se desestibaban y transportaban a Roma por la vía Appia. Esta solución era cara e incómoda y es probable que ya entonces se hubiera estudiado diversas alternativas a esa situación; pero fue Julio César quien concibió un puerto inmediatamente al norte de la desembocadura del Tíber, como así lo dice Plutarco (*Ces*, 58, 10):

“... En el mar muy cerca de Roma tuvo la intención de cerrar el mar mediante la construcción de diques, y dragar los bancos sumergidos de la costa de Ostia, que eran muy peligrosos. Así él proporcionaría puertos y fondeaderos para albergar gran cantidad de barcos. Estos proyectos estuvieron siendo preparados...”

(VIDAS PARALELAS-JULIO CESAR; EDITORIAL PORRUA
 TRAD: ANTONIO RANZ ROMANILLOS)

No se sabe cuándo comenzaron los trabajos; pero, sí se puede suponer los problemas a los que se enfrentaron: La zona norte de la desembocadura del Tíber era un continuo marjal que se inundaba en las grandes avenidas del río, o con temporales importantes; además, probablemente, debía existir al menos un canal secundario de desagüe del río que principalmente funcionaba en grandes avenidas. Esta situación obligaba, no solamente a construir grandes diques que no permitiesen el paso de arena al puerto, sino también a dragar, y a asentar y desecar parte de los marjales.

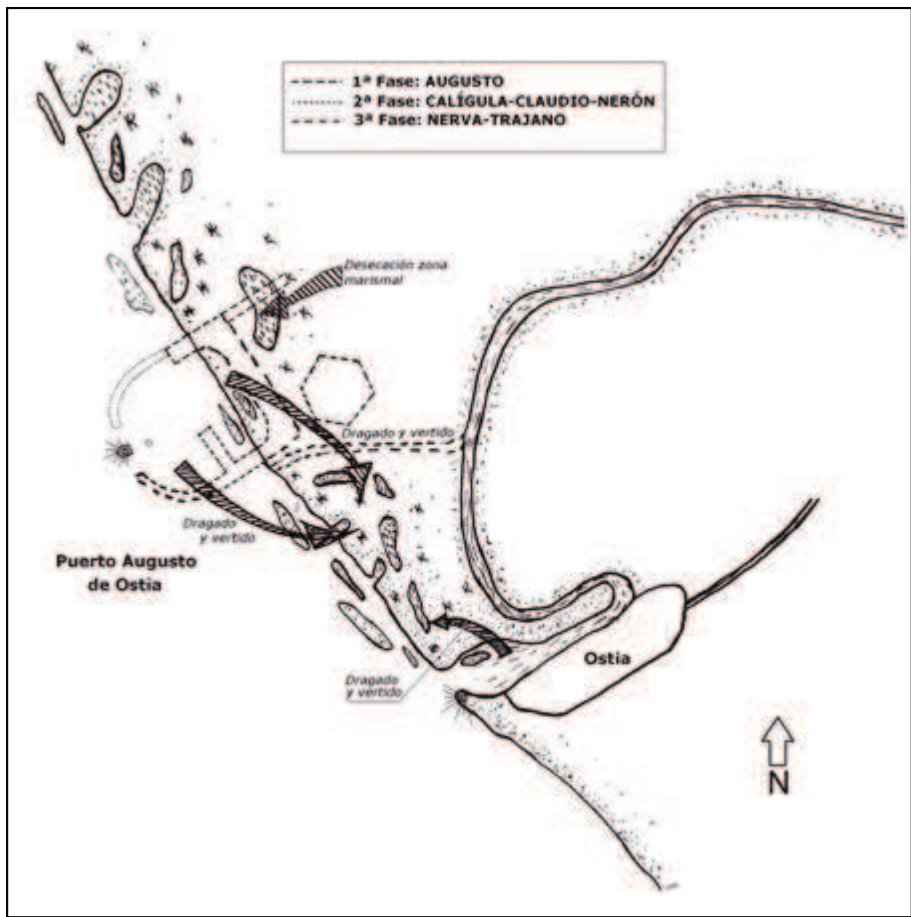


Figura 8. Fases constructivas del Puerto Augusto de Ostia.

4.1. Primera fase

El proyecto original se debió comenzar a realizarse durante el gobierno de Julio César, en torno al año 45 aC; pero es altamente probable que se paralizase, o al menos se ralentizase, durante las guerras civiles que sucedieron al asesinato de César en marzo del 44 aC. También cabe dentro de lo probable que, con Julio César, solamente se hubiera estado en fase de proyecto y preparación del terreno, y que hubiese comenzado su realización cuando, entonces todavía, Octavio junto a Agrippa llevaron a cabo muchas obras públicas en Roma y Ostia: en el año 33 aC con Agrippa de edil, 28 y 27 de cónsul, cuando ejecutaron obras tan emblemáticas como “Aqua Julia” o el teatro de Ostia. En esta primera fase de desarrollo del puerto, que es la que aparece en la Tabula Peutingeriana, se realizarían las siguientes obras:

1. Construcción de un dique exterior en la zona sur: recto en su arranque y curvándose, en un cuarto de circunferencia, de unos 400 m de radio, en su tramo final. La longitud total del dique rondaría los 1.400 m.
2. Construcción de una isla frente al morro del dique de no grandes dimensiones que albergaría el faro del Tirreno. El conjunto de dique y faro pretendería asemejarse a Alejandría.
3. Un muelle algo anterior al comienzo de la curva del dique exterior, donde se alojaría la capitanía portuaria. La longitud del muelle estaría entre 600 y 300 metros.
4. Un muelle de ribera que bordeaba toda la zona interior del puerto.
5. Un contradique norte, separado 1.400 m, aproximadamente del dique sur. Su longitud debió rondar 1.400 m; pero el arranque se encontraba más tierra adentro, dado que por el lado norte los marjales y zonas pantanosas se adentraban más tierra adentro.
6. Asentamiento de la ribera norte de la desembocadura, frente a Ostia, Isla Sacra.
7. Dragado de toda la dársena así realizada, una vez ejecutadas las obras portuarias; hasta alcanzar calados en torno a 4 o 5 metros. Y vertido del material dragado en lo que sería la Isla Sacra, asentando y desecando todos los marjales que había en ella.

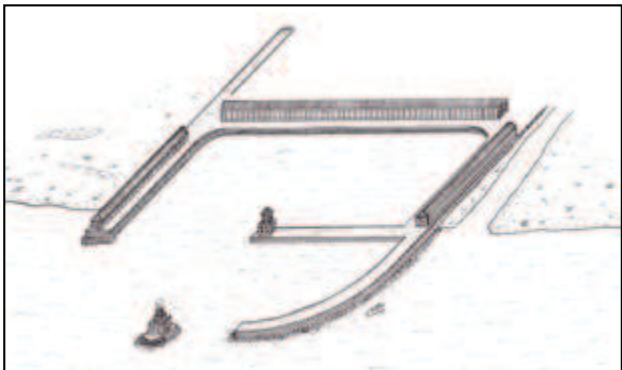


Figura 9. Dibujo esquemático del puerto exterior de Roma, puerto de Augusto de Ostia en su primera fase desarrollada durante el gobierno de Augusto.

4.2. Segunda fase

La segunda fase debió producirse como consecuencia de los problemas detectados tras la construcción del puerto, que debieron ser, básicamente: La falta de capacidad evacuadora de la desembocadura que quedó del río Tíber: Aumentaron las inundaciones en las grandes avenidas que se producían en el río. De hecho, durante el gobierno de Tiberio, el curator de aguas, Ateyo Capiton presentó un plan hidrológico para la cuenca del Tíber que intentaba reducir los caudales del Tíber, como acción contra las inundaciones (Tácito, *An*, I, 62):

“... Propusose después en el Senado por Abundio y Ateyo, si para moderar las inundaciones del Tíber era acertado desviar a otras partes los ríos y lagos de los que se engrandece...”

(ANALES; EDITORIAL SARPE TRAD: CARLOS COLOMA)

El plan fue rechazado por la cámara:

“... Los ruegos de las colonias, la dificultad de la obra o la superstición pudieron tanto, que concluyó el Senado en el parecer de Pisón, que fue no innovar cosa alguna...”.

(ANALES; EDITORIAL SARPE TRAD: CARLOS COLOMA)

Este problema continuó y obligó a la construcción, o más bien dragado y ampliación, del canal secundario del Tíber. Esta construcción está documentada gracias a una inscripción (Thylander B310) datada del año 46 dC, con motivo de la construcción y dragado del canal secundario del Tíber contra las inundaciones, aumentando la capacidad desaguadora del río en el mar.

Justificándolo, así, no como mejora en la actividad portuaria sino como medida para reducir las inundaciones en la ciudad de Roma.

**TI CLAVDIVS DRVSI F CAESAR-AVG
GERMANICVS PONTIF·MAX·TRIB POTEST VI COS
DESIGN IIII IMP XII P P·
FOSSIS DVCTIS A TIBERI OPERIS PORTV·CAVSSA
EMISSISQVE IN MARE VRBEM·INVNDATIONIS
PERICYLO LIBERAVIT**

Esto es: “Tiberio Claudio Druso hijo de César Augusto Germánico, Pontífice Máximo, en su sexta Potestad Tribunicia, cuarto consulado y 12 imperio, Padre de la Patria. Liberó la ciudad [Roma] del peligro de inundaciones mediante canales que iban desde el Tíber, a través de las obras del puerto, hacia el mar”

Es probable que junto a esa obra, más hidráulica que portuaria, se emprendiese la segunda fase del desarrollo portuario, que, también, probablemente se proyectase durante el gobierno de Calígula aunque el grueso de la obra se realizase durante el mandato de Claudio y las finalizase Nerón. Las obras de ampliación consistieron, básicamente, en:

1. Ampliación del contradique norte consistente en un pequeño tramo recto y otro curvo, simétrico al dique sur, de unos 400 m de radio; pero en vez de ser un dique de gravedad macizo, se construyó en arcadas, usándose, para su ejecución, el famoso barco que Calígula usó para transportar desde Egipto el obelisco para el circo Vaticano, hoy en la plaza de San Pedro en el Vaticano y que se utilizó para transportar los cuatro cajones de hormigón que formaron la base del dique y que aparecen representados en el sestercio de Nerón tipo Museo de Lion. Hundiéndose

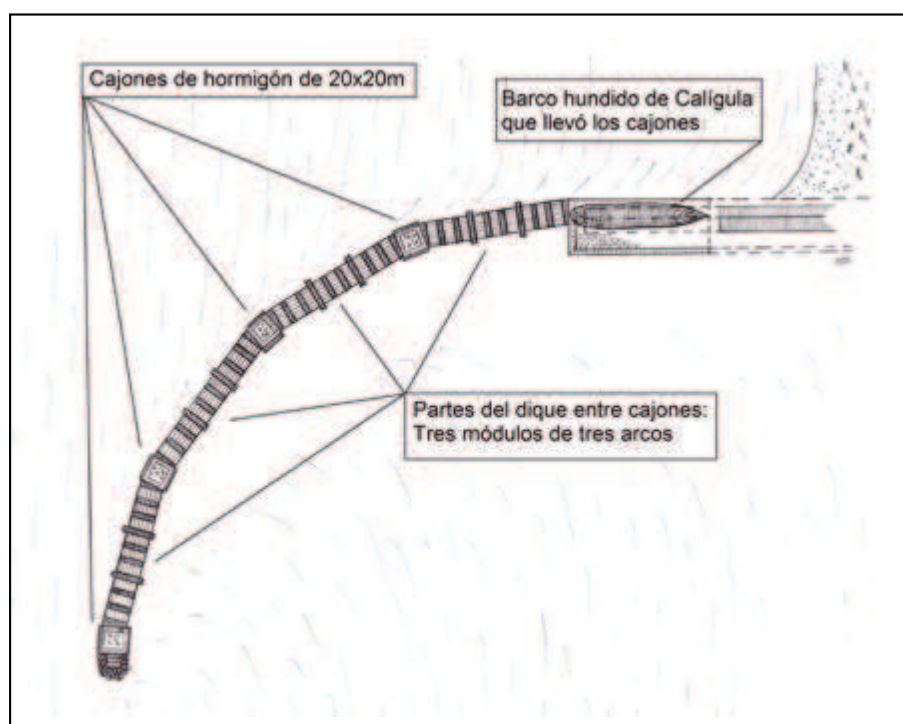


Figura 10. Planta esquemática del dique norte realizado en la segunda fase de desarrollo del puerto Augusto de Ostia, formada por cuatro tramos de arcos entre cajones de hormigón.

lo, finalmente, para que sirviese de cimentación de su tramo inicial recto

2. Construcción de almacenes a lo largo del dique sur, en la zona curva, donde anteriormente se había dejado libre.
3. Construcción de un canal que unía el nuevo canal secundario de desagüe del Tíber con el puerto.
4. Probablemente se abrió una nueva dársena norte en el interior del puerto.
5. Construcción de una plataforma pilotada donde ubicó una estatua, de Apolo, protector de la familia de Augusto y de los puertos. (Peña, 2005) o, más probable, del propio Augusto, como muestra el relieve del Museo de Torlonia de Roma.

Estas son las obras que finalizándolas Nerón, las plasmó en el sestercio conmemorativo de su inauguración y que ha servido para identificar la tipología de las obras exteriores, la plataforma y almacenes sobre los diques muelle exteriores.

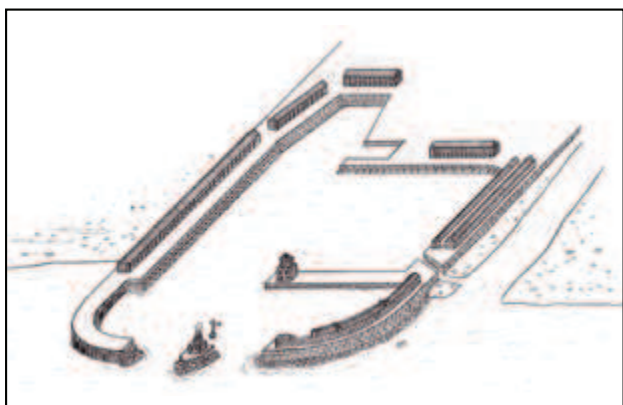


Figura 11. Esquema de estado del puerto de Augusto de Ostia tras la realización de la segunda fase de su desarrollo.

4.3. Tercera fase

La tercera de las fases de desarrollo del puerto de Augusto identificada, se comenzó durante el gobierno de Nerva o Trajano, y las finalizó éste último ya que emitió una moneda, sestercio, conmemorativa de su inauguración. No existe referencia escrita alguna de su construcción, solamente asignando la obra a Trajano por la moneda citada y por otra inscripción hallada en bastante mal estado (Thylander B312) que menciona únicamente la construcción del canal del Tíber para reducir las inundaciones, al igual que lo hizo Claudio, conocida posteriormente como “Fossa Traiana”, de la que se hace eco de su construcción para ese fin el amigo del emperador, Plinio El Joven (VIII, 17, 2 y 3). Aunque este tipo de obras no evitaron que se siguieran originando inundaciones en la ciudad Eterna, como nos cuenta Amiano Marcelino (XXIX, 6, 17 y 18) que se continuaban produciendo en su época, siglo IV dC; teniendo que repartir alimentos a la población de Roma mediante barcas. Esta tercera ampliación de Nerva y Trajano, consintió en los siguientes trabajos:

1. Construcción de una dársena hexagonal tierra adentro de unos 1.200 pies latinos (unos 355 m) de lado,

que conectaba a la dársena antigua mediante un canal que partía del lado más cercano al mar, paralelo a la línea de costa.

2. Construcción de una pequeña dársena rectangular que servía para conectar el canal que iba al canal del Tíber o “Fossa Traiana” y el canal que iba a la dársena principal del puerto.
3. Canal de acceso a la “Fossa Traiana” que servía para la salida directa al río Tíber.
4. Mejora del canal de Claudio que se denominó a partir de entonces como “Fossa Traiana” de 35 a 40 metros de ancho (unos 120 o 130 pies latinos).

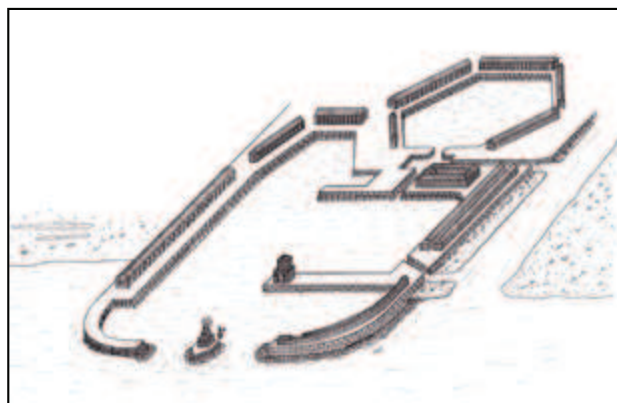


Figura 12. Esquema de estado del puerto de Augusto de Ostia tras la realización de la segunda fase de su desarrollo.

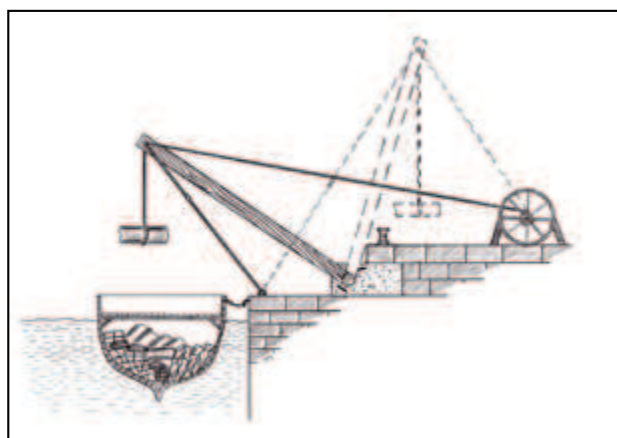


Figura 13. Esquema del cantil de muelle de la dársena hexagonal de Trajano en el puerto de Augusto de Ostia con el tipo de grúa portuaria horizontal que debió usarse.

Seguramente se realizaron muchas más obras de mejora en el puerto; pero no de una envergadura tal que transformase su aspecto exterior. Desde ese punto de vista, es interesante la aparición de una inscripción (Thylander B336) datada entre el 334 y 345 dC (Ostia-antica.org) de Lucio Crepericio Madaliano (Lucius Crepereius Madalaanus) que fue “Consularis molium farí atque purgaturae”, esto es: responsable del mantenimiento de los diques y faro, y el dragado del puerto.

Para finalizar estos breves apuntes de las fases constructivas del mayor puerto artificial de la época antigua, orgullo de la ingeniería portuaria romana, se muestra una fotografía aérea recogida de Google Earth, de Tele Atlas, en la que se ha dibujado las líneas maestras de las obras exteriores anteriormente descritas.



Figura 14. Situación aproximada del Puerto de Augusto de Ostia dibujado sobre una fotografía aérea de Google Earth-Tele Atlas.

5. AGRADECIMIENTO

Dedicado a mis compañeros Isaac Moreno y Carlos Peña que creyeron en mí y en este trabajo. Y a mi amigo Antonio Lechuga, siempre expectante de mis trabajos. Un gran abrazo a todos ellos.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Halliday, L. (1940). "Presidential Address"; Journal of the Institution of Civil Engineers (nº 1).

Du-Plant, F.M. y Taylor. (1949). "The design, construction and maintenance of docks, wharves and piers"; Eyre & Spottiswoode Publishers Ltd. (pp. 1 a 24).

Keay, Simon y Martin Millet (2003). "Roman Towns in the Tiber Valley". Recuperado de <http://www.arch.soton.ac.uk>.

Proyecto Navis II (2002). European Comisión Directorial General X. "Il porto di Claudio". Recuperado de <http://www2.rgzm.de/Navis2/Home/FramesES.cfm>.

Proyecto Navis II (2002). European Comisión Directorial General X. "Il porto di Trajano". Recuperado de <http://www2.rgzm.de/Navis2/Home/FramesES.cfm>.

Noli, Alberto y Leopoldo Franco. (2009). "The ancient ports of Rome: New insights from Engineers"; Archaeologia Maritima Mediterránea. An International Journal on Underwater Archaeology. Fabricio Serra Editore. Pisa, Italia.

De la Peña Olivas, J. M. (2005). "Sistemas de señalización marina en la antigüedad clásica"; Tesis doctoral (E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos de Madrid).

Pérez de la Sala, P. (1886). "Tratado de las construcciones en el mar"; Imprenta Fortanet, Madrid.

Testaguzza, O. (1970). "Portus: illustrazione dei Porti di Claudio e Traiano e della città di Porto a Fiumicino". Julia Editrice, Roma.

Proyecto Navis II. Verduchi, P. (1999). "Il porto di Traiano, dépliant, Roma". Recuperado de <http://www2.rgzm.de/Navis2/Home/HarbourFullTextOutput.cfm?HarbourNR=Ostia-Traiano>.